

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії, картографії та землеустрою

На правах рукопису
УДК: 528.44:528.7:[004.6:91]

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ДЕРЖАВНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»
Освітня програма – «Землеустрій та кадастр»

Кваліфікаційна робота магістра
студента 2 курсу
Сурмачевського Владислава Олександровича

Науковий керівник:
Бондаренко Едуард Леонідович,
доктор географічних наук, професор

Допущено до захисту:
Протокол засідання кафедри № 12 від 7 травня 2026 року

Завідувач кафедри

проф. Людмила ДАЦЕНКО

Київ – 2026

РЕФЕРАТ

Вибір теми дослідження зумовлений необхідністю ґрунтовного вивчення сучасних методів одержання геопросторової інформації для ведення Державного земельного кадастру України, а також оцінки їх точності, ефективності та доцільності застосування у практиці кадастрових робіт.

Вважаємо, що в сучасних умовах, з урахуванням цифровізації земельних відносин, розвитку ринку землі та підвищення вимог до якості кадастрової інформації, особливого значення набуває точність визначення координат поворотних точок меж земельних ділянок. Саме ці дані є основою для формування достовірної кадастрової інформації, визначення правового статусу земель, ефективного управління територіями та мінімізації ризиків виникнення земельних спорів, що обумовлює актуальність обраної теми дослідження.

У розділах кваліфікаційної роботи зроблена спроба розкрити значення сучасних методів одержання геопросторової інформації для ведення Державного земельного кадастру з урахуванням технічних можливостей та нормативно-правових аспектів їх застосування. *У першому розділі роботи:* проаналізовано роль топографо-геодезичного знімання, структуру та інформаційне наповнення кадастру, а також нормативно-правове забезпечення і сучасні технології отримання та обробки геопросторових даних.

У другому розділі охарактеризовано сучасні методи кадастрового знімання, зокрема GNSS-технології (RTK, PPK, статичний метод), тахеометричне знімання та використання безпілотних літальних апаратів. Для розкриття сутності даного аспекту дослідження було проведено аналіз їх технічних можливостей, точності, продуктивності та обмежень застосування при виконанні кадастрових робіт.

У третьому розділі роботи проведено практичне дослідження та оцінку ефективності сучасних методів топографо-геодезичного знімання. Виконано порівняльний аналіз GNSS-технологій, здійснено оцінку точності тахеометричного знімання та визначено особливості застосування БПЛА. Особлива увага приділена аналізу відхилень координат та визначенню

середньоквадратичних похибок, що дозволило обґрунтувати ефективність використання різних методів у залежності від умов виконання робіт.

У результаті дослідження встановлено, що жоден із розглянутих методів не є універсальним для всіх умов виконання кадастрових робіт. Підтверджено, що найбільш ефективним є комбінований підхід, який передбачає поєднання GNSS-вимірювань, тахеометричного знімання та матеріалів БПЛА, що дозволяє підвищити точність, надійність та достовірність визначення координатних даних. Отримані результати можуть бути використані при виконанні кадастрових робіт, плануванні геодезичних знімань та підвищенні якості геопросторової інформації у Державному земельному кадастрі.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 83 сторінки.

Ключові слова: Державний земельний кадастр, геопросторові дані, GNSS, RTK, РРК, тахеометричне знімання, метод дистанційного зондування, кадастрове знімання.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ДЕРЖАВНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ.....	9
1.1. Роль топографо-геодезичних робіт у формуванні Державного земельного кадастру.....	9
1.2. Об'єкти, структура та інформаційне наповнення Державного земельного кадастру.....	11
1.3. Нормативно-правове забезпечення кадастрових робіт для ведення Державного земельного кадастру.....	14
1.4. Сучасні засоби, технології та програмне забезпечення одержання й обробки геопросторових даних	17
Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ МЕТОДИ КАДАСТРОВОГО ЗНІМАННЯ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ДЕРЖАВНОМУ ЗЕМЕЛЬНОМУ КАДАСТРІ	27
2.1. Кадастрова зйомка як основа Державного земельного кадастру.....	27
2.2. Класифікація та загальна характеристика методів топографо- геодезичних робіт.....	30
2.3. Наземні методи топографо-геодезичних робіт. GNSS та тахеометричне знімання.....	33
2.4. Дистанційні методи топографо-геодезичних робіт. Використання БПЛА	39
2.5. Точність та контроль якості вимірювань для кадастрових та топографічних робіт.....	42
Висновки до розділу 2	49

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТОПОГРАФІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ ДЕРЖАВНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ 51

3.1. Порівняльний аналіз точності GNSS-технологій визначення просторових (координатних) даних для ДЗК (RTK, РРК, статичний методи)... 51

3.2. Оцінка ефективності та доцільності тахеометричного знімання визначення просторових (координатних) даних для ДЗК 51

3.3. Оцінка точності та доцільності використання БПЛА визначення просторових (координатних) даних для ДЗК..... 59

3.4. Доцільність використання комбінованого методу одержання просторових (координатних даних) даних для ДЗК..... 63

3.5. Рекомендації щодо вибору окремих методів визначення просторових (координатних) даних для Державного земельного кадастру 67

Висновки до розділу 3 72

ВИСНОВКИ 74

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 76

ДОДАТКИ..... 79

Додаток А. Технічна документація із землеустрою..... 79

ВСТУП

Актуальність дослідження. У сучасних умовах цифровізації земельних відносин та стрімкого розвитку геоінформаційних технологій особливого значення набуває формування, обробка та ефективне використання геопросторових даних. Важливою складовою інформаційного забезпечення управління земельними ресурсами є Державний земельний кадастр України, який функціонує як базова геоінформаційна система, що акумулює відомості про земельні ділянки, їх просторове положення, межі та правовий статус.

Якість функціонування Державного земельного кадастру безпосередньо залежить від достовірності та точності геопросторової інформації, зокрема координат поворотних точок меж земельних ділянок. Недостатній рівень точності визначень просторових даних може призводити до помилок у кадастровому обліку, накладення меж, виникнення земельних спорів та ускладнення процесів управління територіями.

На сучасному етапі розвитку геодезії та землеустрою широкого застосування набули різні методи одержання просторових (координатних) даних, зокрема GNSS-вимірювання (GNSS -глобальні навігаційні супутникові системи), тахеометричне знімання та дистанційні методи із використанням безпілотних літальних апаратів. Кожен із цих підходів має власні технічні можливості, переваги та обмеження, що зумовлює необхідність їх комплексного аналізу за критеріями точності, оперативності, надійності та економічної ефективності.

Водночас практика виконання кадастрових робіт свідчить про відсутність універсального методу, який би забезпечував однаково високі результати в усіх умовах. Це обумовлює доцільність застосування комбінованого підходу, що передбачає раціональне поєднання різних методів одержання координатних даних залежно від конкретних умов виконання робіт.

Таким чином, дослідження сучасних методів одержання просторових (координатних) даних, оцінка їх точності та ефективності, а також обґрунтування доцільності їх комбінованого застосування для формування достовірної

геопросторової інформації Державного земельного кадастру є актуальним науково-практичним завданням.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у розробленні рекомендацій щодо раціонального вибору і застосування методів одержання геопросторових (координатних) даних для підвищення їх точності, оперативності та достовірності у процесі ведення Державного земельного кадастру України.

Завдяки визначеній меті дослідження нами було сформульовані наступні **завдання:**

- дослідити досвід формування геопросторової основи Державного земельного кадастру України;
- опрацювати нормативно-правове забезпечення ведення Державного земельного кадастру;
- дослідити сучасні засоби і технології одержання геопросторових даних;
- виконати порівняльну оцінку ефективності та точності різних методів одержання геопросторової інформації для кадастрових робіт;
- обґрунтувати доцільність застосування сучасних методів одержання просторових (координатних) даних для ведення Державного земельного кадастру.

Об’єктом дослідження виступає процес формування та актуалізації геопросторових даних про земельні ділянки, що здійснюється для потреб ведення Державного земельного кадастру України.

Предмет дослідження – сукупність сучасних методів і технологічних процесів одержання, верифікації та внесення геопросторових даних до Державного земельного кадастру.

Методична основа. У роботі використано комплекс взаємопов’язаних методів дослідження, а саме: аналітичний метод - для узагальнення законодавчих, нормативних і наукових джерел; порівняльний метод - для зіставлення сучасних методів одержання геопросторових даних; експериментальний та вимірювальний методи - під час оцінювання результатів GNSS-, тахеометричних і фотограмметричних робіт; методи статистичної

обробки - для визначення похибок і узагальнення отриманих результатів; графоаналітичний метод - для візуалізації, аналізу та інтерпретації отриманих даних.

Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтуванні підходів до вибору оптимальних методів одержання геопросторових даних для ведення Державного земельного кадастру, а також запропоновано рекомендації, які можуть бути використані землевпорядними організаціями під час вибору технологій виконання кадастрових робіт, планування знімальних процесів і контролю якості геопросторових даних.

Структура роботи: реферат, вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел, додатки. Загальний обсяг роботи: 83 сторінки, 12 рисунків, 21 таблиці, 1 додаток.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ДЕРЖАВНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

1.1. Роль топографо-геодезичних робіт у формуванні Державного земельного кадастру

Державне управління земельними ресурсами виступає комплексною системою, що поєднує правові, організаційні та технологічні механізми, спрямовані на забезпечення ефективного використання земель, їх охорони та відновлення. В умовах сучасної цифровізації суспільства особливої ваги набуває формування достовірної геопросторової інформації, яка є основою функціонування Державного земельного кадастру як ключової інформаційної системи у сфері земельних відносин.

Згідно з вимогами чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про землеустрій», проведення кадастрових і топографічних зйомок є обов'язковим елементом виконання землевпорядних робіт. Такі роботи передбачають здійснення комплексу геодезичних і картографічних заходів, метою яких є отримання точних просторових характеристик земельних ділянок, необхідних для їх обліку та правового регулювання [7].

Кадастрове знімання забезпечує визначення просторового положення земельних ділянок шляхом встановлення координат їх межових точок. Отримані координатні дані дозволяють не лише однозначно ідентифікувати ділянку, а й забезпечують основу для формування кадастрових планів і баз даних. Водночас процес встановлення меж є критично важливим з правової точки зору, оскільки він гарантує визначеність прав на землю та запобігає виникненню конфліктних ситуацій між землекористувачами.

Основою функціонування Державного земельного кадастру є державна геодезична і картографічна база, яка включає систему координат, мережі геодезичних пунктів та цифрові картографічні матеріали. Саме на цій основі

забезпечується просторова узгодженість кадастрових даних, а їх точність безпосередньо залежить від якості виконання геодезичних вимірювань.

У сучасній практиці геодезії застосовується широкий спектр методів одержання геопросторової інформації. Найбільш поширеними є супутникові GNSS-вимірювання, тахеометричні методи, а також дистанційні технології, зокрема використання безпілотних літальних апаратів. Використання таких підходів дозволяє значно підвищити продуктивність робіт, забезпечити високу точність результатів та отримати детальну просторову інформацію [23, С. 45–60].

Сучасні кадастрові роботи характеризуються активною інтеграцією з геоінформаційними системами. Це дає змогу не лише накопичувати дані, але й здійснювати їх аналіз, оновлення та обмін між різними інформаційними ресурсами. У результаті формується єдине інформаційне середовище, яке забезпечує ефективне управління земельними ресурсами.

Отримані в процесі кадастрового знімання дані мають широке застосування не тільки у сфері ведення кадастру, але й у суміжних галузях, таких як містобудування, екологічний моніторинг, планування територій та розвиток інфраструктури. Це свідчить про міждисциплінарний характер геопросторової інформації та її значення для різних напрямів діяльності.

Якість результатів знімання залежить від багатьох чинників, серед яких ключову роль відіграють обраний метод вимірювань, технічні характеристики обладнання, умови проведення робіт та професійний рівень виконавців. Саме тому важливим є застосування сучасних технологій контролю та оцінювання точності геопросторових даних.

Таким чином, кадастрове знімання є базовим елементом формування інформаційного наповнення Державного земельного кадастру, оскільки забезпечує отримання точних і достовірних даних про земельні ділянки. Від якості виконання цих робіт залежить ефективність функціонування всієї кадастрової системи.

Топографічне знімання, у свою чергу, формує просторову основу для

кадастрових робіт. Відповідно до законодавства у сфері топографо-геодезичної діяльності, такі роботи спрямовані на визначення координат об'єктів місцевості, їх геометричних параметрів та взаємного розташування [10].

На відміну від кадастрового, топографічне знімання охоплює ширший спектр інформації про територію, включаючи рельєф, забудову, транспортні комунікації та інженерні мережі. Отримані дані використовуються як картографічна база для виконання землепорядних робіт.

Застосування топографічних матеріалів забезпечує коректну просторову прив'язку земельних ділянок, дозволяє уникнути накладання меж та підвищує достовірність кадастрової інформації. Крім того, вони можуть використовуватися для перевірки відповідності фактичного стану території даним кадастру.

З розвитком сучасних технологій можливості топографічного знімання значно розширилися. Використання GNSS-приймачів, електронних тахеометрів і безпілотних літальних апаратів дає змогу отримувати високоточні просторові дані, включаючи ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу та тривимірні моделі місцевості [23, С. 120–140].

Водночас результати топографічного знімання не є безпосереднім об'єктом внесення до кадастру. До інформаційної системи вносяться лише узагальнені результати обробки, зокрема координати меж земельних ділянок та відповідні атрибутивні характеристики. Таким чином, топографічне знімання виконує допоміжну, проте стратегічно важливу роль у формуванні кадастрової інформації.

1.2. Об'єкти, структура та інформаційне наповнення Державного земельного кадастру

Державний земельний кадастр України є складною інтегрованою геоінформаційною системою, яка забезпечує накопичення, систематизацію, зберігання, обробку та надання відомостей про земельні ресурси держави. Його

функціонування ґрунтується на використанні сучасних інформаційних технологій, геодезичних і картографічних матеріалів, а також результатів кадастрових і топографо-геодезичних робіт. У сучасних умовах кадастр виступає не лише інструментом обліку земель, а й важливою інформаційною базою для управління територіями, планування їх розвитку та регулювання земельних відносин [6].

Відповідно до законодавства України, об'єктами Державного земельного кадастру є земельні ділянки та пов'язані з ними елементи просторового і правового характеру. До таких об'єктів належать межі адміністративно-територіальних одиниць, функціональні зони, обмеження у використанні земель, сервітути, а також інші складові, що відображають стан і режим використання територій. Важливою характеристикою цих об'єктів є їх геопросторова визначеність, що дозволяє інтегрувати інформацію в єдину цифрову систему та забезпечувати її узгодженість [7].

Основною одиницею кадастрового обліку є земельна ділянка, яка визначається як частина земної поверхні з чітко встановленими межами, визначеним місцем розташування та закріпленням правовим статусом. Ідентифікація кожної ділянки здійснюється за допомогою унікального кадастрового номера. До її основних характеристик належать площа, координати поворотних точок меж, конфігурація, цільове призначення, форма власності, а також наявні обмеження щодо використання. Визначення координатних параметрів здійснюється із застосуванням сучасних геодезичних методів, що безпосередньо впливає на точність і достовірність кадастрових даних.

Структура Державного земельного кадастру має багаторівневий та ієрархічний характер, що дозволяє ефективно працювати з великими обсягами інформації. Основними складовими є просторова (графічна) та атрибутивна (семантична) частини. Просторова складова представлена у вигляді цифрових кадастрових карт, планів і геоінформаційних моделей, які відображають розташування об'єктів у межах єдиної системи координат. Атрибутивна складова містить інформацію про правовий статус земель, їх функціональне

призначення, кількісні та якісні характеристики, а також інші відомості, необхідні для ведення кадастрового обліку [15, С. 42–58].

Важливу роль у структурі кадастру відіграють метадані, які містять інформацію про джерела отримання геопросторових даних, точність вимірювань, використані методи збору та обробки, а також дату їх актуалізації. Метадані забезпечують можливість оцінювання якості інформації, її достовірності та придатності для подальшого використання в різних сферах діяльності. Крім того, вони є необхідною умовою для інтеграції кадастрових даних з іншими державними інформаційними ресурсами.

Функціонування кадастру передбачає використання єдиної державної системи координат і стандартизованих форматів обміну геопросторовими даними. Це забезпечує сумісність інформації, її актуальність та можливість інтеграції з іншими державними реєстрами. У результаті формується єдине інформаційне середовище, яке дозволяє здійснювати ефективне управління земельними ресурсами, а також приймати обґрунтовані управлінські рішення [6].

Сучасний етап розвитку Державного земельного кадастру характеризується переходом до цифрових геоінформаційних моделей територій. Це дозволяє не лише фіксувати межі земельних ділянок, але й аналізувати просторові взаємозв'язки між об'єктами, моделювати різні сценарії використання територій та оцінювати їх ефективність. Застосування тривимірних моделей, дистанційних методів знімання та автоматизованих систем обробки даних значно підвищує ефективність кадастрової діяльності та розширює її можливості [27, С. 3–10]

Оновлення кадастрової інформації здійснюється на постійній основі шляхом проведення топографо-геодезичних зйомок, моніторингу земель та внесення змін у разі трансформації земельних відносин. Важливу роль у цьому процесі відіграють сучасні методи одержання геопросторових даних, які забезпечують високий рівень точності, оперативності та достовірності інформації.

Таким чином, Державний земельний кадастр є складною інформаційною

системою, що поєднує просторові та атрибутивні дані про земельні ресурси. Його ефективне функціонування залежить від якості геопросторової інформації, рівня технологічного забезпечення та можливості інтеграції з іншими інформаційними системами.

Геоінформаційні дані, що використовуються у кадастрі, складаються з просторових та описових компонентів. Просторові дані визначають координатне положення об'єктів і забезпечують їх відображення у картографічному вигляді. Атрибутивні дані містять інформацію про характеристики земельних ділянок, включаючи їх правовий статус, цільове призначення та інші параметри.

Картографічні матеріали, такі як кадастрові плани, цифрові карти та ортофотоплани, використовуються для візуалізації геопросторової інформації. Вони виконують допоміжну функцію, забезпечуючи наочність і зручність сприйняття даних.

До складу геопросторових даних також входять результати сучасних методів знімання, зокрема цифрові моделі рельєфу, хмари точок та тривимірні моделі місцевості, які формуються за результатами фотограмметричних досліджень. Хоча такі дані не завжди безпосередньо вносяться до кадастру, вони використовуються як основа для формування та уточнення кадастрової інформації. Метадані, у свою чергу, забезпечують контроль якості інформації, дозволяють оцінити її точність, достовірність і актуальність, що є необхідною умовою ефективного функціонування кадастрової системи.

1.3. Нормативно-правове забезпечення кадастрових робіт для ведення Державного земельного кадастру

Нормативно-правова база, що регламентує виконання кадастрових робіт, відіграє визначальну роль у функціонуванні Державного земельного кадастру, оскільки саме вона встановлює правила організації процесів, виконання відповідних робіт і здійснення контролю їх якості. В Україні ці питання врегульовані сукупністю законів і підзаконних актів, які формують правові,

організаційні та технологічні засади проведення топографо-геодезичних і кадастрових робіт, а також подальшої обробки і використання отриманої геопросторової інформації [6].

Одним із основоположних нормативних актів є Закон України «Про землеустрій», який визначає загальні принципи та правові засади здійснення землевпорядної діяльності. Згідно з ним, виконання кадастрових і топографічних зйомок є обов'язковим елементом землеустрою, спрямованим на отримання точних просторових характеристик земельних ділянок, необхідних для розроблення відповідної документації та ведення кадастрового обліку [7].

Водночас центральне місце у системі нормативного регулювання займає Закон України «Про Державний земельний кадастр», який визначає механізм формування, ведення та використання кадастрових даних. Відповідно до його положень, базою кадастрової інформації виступають координати поворотних точок меж земельних ділянок, їх площа та просторове положення, що встановлюються за результатами геодезичних вимірювань із використанням сучасних технологій [6].

Правові аспекти виконання топографо-геодезичних робіт регламентуються Законом України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», який встановлює вимоги до точності, методів виконання робіт та професійної підготовки виконавців. Однією з ключових умов є застосування державної геодезичної мережі та єдиної системи координат, що забезпечує узгодженість і сумісність геопросторових даних [10].

У контексті цифровізації особливого значення набуває Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», який визначає принципи створення та функціонування єдиного геоінформаційного середовища. Його положення спрямовані на забезпечення стандартизації, доступності та сумісності геопросторових даних, а також їх інтеграції з іншими державними інформаційними ресурсами [8].

Поряд із законодавчими актами, важливу роль відіграють підзаконні документи, до яких належать інструкції, стандарти та методичні рекомендації.

Вони деталізують порядок виконання кадастрових і топографо-геодезичних робіт, регламентують проведення польових і камеральних етапів, обробку результатів вимірювань, а також формування електронної документації та вимоги до її структури.

Особливе місце серед таких документів займає «Порядок ведення Державного земельного кадастру», який визначає процедури внесення відомостей до кадастрової системи, державної реєстрації земельних ділянок, формування Поземельної книги та виправлення помилок. Значна увага в ньому приділяється перевірці електронних документів, зокрема їх відповідності геодезичній і картографічній основі, а також встановленим технічним вимогам [18].

Важливою тенденцією розвитку кадастрової системи є її цифровізація. Електронні документи формуються у стандартизованому форматі XML, що забезпечує їх автоматизовану обробку, контроль і інтеграцію в геоінформаційні системи. У результаті геопросторові дані набувають вигляду структурованих цифрових моделей, придатних для використання в сучасних інформаційних технологіях [18].

Окрему увагу в нормативному регулюванні приділено координатному забезпеченню. В Україні використовується державна геодезична референсна система координат УСК-2000, яка є обов'язковою при виконанні робіт із землеустрою. Її застосування гарантує єдність просторових даних і їх коректну інтеграцію у державні інформаційні ресурси.

Забезпечення якості геопросторових даних значною мірою досягається за рахунок застосування державних стандартів (ДСТУ), які встановлюють вимоги до точності, структури та форматів даних. Використання таких стандартів сприяє уніфікації інформації та ефективному обміну нею між різними системами [15, С. 60–75]. Контроль якості виконання кадастрових робіт покладається на уповноважені державні органи, тоді як виконавці несуть відповідальність за достовірність і точність отриманих результатів, що забезпечує юридичну силу кадастрових даних.

Крім того, сучасний розвиток кадастрової системи передбачає поступове узгодження національного законодавства з міжнародними стандартами у сфері геодезії та геоінформаційних технологій. Це сприяє впровадженню сучасних підходів до отримання даних, підвищує рівень їх сумісності та забезпечує інтеграцію України у світовий геоінформаційний простір.

1.4. Сучасні засоби, технології та програмне забезпечення одержання й обробки геопросторових даних

У сучасних умовах розвитку геодезичної науки і практики технічний прогрес відіграє ключову роль у підвищенні точності, оперативності та ефективності виконання геодезичних робіт. Активне впровадження цифрових технологій сприяло появі новітніх приладів і методів, що забезпечують автоматизацію процесів збору, обробки та аналізу геопросторової інформації. У свою чергу, це формує необхідні передумови для створення достовірної, актуальної та повної інформаційної бази Державного земельного кадастру [4].

Сучасні геодезичні засоби представлені комплексом технічних рішень, серед яких провідне місце займають електронні тахеометри, глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), а також технології дистанційного зондування Землі, зокрема використання безпілотних літальних апаратів і лазерного сканування. Їх застосування дозволяє виконувати геодезичні роботи різного рівня складності - від локальних кадастрових зйомок до комплексного дослідження територій і об'єктів [1, С. 120–135].

Електронні тахеометри (наприклад, Leica Smart Station, рис. 1.1) є універсальними геодезичними приладами, що поєднують функції вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів та відстаней із можливістю автоматизованого визначення координат точок. Вони широко застосовуються під час виконання топографічних і кадастрових зйомок, створення планово-висотної геодезичної основи, винесення меж земельних ділянок у натуру, а також контролю геометричних параметрів об'єктів [1, С. 140–155]. Завдяки

наявності вбудованих обчислювальних модулів і пам'яті сучасні тахеометри дають змогу виконувати обробку результатів безпосередньо у польових умовах, що значно скорочує тривалість виконання робіт.

Точність тахеометричних вимірювань визначається як технічними характеристиками приладів, так і зовнішніми умовами проведення робіт, зокрема видимістю, атмосферними впливами та кваліфікацією виконавця. Сучасні високоточні тахеометри забезпечують кутову точність до часток секунди, а лінійну - на рівні міліметрів. Використання безвідбивачевих режимів дозволяє виконувати вимірювання до важкодоступних об'єктів, а функції автоматичного наведення та відстеження істотно підвищують продуктивність і зменшують вплив людського фактора.

Подальшим напрямом розвитку тахеометричних технологій є застосування роботизованих тахеометрів, які забезпечують виконання вимірювань у автоматизованому режимі з мінімальною участю оператора. Такі прилади широко використовуються для моніторингу деформацій інженерних споруд, виконання високоточних інженерних вимірювань, а також створення тривимірних моделей об'єктів і територій [1, С. 200–215].



Рис. 1.1. Тахеометр Leica Smart Station.

Важливе місце у сучасній геодезії посідають глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), які забезпечують визначення координат точок місцевості з високим рівнем точності та надійності. Використання GNSS-технологій дає можливість виконувати вимірювання у різних режимах - статичному, кінематичному та диференціальному – залежно від поставлених

завдань і вимог до точності результатів [23, С. 180–200].

Статичний метод застосовується переважно для створення та згущення геодезичних мереж і характеризується високою точністю визначення координат завдяки тривалому часу спостережень. Водночас кінематичні методи, зокрема RTK, дозволяють отримувати координати в режимі реального часу з точністю до кількох сантиметрів, що є особливо важливим під час виконання кадастрових зйомок і винесення меж земельних ділянок у натуру [23, С. 65–80].

Застосування GNSS-технологій дає змогу суттєво скоротити тривалість польових робіт та підвищити їх ефективність у порівнянні з традиційними геодезичними методами. Крім того, використання супутникових систем забезпечує можливість виконання вимірювань на значних територіях без необхідності створення густої мережі опорних геодезичних пунктів, що значно спрощує організацію робіт. Прикладом сучасного обладнання є комплект GNSS-приймача Leica GS18T (рис. 1.2), який широко застосовується у практиці геодезичних і кадастрових робіт.



Рис. 1.2. Комплект GNSS-приймача Leica gs18.

Суттєвий розвиток сучасної геодезії пов'язаний із впровадженням технологій дистанційного зондування Землі, серед яких особливе місце займають безпілотні літальні апарати (БПЛА). Використання таких технологій значно розширює можливості отримання геопросторової інформації, забезпечуючи високу оперативність та деталізацію результатів. Прикладом

сучасного технічного рішення є безпілотний літальний апарат DJI Matrice 350 RTK (рис. 1.3), який широко застосовується у геодезичній практиці [27, С. 5–12].

БПЛА використовуються для виконання аерофотознімання територій, що дозволяє отримувати вихідні матеріали для створення ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу та тривимірних моделей місцевості. Завдяки високій щільності отриманих даних та можливості швидкого охоплення значних площ, дана технологія є ефективним інструментом для виконання топографічних і кадастрових робіт [27, С. 8–14].



Рис. 1.3. DJI Matrice 350 RTK.

Застосування безпілотних літальних апаратів забезпечує оперативне отримання значного обсягу геопросторових даних із високим рівнем деталізації, що є особливо ефективним під час виконання геодезичних і кадастрових робіт на великих територіях або в умовах складного рельєфу. Використання цієї технології дозволяє суттєво скоротити тривалість польових робіт, а також підвищити їх економічну ефективність за рахунок зменшення витрат часу та ресурсів [24, С. 90–100].

Разом з тим, використання безпілотних літальних апаратів в Україні в умовах воєнного стану має суттєві обмеження. Починаючи з 24 лютого 2022 року, повітряний простір для цивільного використання, включаючи застосування БПЛА, фактично закритий або перебуває під жорстким контролем. У більшості випадків польоти цивільних дронів заборонені без отримання

спеціального дозволу, а їх несанкціоноване використання може розглядатися як порушення правил використання повітряного простору або потенційна загроза безпеці.

Водночас чинне законодавство не передбачає повної заборони використання БПЛА, проте встановлює обов'язкову процедуру погодження польотів. Для виконання геодезичних та інших робіт необхідно отримати відповідний дозвіл від уповноважених органів, зокрема військових адміністрацій, Служби безпеки України або інших компетентних структур. Процедура отримання дозволу включає подання заявки із зазначенням мети польоту, району виконання робіт, технічних характеристик безпілотної апаратури та часу проведення зйомки. Рішення щодо надання дозволу приймається з урахуванням поточної безпекової ситуації та можливих ризиків.

Незважаючи на наявні обмеження, використання БПЛА в Україні продовжується, проте переважно у контрольованому режимі. Безпілотні технології активно застосовуються військовими підрозділами, державними установами, науковими організаціями та окремими суб'єктами господарювання, які отримали відповідні дозволи. Крім того, в сучасних умовах безпілотні системи набули стратегічного значення, а їх розвиток активно підтримується на державному рівні. Зокрема, спостерігається збільшення кількості безпілотних комплексів, допущених до використання, що свідчить про їх високу актуальність та перспективність.

Іншою сучасною технологією одержання геопросторових даних є лазерне сканування (LiDAR), яке дозволяє отримувати детальні тривимірні координати об'єктів і поверхні місцевості. Принцип функціонування цієї технології базується на вимірюванні часу проходження лазерного імпульсу від джерела до об'єкта та назад, що забезпечує високу точність визначення відстаней [26, С. 250–270].

Лазерне сканування може здійснюватися у різних варіантах: наземні сканери (рис. 1.4) застосовуються для детального дослідження будівель і споруд, мобільні системи - для зйомки транспортної інфраструктури, а повітряне

сканування - для картографування великих територій (рис. 1.5). Основною перевагою цієї технології є формування щільної хмари точок, що забезпечує високий рівень деталізації та точності отриманих результатів.



Рис. 1.4. Наземний сканер Leica RTC360.



Рис. 1.5. Повітряний лазерний сканер Leica SPL100.

Важливим напрямом розвитку сучасної геодезії є інтеграція різних технологій у єдині системи збору та обробки геопросторових даних. Поєднання тахеометричних вимірювань, GNSS-технологій, використання безпілотних літальних апаратів, а також лазерного сканування дозволяє отримувати максимально повну та різносторонню інформацію про територію. Такий комплексний підхід суттєво підвищує ефективність виконання геодезичних робіт і забезпечує високу якість отриманих результатів [10; 27, С. 10–15].

Отримані геопросторові дані інтегруються у геоінформаційні системи, де

здійснюється їх подальша обробка, аналіз і візуалізація. Це створює основу для формування цифрових моделей територій та забезпечує ефективне ведення Державного земельного кадастру.

Сучасний розвиток геодезії та землеустрою тісно пов'язаний із впровадженням геоінформаційних систем (ГІС) та спеціалізованого програмного забезпечення, які забезпечують ефективну обробку, аналіз і зберігання геопросторових даних. Використання таких технологій є необхідною умовою функціонування Державного земельного кадастру, оскільки дозволяє інтегрувати просторову та атрибутивну інформацію в єдине інформаційне середовище [10].

ГІС-технології забезпечують створення, редагування, аналіз і візуалізацію геопросторових даних, що дає змогу формувати цифрові карти, кадастрові плани та інші моделі територій. Основною перевагою геоінформаційних систем є можливість поєднання геометричних характеристик об'єктів із їх описовими атрибутами, що значно підвищує ефективність управління земельними ресурсами.

У кадастрових системах ГІС застосовуються для ведення баз даних земельних ділянок, визначення їх меж, аналізу просторових взаємозв'язків, а також здійснення контролю за використанням земель. Важливою функцією є забезпечення відкритого доступу до кадастрової інформації, що сприяє підвищенню прозорості земельних відносин та спрощенню управлінських процедур.

Сучасне програмне забезпечення у сфері геодезії та кадастру включає як комерційні, так і відкриті геоінформаційні платформи. Однією з найбільш поширених систем в Україні є QGIS – безкоштовна ГІС із відкритим кодом, яка надає широкі можливості для роботи з геопросторовими даними. Вона дозволяє виконувати обробку геодезичних вимірювань, створення картографічних матеріалів, аналіз просторової інформації та інтеграцію з іншими системами.

Не менш важливим програмним продуктом є ArcGIS Pro, який широко використовується у професійній діяльності геодезистів і землевпорядників. Дана

система забезпечує високий рівень функціональності, включаючи обробку великих обсягів даних, виконання складного просторового аналізу та створення якісних картографічних матеріалів [25, С. 210–230].

Серед програмного забезпечення, що активно застосовується в Україні, слід також виділити систему Digital, яка спеціалізується на обробці геодезичних вимірювань, створенні топографічних планів і кадастрових схем. Завдяки адаптації до національних стандартів і вимог цей програмний продукт широко використовується при виконанні топографо-геодезичних і кадастрових робіт.

Використання сучасних ГІС-технологій передбачає роботу з геопросторовими даними відповідно до встановлених стандартів, що визначають структуру геоінформаційних продуктів та правила їх опису. Це забезпечує сумісність даних, можливість їх обміну між різними системами та інтеграцію у національну інфраструктуру геопросторових даних.

Крім того, ГІС-технології дають змогу виконувати комплексний аналіз просторових даних, моделювання процесів використання земель, прогнозування змін у структурі територій та оцінку ефективності землекористування. Це робить їх важливим інструментом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері землеустрою та кадастру [15, С. 80–95].

Для обробки матеріалів, отриманих за допомогою БПЛА, широко використовуються спеціалізовані програмні продукти фотограмметричної обробки, зокрема Agisoft Metashape та Pix4Dmapper, які забезпечують побудову хмар точок, цифрових моделей рельєфу та ортофотопланів. У випадку використання безпілотних літальних апаратів ДП застосовується програмний комплекс ДП Terra, що дозволяє виконувати швидку обробку даних безпосередньо у польових умовах. Для великомасштабних проєктів також використовуються RealityCapture та Bentley ContextCapture, які відзначаються високою швидкістю обробки та ефективністю роботи з великими обсягами даних.

Інтеграція геодезичних даних, отриманих за допомогою сучасних приладів (GNSS, тахеометрів, БПЛА), із геоінформаційними системами дозволяє

створювати єдину цифрову модель території. Такий підхід забезпечує комплексне використання геопросторової інформації, підвищує точність і достовірність кадастрових даних, а також сприяє ефективному веденню Державного земельного кадастру.

Висновки до розділу 1.

1. Топографо-геодезичне роботи є фундаментальною основою формування Державного земельного кадастру, оскільки саме воно забезпечує отримання достовірних координат меж земельних ділянок і їх просторового положення. Встановлено, що точність і надійність кадастрових даних безпосередньо залежать від якості виконання знімальних робіт, а сучасні технології (GNSS, тахеометрія, дистанційні методи) дозволяють суттєво підвищити оперативність і деталізацію даних. Таким чином, кадастрове і топографічне знімання виступають базовими інструментами формування геопросторової основи кадастру та забезпечення юридичної визначеності земельних ділянок.

2. Державний земельний кадастр є складною багаторівневою геоінформаційною системою, що інтегрує просторові та атрибутивні дані про земельні ділянки та пов'язані об'єкти. Основною одиницею обліку виступає земельна ділянка, яка має чітко визначені координати, правовий статус і набір характеристик. Встановлено, що ефективність функціонування кадастру забезпечується поєднанням графічної (просторової) та семантичної (атрибутивної) складових, а також наявністю метаданих, що дозволяють оцінювати якість інформації. Перехід до цифрових моделей території відкриває нові можливості для аналізу, інтеграції та використання кадастрових даних.

3. Нормативно-правова база є ключовим елементом, що регламентує процеси одержання, обробки та використання геопросторових даних для ведення кадастру. Вона включає систему законів, підзаконних актів, стандартів і процедур, які визначають вимоги до точності, формату та змісту даних. Особливе значення має уніфікація координатної основи (УСК-2000) та використання

електронних документів (XML), що забезпечує автоматизовану обробку та інтеграцію інформації. Таким чином, нормативне забезпечення гарантує юридичну значущість, достовірність і сумісність кадастрових даних.

4. Сучасні геодезичні технології та програмне забезпечення забезпечують якісний перехід від традиційних методів до цифрового середовища обробки геопросторових даних. Використання GNSS, тахеометрів, БПЛА дозволяє отримувати високоточні дані з різною деталізацією, а їх інтеграція з ГІС-системами забезпечує ефективну обробку, аналіз і візуалізацію інформації. Встановлено, що найбільш ефективним підходом є комплексне застосування різних технологій, що дозволяє підвищити точність, продуктивність і надійність кадастрових робіт, а також забезпечити формування єдиної цифрової моделі території.

РОЗДІЛ 2.

СУЧАСНІ МЕТОДИ КАДАСТРОВОГО ЗНІМАННЯ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ДЕРЖАВНОМУ ЗЕМЕЛЬНОМУ КАДАСТРІ

2.1. Кадастрова зйомка як основа Державного земельного кадастру

Кадастрова зйомка є одним із визначальних етапів формування Державного земельного кадастру, оскільки саме на її основі створюється просторове відображення земельної ділянки як об'єкта обліку. У сучасних умовах цифровізації її значення суттєво розширюється: вона виступає не лише як сукупність польових і камеральних робіт, а як процес формування цифрової моделі території, що включає як геометричні, так і атрибутивні характеристики ділянки. Результати таких робіт є основою для створення електронних кадастрових планів і наповнення бази даних кадастру [6].

Відповідно до вимог земельного законодавства, кадастрова зйомка являє собою комплекс робіт, спрямованих на визначення, відновлення та закріплення меж земельних ділянок. До її складу входять геодезичні вимірювання, погодження меж із суміжними землекористувачами, встановлення обмежень та складання кадастрового плану. Реалізація цих заходів забезпечує як просторову, так і правову визначеність земельної ділянки [7; 6]. У межах функціонування Державного земельного кадастру кадастрова зйомка виконує також інформаційно-аналітичну функцію, оскільки отримані результати трансформуються у структуровані цифрові дані, що містять координати поворотних точок, площу, конфігурацію меж, цільове призначення та інші характеристики. Важливою вимогою є відповідність цих даних фактичному стану території та нормативним вимогам щодо точності [7; 26, С. 40–55].

Підготовчий етап кадастрової зйомки включає аналіз вихідних матеріалів: правовстановлюючих документів, матеріалів попередніх зйомок, даних кадастру та картографічної інформації. Його основною метою є уточнення правового статусу ділянки та вибір оптимальної методики проведення подальших робіт.

Польовий етап передбачає виконання геодезичних вимірювань із використанням сучасних технологій, зокрема GNSS та тахеометричного знімання. Вибір методу залежить від умов місцевості, необхідної точності та доступності супутникового сигналу: GNSS доцільно застосовувати на відкритій території, тоді як у щільній забудові більш ефективними є тахеометричні методи.

Забезпечення точності є однією з ключових вимог кадастрової зйомки. Координати меж повинні визначатися у встановленій системі координат з урахуванням допустимих похибок, що дозволяє коректно інтегрувати результати у кадастрову систему [6]. Після виконання польових робіт здійснюється погодження меж із суміжними землекористувачами, що має важливе юридичне значення та дозволяє уникнути конфліктних ситуацій. У разі необхідності проводиться відновлення меж у натурі з їх закріпленням відповідними межовими знаками.

Камеральний етап включає обробку результатів вимірювань, розрахунок площі, побудову кадастрового плану та формування графічних матеріалів, у результаті чого польові дані трансформуються у цифрову форму. Особливе значення при цьому має створення обмінного файлу у форматі XML, який використовується для передачі інформації до Державного земельного кадастру. Такий файл формується у стандартизованому вигляді та проходить автоматизовану перевірку, що забезпечує коректність і цілісність даних [8].

Сучасна кадастрова зйомка відрізняється від традиційного підходу тим, що її результатом є не лише графічні матеріали, а повноцінний цифровий масив даних, придатний для інтеграції у геоінформаційні системи та подальшого аналізу. Крім того, сучасні тенденції розвитку кадастрових робіт передбачають широке використання геоінформаційних технологій, дистанційних методів знімання та автоматизованих систем обробки інформації, що забезпечує підвищення точності, оперативності та ефективності кадастрової діяльності [27, С. 6–12].

Для кращого розуміння ролі кадастрової зйомки в ДЗК доцільно подати її основні етапи у вигляді табл. 2.1:

Таблиця 2.1

Основні етапи кадастрової зйомки та їх значення для ДЗК.

Етап робіт	Зміст робіт	Результат	Значення для ДЗК
Підготовчий етап	Збір інформації. Аналіз документів, кадастрових даних, картографічних матеріалів	Вихідна інформація про ділянку	Перевірка правового та просторового статусу
Польові роботи	Визначення координат меж, обстеження території	Координати поворотних точок	Формування просторової основи ділянки
Камеральна обробка	Розрахунок площі, побудова плану, перевірка даних	Кадастровий план	Підготовка графічної частини
Погодження меж	Узгодження меж із суміжними власниками або користувачами	Акт погодження меж	Зменшення ризику земельних спорів
Формування XML	Структурування просторових і атрибутивних даних	Електронний документ	Передача даних до ДЗК
Внесення до ДЗК	Перевірка та реєстрація відомостей	Дані в електронному кадастрі	Офіційне закріплення кадастрової інформації

Джерело: авторська розробка.

Кадастрова зйомка виступає базовою технологічною складовою, без якої неможливе ефективне функціонування Державного земельного кадастру. Вона забезпечує трансформацію фактичного стану земельної ділянки на місцевості у її формалізоване цифрове представлення в кадастровій системі. Саме в результаті виконання кадастрових зйомок формується точна, юридично значуща та структурована інформація про земельні ділянки, придатна для подальшої автоматизованої обробки, аналізу та зберігання в інформаційних системах.

Таким чином, кадастрова зйомка є ключовим елементом формування Державного земельного кадастру, оскільки вона інтегрує правові, геодезичні та інформаційні складові процесу обліку земель. Результатом її виконання є не лише створення кадастрового плану, а й формування повноцінного цифрового опису земельної ділянки, що включає просторові та атрибутивні характеристики. Такий опис може використовуватися у державних реєстрах, геоінформаційних

системах, процесах просторового планування та управління земельними ресурсами, забезпечуючи достовірність і узгодженість геопросторових даних.

2.2. Класифікація та загальна характеристика методів топографо-геодезичних робіт

Кадастрове знімання є одним із ключових процесів формування геопросторової інформації, що використовується у Державному земельному кадастрі. Його основною метою є визначення координат, встановлення меж, обчислення площ і просторового положення об'єктів місцевості, які в подальшому слугують основою для створення кадастрових планів, цифрових карт і геоінформаційних баз даних. Згідно з положеннями Закону України «Про Державний земельний кадастр», до складу кадастрових даних входять координати поворотних точок, площа та інші геометричні параметри земельних ділянок [6].

У сучасних умовах геодезичні методи знімання доцільно систематизувати за рядом критеріїв, зокрема за способом отримання даних, типом застосованого обладнання, точністю вимірювань і рівнем автоматизації процесів. За способом одержання просторової інформації виділяють наземні, супутникові, дистанційні та комбіновані методи. Така класифікація дозволяє обрати найбільш ефективну технологію залежно від площі ділянки, складності рельєфу та вимог до точності результатів [22, С. 30–45].

До наземних методів належать тахеометричне, теодолітне та нівелірне знімання. У сучасній кадастровій практиці найбільш поширеним є тахеометричний метод, який забезпечує одночасне визначення планових і висотних координат точок місцевості. Електронні тахеометри широко використовуються для визначення координат поворотних точок, уточнення меж земельних ділянок, знімання забудованих територій та винесення меж у натуру [1, С. 120–140].

Супутникові методи базуються на використанні глобальних навігаційних

супутникових систем (GNSS), що дозволяють визначати координати без необхідності прямої видимості між пунктами. Це суттєво підвищує ефективність і швидкість польових робіт. Найбільш поширеними є статичний метод, а також кінематичні методи RTK і PPK. Статичні спостереження застосовуються для створення геодезичної основи, тоді як RTK і PPK забезпечують оперативне визначення координат у процесі кадастрових робіт [23, С. 150–180].

Дистанційні методи знімання включають аерофотознімання, використання безпілотних літальних апаратів та лазерне сканування. Їх основною перевагою є можливість швидкого отримання значних обсягів просторових даних. Такі технології є особливо ефективними при дослідженні великих територій або складного рельєфу, де застосування традиційних методів є менш продуктивним [27, С. 5–10; 21, С. 85–95].

Водночас у сучасних умовах використання БПЛА в Україні має певні обмеження, пов'язані з безпековими вимогами. Використання повітряного простору регламентується чинним законодавством, а виконання польотів потребує отримання відповідних дозволів. Загальні правила використання повітряного простору визначені постановою Кабінету Міністрів України № 954, що встановлює правові обмеження та відповідальність за їх порушення [17].

Окрему групу становлять комбіновані методи геодезичного знімання, які передбачають інтеграцію кількох технологій. Наприклад, GNSS може застосовуватися для створення опорної геодезичної мережі, тахеометрія - для детального знімання складних об'єктів, а дистанційні методи - для отримання цифрових моделей місцевості. Такий підхід є найбільш ефективним у кадастровій діяльності, оскільки дозволяє поєднати точність наземних вимірювань із високою продуктивністю сучасних технологій [26, С. 300–320].

Для кращого порівняння сучасних методів кадастрового знімання доцільно подати їх характеристику у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Порівняльна характеристика методів знімання для потреб ДЗК.

Метод знімання	Основне обладнання	Переваги	Обмеження	Доцільність для ДЗК
Тахеометричне знімання	Електронний тахеометр	Висока точність, можливість роботи в забудованій місцевості	Потребує прямої видимості, нижча продуктивність на великих площах	Доцільне, знімання забудови, винесення точок
GNSS RTK	GNSS-приймач, референсна станція або мережа	Швидке отримання координат у полі, висока продуктивність	Погіршення точності біля будівель, дерев, перешкод, або можливість повної відсутності сигналу	Дуже доцільне для визначення поворотних точок земельних ділянок, уточнення меж, утворенню «базових точок»
GNSS PPK	GNSS-приймач, подальша камеральна обробка	Вища надійність у складніших умовах, не завжди потрібен стабільний зв'язок у полі	Потребує постобробки	Доцільне для кадастрових і топографічних робіт
БПЛА-фотограмметрія	Дрон, камера, GNSS-прив'язка	Швидке охоплення великих площ, ортофотоплани, цифрові моделі	Потребує дозволу на польоти, залежить від погоди	Доцільне для великих територій за умови дозволу
Комбінований метод	GNSS + тахеометр + БПЛА/LiDAR	Найбільш повна інформація, підвищена надійність результатів	Складніша організація робіт	Найбільш ефективний для комплексного Державного земельного кадастру

Джерело: авторська розробка.

Таким чином, для потреб ДЗК найбільш ефективним є не один окремий метод, а їх раціональне поєднання. GNSS-технології забезпечують швидке визначення координат, тахеометричне знімання дає високу точність у складних умовах, а дистанційні методи дозволяють отримати детальні цифрові моделі території. Саме комбінований підхід забезпечує повноту, точність та актуальність геопросторових даних, необхідних для сучасного електронного кадастру.

2.3. Наземні методи топографо-геодезичних робіт. GNSS та тахеометричне знімання

Сучасні GNSS-технології є одним з провідних інструментів виконання топографо-геодезичних робіт, оскільки забезпечують оперативне та достатньо точне визначення координат точок на місцевості. У сфері кадастрових робіт вони широко застосовуються для встановлення координат поворотних точок земельних ділянок, створення геодезичної основи, винесення меж у натуру, уточнення просторового положення об'єктів, а також формування цифрових кадастрових даних. На відміну від традиційних геодезичних методів, GNSS дозволяє значно скоротити тривалість польових робіт і забезпечити прив'язку результатів до державної системи координат.

Ключовою перевагою супутникових методів є відсутність необхідності забезпечення прямої видимості між точками, що є обов'язковою умовою для тахеометричних вимірювань. Це дозволяє ефективно застосовувати GNSS на відкритих територіях, зокрема на сільськогосподарських угіддях, територіях громад, промислових об'єктах та інших ділянках, де необхідно швидко отримати координати значної кількості точок. У сучасній геодезичній практиці найбільш поширеними є статичний метод, RTK та PPK, які відрізняються між собою принципом виконання вимірювань, точністю та сферою застосування [19, С. 140–160].

Статичний метод передбачає тривале спостереження супутникових сигналів на кількох пунктах одночасно. Один із приймачів розташовується на пункті з відомими координатами, а інші - на точках, координати яких необхідно визначити. Після завершення польових спостережень дані обробляються у спеціалізованому програмному забезпеченні. Завдяки тривалості спостережень та камеральній обробці цей метод забезпечує найвищу точність серед GNSS-технологій, що робить його доцільним для створення та уточнення геодезичної основи [21, С. 2–6].

Разом з тим, застосування статичного методу для масових кадастрових

робіт є обмеженим через значні витрати часу на проведення вимірювань і обробку результатів. У зв'язку з цим для оперативного визначення координат великої кількості точок перевага надається кінематичним методам, зокрема RTK та PPK.

Метод RTK (Real-Time Kinematic) передбачає визначення координат у режимі реального часу за рахунок отримання поправок від базової станції або мережі референцних станцій. Це дозволяє оператору безпосередньо в процесі польових робіт отримувати координати та контролювати їх точність. За сприятливих умов RTK забезпечує сантиметровий рівень точності, що є достатнім для виконання більшості кадастрових завдань, зокрема визначення меж земельних ділянок і винесення їх у натуру [16, С. 70–85; 23, С. 220–235].

Основною перевагою RTK є висока швидкість отримання результатів, що дозволяє одразу перевіряти якість вимірювань і оперативно виправляти можливі помилки. Водночас ефективність цього методу значною мірою залежить від стабільності зв'язку з базовою станцією, кількості доступних супутників, геометрії їх розташування, а також наявності перешкод, які можуть спричинити багатопроменевість сигналу. У складних умовах, таких як щільна міська забудова або наявність високих об'єктів, точність RTK може знижуватися.

Метод PPK (Post-Processed Kinematic) є альтернативою RTK і передбачає обробку даних після завершення польових робіт. У процесі знімання GNSS-приймач фіксує “сирі” спостереження, які згодом обробляються разом із даними базової станції. Такий підхід дозволяє отримати високоточні результати навіть за відсутності стабільного зв'язку під час польових робіт, що робить PPK більш надійним у складних умовах [11, С. 50–65; 19, С. 235–250].

Застосування PPK є доцільним у випадках, коли об'єкт розташований у зоні нестабільного зв'язку або відсутня можливість підключення до мережі референцних станцій. Його основним недоліком є необхідність камеральної обробки, однак саме це забезпечує підвищену точність і надійність результатів.

Вибір конкретного GNSS-методу залежить від умов виконання робіт. RTK є оптимальним для швидкого визначення координат у відкритій місцевості, PPK

- для складних умов спостережень, а статичний метод - для створення високоточної геодезичної основи. У цьому контексті GNSS-технології відіграють ключову роль у формуванні цифрових кадастрових даних, оскільки забезпечують отримання координат у форматі, придатному для інтеграції у геоінформаційні системи та кадастрові бази даних [25, С. 180–200].

Водночас GNSS-знімання не є універсальним методом. У складних умовах, таких як щільна забудова, лісові масиви або наявність інженерних споруд, які екранують або відбивають супутниковий сигнал, можуть виникати значні похибки. У таких випадках доцільно застосовувати комбінований підхід, поєднуючи GNSS із тахеометричними методами. GNSS забезпечує швидкість і ефективність вимірювань на відкритих ділянках, тоді як тахеометрія дозволяє уточнити координати у складних умовах, забезпечуючи необхідний рівень точності [1, С. 160–180].

Для узагальнення особливостей застосування основних GNSS-методів у кадастрових роботах доцільно подати їх порівняльну характеристику таблиця 2.2:

Таблиця 2.2.

Порівняльна характеристика GNSS-методів у кадастрових зйомках.

Метод	Принцип виконання	Орієнтовна точність	Переваги	Обмеження	Доцільність у кадастрі
Статичний метод	Тривалі спостереження з подальшою обробкою	мм–см	Найвища точність, надійність	Потребує значного часу	Створення геодезичної основи
RTK	Отримання поправок у реальному часі	1–3 см	Швидкість, контроль результату в полі	Залежність від зв'язку та умов прийому сигналу	Визначення поворотних точок, винесення меж
PPK	Запис даних у полі з подальшою обробкою	1–3 см	Надійність за нестабільного зв'язку	Потрібна камеральна обробка	Кадастрові роботи у складних умовах

Джерело: авторська розробка

Загалом GNSS-технології виступають одним із базових інструментів виконання сучасних кадастрових зйомок, оскільки забезпечують оперативне

отримання координат земельних ділянок із достатнім рівнем точності. У практичній діяльності найбільш ефективним для щоденних кадастрових робіт є метод RTK, що дозволяє визначати координати безпосередньо під час польових вимірювань. У випадках нестабільного зв'язку або підвищених вимог до надійності результатів доцільно застосовувати метод РРК, тоді як статичні спостереження залишаються основним способом створення високоточної геодезичної основи. Найбільш раціональним підходом у сучасних умовах є комбіноване використання зазначених методів, що забезпечує оптимальне поєднання точності, оперативності та надійності отриманих даних [9, С. 60–75].

У контексті функціонування Державного земельного кадастру GNSS-технології мають особливе значення, оскільки забезпечують формування координат у цифровому вигляді, придатному для подальшої обробки та інтеграції у геоінформаційні системи. В Україні результати GNSS-вимірювань використовуються при створенні електронних кадастрових документів, зокрема XML-файлів обміну, що містять координати поворотних точок меж земельних ділянок у системі координат УСК-2000. Використання мережі референціальних GNSS-станцій дозволяє забезпечити єдність геодезичної основи на території держави та відповідність отриманих даних чинним нормативним вимогам [23, С. 260–280].

Тахеометричні методи топографо-геодезичного знімання залишаються одним із найбільш точних і надійних способів отримання просторових даних. Незважаючи на активний розвиток супутникових технологій, тахеометрія продовжує відігравати важливу роль у кадастрових та інженерно-геодезичних роботах, особливо у випадках, коли необхідно забезпечити підвищену точність або виконати знімання в умовах обмеженого прийому супутникового сигналу [4, С. 80–95].

Суть тахеометричного методу полягає у визначенні координат точок шляхом вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, а також відстаней до об'єкта. На основі цих даних обчислюються просторові координати та висотні відмітки точок. У сучасній практиці використовуються електронні тахеометри,

які поєднують функції теодоліта, далекоміра та обчислювального пристрою, що дозволяє отримувати результати безпосередньо під час виконання польових робіт із високим рівнем точності.

У кадастровій діяльності тахеометричне знімання застосовується для визначення меж земельних ділянок, уточнення координат поворотних точок, знімання забудованих територій, винесення меж у натуру та контролю просторового положення об'єктів. Особливу ефективність цей метод демонструє в умовах щільної забудови, де GNSS-приймачі можуть втрачати точність через екранування сигналу будівлями, деревами або іншими перешкодами. У таких ситуаціях тахеометричні вимірювання забезпечують стабільний результат незалежно від супутникових умов [1, С. 160–180].

Однією з ключових переваг тахеометричного знімання є його висока точність. Сучасні електронні тахеометри забезпечують кутову точність на рівні 1–5" та лінійну точність у межах кількох міліметрів. Це перевищує точність більшості кінематичних GNSS-методів, які у реальних умовах забезпечують точність на рівні сантиметрів. Тому при виконанні робіт, де необхідна висока точність визначення положення меж або інженерних об'єктів, тахеометричні методи є більш доцільними.

Важливою перевагою тахеометрії є можливість роботи у складних умовах місцевості. На відміну від GNSS, цей метод не потребує відкритого небосхилу і не залежить від якості супутникового сигналу або мобільного зв'язку. Це дозволяє застосовувати його у щільній забудові, під кронами дерев, на промислових об'єктах, у кар'єрах, тунелях та інших умовах із обмеженою видимістю горизонту [1, С. 180–200].

У сучасних умовах України тахеометричні методи мають також практичні переваги, пов'язані з безпековою ситуацією. У разі повітряної тривоги або інших обмежень геодезисти можуть швидко призупинити вимірювання та відновити їх без суттєвої втрати точності, що є складнішим при використанні GNSS, який часто потребує стабільного перебування на відкритій місцевості.

Разом із тим тахеометричне знімання має певні обмеження. Основною

умовою його застосування є наявність прямої видимості між приладом і точкою знімання. У разі її відсутності виникає необхідність зміни стоянки приладу або створення додаткових знімальних точок, що може збільшувати тривалість робіт. Крім того, продуктивність тахеометрії на великих відкритих територіях є нижчою порівняно з GNSS-методами [23, С. 260–280].

У практиці кадастрових робіт тахеометричне знімання зазвичай застосовується у поєднанні з GNSS. GNSS використовується для створення геодезичної основи та швидкого визначення координат на відкритих ділянках, тоді як тахеометрія забезпечує детальне знімання меж, будівель та інших об'єктів у складних умовах. Такий комбінований підхід дозволяє досягти високої точності та ефективності геодезичних робіт, що є особливо важливим для формування достовірної інформації Державного земельного кадастру [3, С. 80–95].

Саме через це варто виділити умови ефективного застосування тахеометричного знімання, табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Умови ефективного застосування тахеометричного знімання.

Умови	Ефективність
Щільна забудова	Висока
Відкрита місцевість	Середня
Під деревами	Висока
Великі площі	Низька
Висока точність	Дуже висока

Джерело: авторська розробка.

Особливо важливим є використання тахеометрії при винесенні меж земельних ділянок у натуру. У цьому випадку потрібно не лише визначити координати, а й точно перенести проєктне положення точок на місцевість. Тахеометр дозволяє виконати це з високою точністю, контролюючи кути, відстані та положення кожної точки. Це знижує ризик помилок при встановленні межових знаків і підвищує юридичну надійність результатів кадастрових робіт.

Для Державного земельного кадастру тахеометричні методи мають важливе значення, оскільки забезпечують отримання точних просторових даних,

які можуть бути безпосередньо інтегровані у цифрові кадастрові плани та геоінформаційні системи. Результати тахеометричного знімання можуть експортуватися у цифрові формати, оброблятися у спеціалізованому програмному забезпеченні та використовуватися для створення графічної частини землевпорядної документації. Це дозволяє забезпечити відповідність між фактичним положенням об'єктів на місцевості та їх відображенням у електронному кадастрі.

Загалом, у системі Державного земельного кадастру тахеометричні методи застосовуються переважно для уточнення координат меж земельних ділянок, особливо у складних умовах міської забудови або за наявності перешкод для супутникового сигналу. В Україні тахеометрія часто використовується як контрольний метод при виконанні кадастрових робіт, що дозволяє підвищити точність визначення меж перед внесенням даних до кадастрової бази. Це особливо актуально при вирішенні земельних спорів, інвентаризації земель та відновленні меж, де необхідна максимальна точність та надійність результатів.

2.4. Дистанційні методи топографо-геодезичних робіт. Використання БПЛА

Сучасний Державний земельний кадастр функціонує як багаторівнева геоінформаційна система, що об'єднує просторові, атрибутивні та аналітичні відомості про земельні ділянки. Якщо раніше кадастрові дані формувалися переважно на основі двовимірних планів і результатів окремих геодезичних вимірювань, то нині розвиток цієї сфери орієнтований на створення повноцінних цифрових моделей території. Такі моделі дозволяють відображати не лише межі земельних ділянок, а й просторову організацію об'єктів у тривимірному середовищі.

Формування кадастру нового покоління безпосередньо пов'язане з активним впровадженням дистанційних методів геодезичних робіт, серед яких особливе значення має застосування безпілотних літальних апаратів.

Використання БПЛА забезпечує отримання значних обсягів геопросторової інформації з високою деталізацією та щільністю, що є необхідною умовою для створення сучасних цифрових картографічних матеріалів і тривимірних моделей місцевості [27, С. 3–10].

Традиційні методи, зокрема тахеометричне та GNSS-знімання, передбачають визначення координат окремих точок з високою точністю. Однак навіть за таких умов вони не забезпечують суцільного покриття території, що обмежує можливості побудови детальних цифрових моделей. Натомість дистанційні технології дозволяють отримувати безперервні масиви даних, які формують цілісне уявлення про територію та її структуру. Застосування БПЛА базується на виконанні аерофотознімання з подальшою фотограмметричною обробкою отриманих зображень. У результаті створюються ортофотоплани та тривимірні моделі місцевості, які дають змогу аналізувати геометричні параметри об'єктів, визначати межі земельних ділянок і здійснювати їх інвентаризацію. Важливою перевагою такого підходу є можливість швидкого охоплення значних територій із точністю, достатньою для виконання кадастрових робіт [27, С. 8–14].

На відміну від наземних методів, що працюють із дискретними точками, дистанційне знімання забезпечує суцільне відображення території. Це має особливе значення при виконанні топографічних робіт, де необхідно відобразити не лише межі земельних ділянок, а й рельєф місцевості, інженерні об'єкти та інші елементи ситуації. Матеріали, отримані в результаті знімання з БПЛА, широко застосовуються як у топографії, так і в кадастровій діяльності. Вони використовуються для створення цифрових планів, уточнення меж земельних ділянок, аналізу їх фактичного використання та проведення інвентаризації. Додатковою перевагою є можливість оперативного отримання актуальної інформації про територію.

Саме завдяки використанню дистанційних технологій стає можливим створення інтерактивних тривимірних карт, які сьогодні активно застосовуються у сучасних геоінформаційних системах. Такі карти не лише забезпечують наочну

візуалізацію території, але й дозволяють виконувати просторовий аналіз, визначати висотні характеристики об'єктів, оцінювати їх взаємне розташування та моделювати різні процеси [5, С. 200–220].

Показовим прикладом впровадження сучасних підходів є інтерактивна 3D-карта Естонії, реалізована на платформі Maagium (рис. 2.1). Дана система дозволяє відображати територію у тривимірному вигляді з високим рівнем деталізації, включаючи будівлі, інженерні мережі, зелені насадження та інші об'єкти. Крім геометричної складової, користувач отримує доступ до атрибутивної інформації, зокрема функціонального призначення об'єктів, їх реєстраційних характеристик та інших параметрів, що інтегруються з державними інформаційними ресурсами.

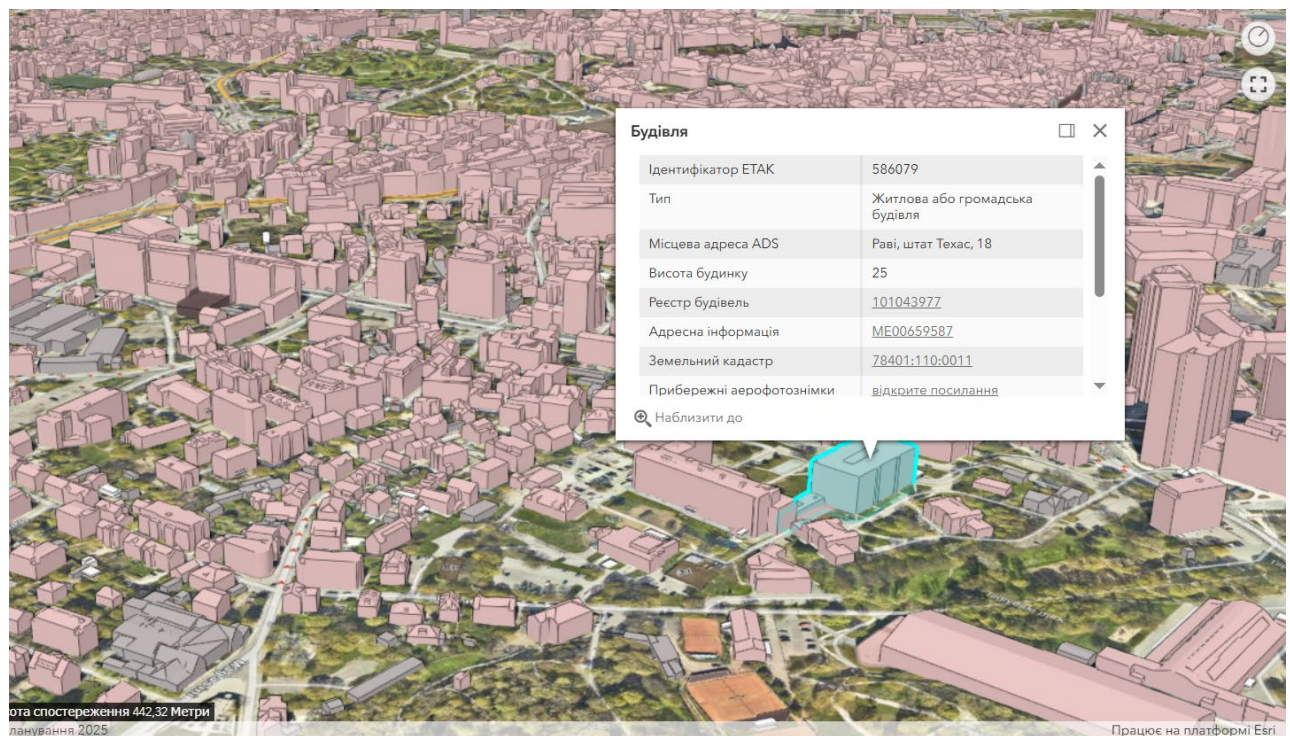


Рис. 2.1. Приклад реалізації місцевого кадастру у вигляді інтерактивної 3D-карти (Естонія, платформа Maagium).

Характерною рисою сучасних геоінформаційних кадастрових систем є їх побудова на основі інтегрованого використання даних аерофотознімання та лазерного сканування. Формування тривимірних моделей будівель і територій відбувається автоматизовано із застосуванням даних повітряного лазерного сканування (LiDAR) у поєднанні з топографічними базами даних, що забезпечує

високий рівень точності та актуальності отриманих результатів. У підсумку створюється так званий «цифровий двійник» території - комплексна цифрова модель, яка дозволяє не лише візуалізувати об'єкти, а й виконувати аналіз просторових процесів, прогнозувати розвиток територій, планувати забудову та оцінювати вплив змін на навколишнє середовище [13, С. 90–105].

Застосування подібних технологій формує принципово новий підхід до ведення кадастру, де ключову роль відіграють не окремі геодезичні вимірювання, а інтегровані цифрові моделі території. У такій системі всі просторові дані об'єднуються в єдине інформаційне середовище, що забезпечує їх узгодженість, повноту та можливість комплексного аналізу. Досягнення подібного рівня деталізації та цілісності можливе виключно завдяки використанню дистанційних методів знімання, зокрема безпілотних літальних апаратів і технологій LiDAR, які дозволяють отримувати високощільні та повні масиви геопросторових даних [26, С. 300–320].

Впровадження таких технологічних рішень в Україні може стати важливим кроком у розвитку Державного земельного кадастру. Створення національної тривимірної кадастрової системи сприятиме більш точному відображенню об'єктів нерухомості, підвищенню ефективності контролю за використанням земельних ресурсів та забезпеченню прозорості управління територіями. Окрім цього, інтерактивні 3D-карти можуть широко застосовуватися у сфері містобудування, планування інженерної інфраструктури та оцінки ризиків, що набуває особливого значення в умовах відновлення територій та розвитку регіонів

2.5. Точність та контроль якості вимірювань для кадастрових та топографічних робіт.

З метою забезпечення належного рівня якості виконання робіт у сфері землеустрою в Україні функціонує система державного та місцевого контролю. Її основним завданням є перевірка дотримання вимог чинного законодавства,

виконання запланованих заходів, а також забезпечення ефективного та раціонального використання земельних ресурсів. Контрольні функції у цій сфері покладені на спеціально уповноважені органи виконавчої влади як центрального, так і місцевого рівнів, які здійснюють нагляд за використанням і охороною земель відповідно до визначених повноважень.

Важливим механізмом регулювання діяльності у сфері землеустрою є ліцензування, яке забезпечує відповідність виконуваних робіт встановленим нормативним вимогам і стандартам. Додатковим інструментом контролю виступає державна експертиза землевпорядної документації, що дозволяє оцінити її якість, обґрунтованість та відповідність чинній нормативній базі. У цілому державний нагляд у галузі землеустрою здійснюється уповноваженими органами виконавчої влади згідно з визначеними процедурами та вимогами законодавства [9].

Відповідно до чинних нормативно-правових актів України, зокрема положень щодо ведення Державного земельного кадастру, встановлено чіткі вимоги до точності визначення координат поворотних точок меж земельних ділянок. Дані вимоги визначають допустимі значення середньоквадратичної похибки залежно від типу території, умов виконання геодезичних робіт та характеру місцевості. Дотримання встановлених нормативів є необхідною умовою забезпечення достовірності кадастрової інформації, її юридичної значущості та запобігання виникненню просторових помилок. Узагальнені нормативні значення точності наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Нормативи точності визначення координат поворотних точок меж земельної ділянки [26].

Тип території	Допустима середньоквадратична похибка, м
Міста	0,1
Селища	0,2
Села	0,3
За межами населених пунктів	0,5

Контроль якості є обов'язковим елементом технологічного процесу

виконання геодезичних і землепорядних робіт. Його забезпечення здійснюється шляхом застосування різних форм контролю. Зокрема, важливе місце займає самоконтроль, який передбачає перевірку результатів безпосередньо виконавцем робіт. Поряд із цим здійснюється внутрішній контроль з боку керівництва організації, коли відповідальні особи контролюють загальний хід і якість виконання робіт. Не менш значущим є зовнішній контроль, який проводиться уповноваженими посадовими особами, зокрема представниками державних та регуляторних органів. Окремо здійснюється перевірка якості матеріалів і продукції, отриманих від сторонніх організацій.

Крім того, контроль якості виконується безпосередньо в процесі проведення польових і камеральних робіт відповідно до вимог чинних нормативних документів. Зокрема, відповідно до Інструкції «Про затвердження Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» встановлено ряд технічних вимог, що регламентують виконання вимірювань [14, С. 24-28]. Зокрема, визначаються допустимі відстані до точок при використанні методу кутових засічок (табл. 2.5), а також інші параметри, які забезпечують необхідний рівень точності та достовірності результатів.

Таблиця 2.5.

Допустимі значення віддалей до точки при способі кутових засічок.

Масштаб знімання	Віддаль до контурів, м	
	Чіткий	Нечіткий
1:2000	400	1200
1:1000	200	600
1:500	100	300

Точність визначення положення точки за даним методом залежить від ряду чинників, серед яких важливу роль відіграють якість вихідних даних, похибки вимірювання кутів, точність центрування теодоліта та візирних цілей, а також правильність закріплення проєктної точки безпосередньо на місцевості. Кількісна оцінка точності визначення координат проєктної точки методом прямої кутової засічки виконується за формулою (2.1):

$$m_C = \sqrt{m_{AB}^2 + m_{\beta}^2 + m_{\mu}^2 + m_{\phi}^2} \quad (2.1)$$

При цьому, середня квадратична похибка розмічування точки визначається за формулою 2.2:

$$m_c = \sqrt{m_{AB}^2 + \frac{m_\beta^2 b^2}{p^2 \sin^4 \gamma} (\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2) + m_\phi^2} \quad (2.2)$$

де β_m – похибка побудови кутів β_1 і β_2 ; b – базис засічки; $\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$ [1, С. 200–215].

Під час оцінювання якості GNSS-спостережень враховується низка ключових чинників. Передусім аналізується конфігурація геодезичної мережі, яка має формуватися у вигляді замкнених полігонів або інших замкнених структур, що забезпечують її стійкість і надійність. Важливим аспектом є також перевірка коректності прив'язки мережі до пунктів державної геодезичної мережі та мережі згущення, при цьому вона повинна спиратися відповідно щонайменше на три та чотири вихідні пункти.

Значну увагу приділяють контролю точності та регулярності метеорологічних спостережень, оскільки стан атмосфери безпосередньо впливає на результати супутникових вимірювань. Не менш важливим є обґрунтований вибір місць розташування геодезичних пунктів і центрів, що забезпечує стабільність та достовірність отриманих даних. Крім цього, оцінюється доцільність вибору часу проведення спостережень, визначається оптимальний інтервал вимірювань, а також кількість і тривалість сеансів, що в сукупності впливають на точність і надійність кінцевих результатів [12, С. 45–48].

Важливу роль у GNSS-спостереженнях відіграє геометричний фактор, оскільки точність визначення координат залежить не лише від точності вимірювань, але й від просторового розташування супутників відносно приймача. У науковій практиці це пояснюється через геометричну модель, де супутники разом із приймачем утворюють умовну просторову фігуру, конфігурація якої впливає на точність позиціонування.

Для кількісної оцінки впливу геометрії супутникового сузір'я використовується показник DOP (Dilution of Precision). Узагальнюючим параметром є GDOP (Geometric Dilution of Precision), який враховує похибки як

просторового визначення координат, так і часу. Значення GDOP дозволяє оцінити якість умов спостережень: чим менше його значення, тим кращою є геометрія супутників. Значення до 8 вважаються допустимими, однак оптимальним є рівень до 6, тоді як перевищення цих значень свідчить про погіршення точності визначення координат. Окрім GDOP, використовуються також інші показники точності: PDOP (Position Dilution of Precision), який характеризує точність тривимірного позиціонування без урахування часу, HDOP (Horizontal Dilution of Precision) - для оцінки точності у горизонтальній площині, та VDOP (Vertical Dilution of Precision), що відображає точність визначення висотних координат. Суттєвий вплив на точність GNSS-вимірювань чинять іоносферні збурення, які змінюються залежно від часу доби та географічного положення. Як правило, у нічний період їх вплив зменшується, що сприяє підвищенню точності спостережень. З огляду на це, у нічний час можливе скорочення тривалості вимірювань або збільшення довжини базових ліній без суттєвого зниження точності результатів [23, С. 270–290].

На основі отриманої інформації формується відносна таблиця тривалості спостережень для статичного методу GNSS-знімання (табл. 2.6).

Таблиця 2.6.

Орієнтовна тривалість спостережень в статичному режимі.

Кількість супутників	Наближена довжина базисних ліній	Час спостережень	
		вдень	вночі
4 і більше	15-20 км	1-2 години	1 година
4 і більше	більше 30 км	2-3 години	2 години

Підвищення точності отриманих результатів може бути досягнуто шляхом усереднення даних, отриманих у процесі багаторазових вимірювань. Наведено залежність точності визначення координат у режимі RTK від кількості виконаних спостережень (рис. 2.2 – 2.3). Аналіз цих графічних матеріалів показує, що після досягнення певного рівня точності подальше збільшення кількості вимірювань не призводить до істотного покращення результатів і практично не впливає на їх точність [20, С. 5–10].



Рис. 2.2. Точність визначення координати X.



Рис. 2.3. Точність визначення координати Y.

Окрім GNSS і тахеометричних способів, у сучасній геодезичній практиці важливе місце займають дистанційні методи знімання, зокрема із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Вони дають змогу отримувати значні обсяги геопросторових даних за короткий проміжок часу, проте характеризуються наявністю специфічних джерел похибок, які необхідно враховувати під час виконання кадастрових робіт.

Фотограмметричне знімання з використанням БПЛА є сучасним і ефективним методом одержання геоінформаційних даних. Точність кінцевих результатів у цьому випадку визначається як параметрами самого знімання, так і якістю геодезичної прив'язки.

Зокрема, на точність фотограмметричного знімання впливають такі основні фактори:

- висота польоту та роздільна здатність отриманих зображень;
- технічні характеристики камери та якість її калібрування;
- величина поздовжнього та поперечного перекриття знімків;
- кількість, розташування та точність визначення наземних опорних точок

(GCP);

– стабільність польоту безпілотного апарата та метеорологічні умови під час знімання.

Водночас серед основних джерел похибок виділяють:

- геометричні деформації зображень;
- неточності внутрішнього та зовнішнього орієнтування;
- похибки у визначенні координат опорних точок;
- нестабільність польоту БПЛА;
- помилки, що виникають на етапі фотограмметричної обробки даних.

Точність ортофотопланів на місцевості залежно від масштабу топографічної зйомки, що визначає середню квадратичну похибку визначення координат на ортофотоплані, вказана в табл. 2.7:

Таблиця 2.7.

**Точність ортофотопланів на місцевості залежно від масштабу
топографічної зйомки [26].**

Масштаб знімання	Тип ортофотоплану	Середньоквадратична похибка, м
1:5000	класичний / реальний	0,8
1:5000	оперативний	1,6
1:2000	класичний / реальний	0,4
1:2000	оперативний	0,8
1:1000	класичний / реальний	0,3
1:1000	оперативний	0,6
1:500	класичний / реальний	0,15

Згідно з сучасною практикою виконання кадастрових робіт, застосування GNSS-технологій у режимі RTK забезпечує визначення координат із точністю на рівні кількох сантиметрів (приблизно 2-5 см), що повністю відповідає встановленим вимогам до визначення меж земельних ділянок. Саме тому результати фотограмметричного знімання, отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів, як правило, не використовуються як самостійна основа для визначення координат меж, а застосовуються у поєднанні з високоточними геодезичними методами, зокрема GNSS або тахеометрією. Такий комбінований підхід дозволяє поєднати високу продуктивність дистанційних технологій із

точністю наземних вимірювань.

Узагальнюючи, слід зазначити, що забезпечення високої точності геодезичних вимірювань є ключовою умовою ефективного функціонування Державного земельного кадастру. Навіть незначні похибки у визначенні координат можуть призводити до накладання меж земельних ділянок, неточностей у розрахунку їх площі та виникнення правових спорів. У зв'язку з цим контроль якості геодезичних даних в Україні регламентується відповідними нормативно-правовими актами та здійснюється на всіх етапах виконання робіт - від польових вимірювань до камеральної обробки результатів.

Застосування сучасних методів контролю, зокрема оцінювання середньоквадратичної похибки, аналізу показників DOP, а також порівняння результатів, отриманих різними методами знімання, дозволяє підвищити надійність і достовірність геопросторової інформації. Це, у свою чергу, забезпечує коректність даних, що вносяться до Державного земельного кадастру, та підвищує ефективність управління земельними ресурсами.

Висновки до розділу 2

1. Кадастрова зйомка є базовою технологічною процедурою формування Державного земельного кадастру, оскільки забезпечує перехід від фактичного стану земельної ділянки на місцевості до її цифрового представлення в інформаційній системі. Встановлено, що сучасна кадастрова зйомка включає не лише польові вимірювання, а й формування структурованих електронних даних фкадастру. Таким чином, вона поєднує геодезичні, правові та інформаційні аспекти, забезпечуючи точність і юридичну значущість кадастрових даних.

2. Сучасні методи топографо-геодезичних робіт класифікуються за способом отримання даних на наземні, дистанційні та комбіновані, що дозволяє обирати оптимальну технологію залежно від умов виконання робіт. Встановлено, що кожна група методів має свої переваги та обмеження щодо точності, продуктивності та умов застосування. Найбільш ефективним підходом

для кадастрових задач є комбінування методів, що дозволяє поєднати високу точність наземних вимірювань із оперативністю сучасних дистанційних технологій.

3. Наземні методи, зокрема GNSS та тахеометричне знімання, є основними інструментами визначення координат поворотних точок земельних ділянок. GNSS-технології забезпечують високу продуктивність і швидкість виконання робіт, особливо на відкритих територіях, тоді як тахеометричне знімання є більш ефективним у складних умовах забудови або при обмеженому супутниковому сигналі. Встановлено, що вибір між цими методами залежить від конкретних умов місцевості, а їх комбіноване використання дозволяє досягти оптимального результату за точністю та ефективністю.

4. Дистанційні методи, зокрема БПЛА, забезпечують швидке отримання великого обсягу геопросторових даних. Встановлено, що метод є особливо ефективними для великих територій і складних умов рельєфу, однак їх застосування може бути обмежене зовнішніми факторами, зокрема нормативними обмеженнями або погодними умовами. Незважаючи на це, дистанційні технології відіграють важливу роль у сучасних кадастрових роботах, доповнюючи традиційні методи знімання.

5. Забезпечення точності та контроль якості є ключовими умовами достовірності кадастрових даних. Встановлено, що точність результатів залежить від обраного методу знімання, технічних характеристик обладнання, умов виконання робіт та правильної організації контролю. Використання статистичних методів оцінювання похибок, перевірки координат і контролю відповідності нормативним вимогам дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності геопросторової інформації. Таким чином, система контролю якості є невід'ємною складовою сучасних кадастрових робіт.

РОЗДІЛ 3.

ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТОПОГРАФІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ ДЕРЖАВНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

3.1. Порівняльний аналіз точності GNSS-технологій визначення просторових (координатних) даних для ДЗК (RTK, PPK, статичний методи)

У межах виконання практичної частини кваліфікаційної роботи було проведено експериментальне дослідження точності визначення координат із застосуванням сучасних GNSS-технологій. Необхідність такого аналізу зумовлена широким використанням супутникових методів у кадастрових роботах, де точність визначення координат поворотних точок меж земельних ділянок безпосередньо впливає на достовірність даних Державного земельного кадастру та правову визначеність меж землекористування [6; 19].

Для проведення дослідження було обрано тестову ділянку на території села Галиця Ніжинського району, яка характеризується типовими умовами для виконання кадастрових робіт. У межах ділянки визначено три характерні точки, координати яких встановлювалися з використанням трьох різних методів GNSS-вимірювань: статичного, RTK та PPK. Вимірювання виконувалися за максимально однакових умов (час спостережень, конфігурація супутників, положення приймача), що дозволило забезпечити коректність порівняння результатів.

У якості базових (еталонних) значень прийнято координати, отримані статичним методом, табл. 3.1. Це пояснюється тим, що статичні GNSS-спостереження передбачають тривалу реєстрацію супутникових сигналів з подальшою високоточною камеральною обробкою, що дозволяє мінімізувати вплив випадкових похибок і забезпечити максимальну точність результатів. У сучасній геодезичній практиці саме цей метод використовується для створення геодезичних мереж і опорних пунктів, тому його доцільно використовувати як

контрольний при оцінюванні інших методів.

Таблиця 3.1.

**Результати визначення координат GNSS-методами (с. Галиця
Ніжинського району).**

Точка	X (м)	Y (м)	Метод	ΔX (м)	ΔY (м)	m (см)
P1	5615398.454	4266686.436	Статичний	0.000	0.000	0
P1	5615398.473	4266686.454	RTK	0.019	0.018	2.6
P1	5615398.469	4266686.450	PPK	0.015	0.014	2.1
P2	5615519.309	4266675.646	Статичний	0.000	0.000	0
P2	5615519.331	4266675.667	RTK	0.022	0.021	3.0
P2	5615519.325	4266675.662	PPK	0.016	0.016	2.3
P3	5615538.398	4266776.637	Статичний	0.000	0.000	0
P3	5615538.411	4266776.656	RTK	0.021	0.019	2.8
P3	5615538.414	4266776.621	PPK	0.016	0.014	2.2

Джерело: авторська розробка

Визначення координат методом RTK виконувалося у режимі реального часу із використанням диференціальних поправок, що передавалися від базової станції до рухомого приймача. Даний метод дозволяє отримувати координати безпосередньо в польових умовах, що суттєво підвищує оперативність виконання робіт [20, С. 40–55].

Метод PPK передбачає реєстрацію сирих GNSS-даних у польових умовах із подальшою їх обробкою в камеральному режимі. На відміну від RTK, даний метод не потребує постійного зв'язку з базовою станцією, що підвищує його надійність у складних умовах [23, С. 240–260].

Сумарна похибка визначення планового положення точки обчислювалась за формулою Евклідової норми (3.1):

$$m = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}, \quad (3.1)$$

де: ΔX і ΔY - відхилення координат за відповідними осями.

На основі отриманих результатів, встановлено, що для всіх досліджуваних точок спостерігаються незначні відхилення координат при застосуванні кінематичних методів. Для методу RTK величини відхилень по координатних осях ΔX та ΔY знаходяться в межах 0.018–0.022 м, що відповідає сумарній похибці 2.6–3.0 см. У свою чергу, метод PPK демонструє менші відхилення — у

межах 0,014–0,016 м, а сумарна похибка становить 2.1–2.3 см.

Аналіз результатів по кожній точці підтверджує загальну тенденцію: для точки Р1 похибка RTK становить 2.6 см, тоді як для РРК – 2.1 см; для точки Р2 відповідні значення складають 3.0 см і 2.3 см; для точки Р3 – 2.8 см і 2.2 см. Таким чином, у всіх випадках метод РРК забезпечує більш точне визначення координат порівняно з RTK. При цьому варто зазначити, що відмінності між методами не є критичними, оскільки обидва забезпечують точність, що відповідає вимогам кадастрових робіт.

Отримані результати також свідчать про достатню стабільність вимірювань, оскільки розкид значень похибок між точками є незначним. Це вказує на правильність виконання як польових, так і камеральних робіт, а також на відсутність грубих помилок у вимірюваннях.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що статичний метод забезпечує найвищу точність визначення координат і може використовуватися як еталонний, проте його застосування є менш доцільним у масових кадастрових роботах через значну тривалість виконання. Метод RTK забезпечує високу оперативність отримання координат із точністю на рівні 2.6–3.0 см, що є достатнім для практичних завдань кадастру, однак характеризується дещо більшою варіативністю результатів. Метод РРК, у свою чергу, забезпечує подібний рівень точності, але відзначається більшою стабільністю, що робить його доцільним для використання в умовах ускладненого прийому супутникового сигналу. У цілому, результати дослідження підтверджують доцільність застосування RTK і РРК у кадастрових роботах за умови врахування конкретних умов виконання вимірювань, тоді як статичний метод доцільно використовувати для створення геодезичної основи.

3.2. Оцінка ефективності та доцільності тахеометричного знімання визначення просторових (координатних) даних для ДЗК

У сучасних умовах розвитку Державного земельного кадастру визначення координат поворотних точок меж земельних ділянок здійснюється із застосуванням різних геодезичних методів, серед яких важливе місце займають як GNSS-технології, так і тахеометричне знімання. Незважаючи на широке впровадження супутникових методів, тахеометрія залишається актуальним інструментом отримання координатної інформації, що зумовлює необхідність оцінки її ефективності та доцільності використання у сучасних умовах [1, С. 100–120].

Особливістю тахеометричного методу є його незалежність від супутникового сигналу, що забезпечує можливість виконання вимірювань у складних умовах місцевості. У щільній міській забудові, при наявності інженерних споруд, зелених насаджень або частково закритого горизонту GNSS-вимірювання можуть супроводжуватися зниженням точності через ефект багатопроменевості та екранування сигналу. У таких випадках тахеометричне знімання дозволяє отримувати стабільні та надійні результати за умови забезпечення прямої видимості між приладом і точкою спостереження.

Актуальність застосування тахеометричних методів також посилюється в умовах воєнного стану в Україні. Обмеження щодо виконання польових робіт, необхідність дотримання заходів безпеки та періодичні перерви у вимірюваннях (зокрема під час повітряних тривог) ускладнюють використання GNSS-технологій, які потребують постійного перебування оператора на відкритій місцевості та стабільного зв'язку з базовими станціями. У таких умовах тахеометрія є більш адаптивною, оскільки дозволяє організувати роботи локально та оперативно реагувати на зміну ситуації

Водночас тахеометричні методи мають і певні обмеження, пов'язані з необхідністю прямої видимості, меншою продуктивністю порівняно з GNSS-технологіями та більшою трудомісткістю виконання вимірювань. Це обумовлює

доцільність їх застосування не як альтернативи, а як доповнення до супутникових методів у складі комплексних топографо-геодезичних робіт.

З огляду на зазначене, виникає необхідність проведення порівняльної оцінки точності тахеометричного знімання та GNSS-методів у реальних умовах виконання кадастрових робіт. Такий аналіз дозволяє визначити рівень точності кожного методу, встановити фактори, що впливають на результати вимірювань, а також обґрунтувати вибір оптимальної технології залежно від умов місцевості та вимог до геопросторових даних.

Саме з цією метою у подальшому дослідженні виконано визначення координат пунктів із використанням електронного тахеометра та GNSS-приймача з подальшим їх порівнянням із координатами пунктів Державної геодезичної мережі, які приймаються як вихідні. Отримані результати дозволяють оцінити точність методів та встановити доцільність їх застосування при веденні Державного земельного кадастру.

Для оцінки точності виконаних геодезичних вимірювань координати пунктів, отримані за допомогою GNSS-приймача Trimble R8-2 та електронного тахеометра Trimble M3 Total Station, приймалися як вихідні (Таблиця 3.2), оскільки вони є координатною основою для виконання геодезичних і кадастрових робіт.

Таблиця 3.2.

Координата пункту ДГМ (приймалась як вихідна).

Індекс з БД України	Повна назва пункту	X, м	Y, м	Висота над рівнем моря, м	Клас нівелювання
M360823500	Шняківка	5611759.535	4259577.507	163.541m	IV

Після орієнтування приладу було визначено координати 3 точок (тричі) полярним способом зйомки, табл. 3.3. Далі координати цих же точок (тричі) були отримані за допомогою GNSS-приймача Trimble R8-2, табл. 3.4.

Таблиця 3.3.

Тахометричні вимірювання точок дослідження.

Точки виміру	1 спорстереження			2 спорстереження			3 спорстереження		
	X1, м	Y2, м	H3, м	X2, м	Y2, м	H3, м	X3, м	Y3, м	H3, м
P1	5611760,960	4259593,653	163,571	5611760,964	4259593,644	163,562	5611760,959	4259593,633	163,550
P2	5611730,176	4259595,129	163,254	561170,185	4259595,127	163,265	5611730,181	4259595,134	163,257
P3	5611752,584	4259566,672	163,457	5611752,594	4259566,675	163,453	5611752,603	4259566,673	163,448

Джерело: авторська розробка

Таблиця 3.4

GNSS-вимірювання точок дослідження (RTK).

Точки виміру	1 спорстереження			2 спорстереження			3 спорстереження		
	X1, м	Y2, м	H3, м	X2, м	Y2, м	H3, м	X3, м	Y3, м	H3, м
P1	5611760,966	4259593,642	163,579	5611760,910	4259593,623	163,536	5611760,925	4259593,640	163,550
P2	5611730,165	4259595,136	163,226	5611730,117	4259595,120	163,231	5611730,115	4259595,121	163,220
P3	5611752,592	4259566,675	163,464	5611752,560	4259566,682	163,424	5611752,597	4259566,675	163,443

Джерело: авторська розробка

Отримані дані по вимірних точках були усереднені, порівняні, та відображені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5.

Порівняння середніх значень результатів зйомки.

Точки виміру	Тахометричні вимірювання			GNSS-вимірювання (RTK)			Різниця вимірювань		
	X, м	Y, м	H, м	X, м	Y, м	H, м	X, м	Y, м	H, м
P1	5611760,961	4259593,643	163,561	5611760,934	4259593,633	163,555	+0,027	+0,010	+0,006
P2	5611730,181	4259595,130	163,259	5611730,132	4259595,126	163,226	+0,049	+0,004	+0,033
P3	5611752,594	4259566,673	163,453	5611752,583	4259566,711	163,444	+0,011	-0,038	+0,009

Джерело: авторська розробка

Середньоквадратична похибка (СКП) є одним із ключових показників, що застосовуються для оцінювання точності геодезичних вимірювань. Вона дозволяє кількісно охарактеризувати ступінь розсіювання отриманих результатів відносно їх середнього значення та відображає вплив випадкових похибок на кінцеві результати спостережень. На відміну від простого аналізу різниць координат, використання СКП дає змогу оцінити не лише відхилення, але й

стабільність та надійність застосованого методу вимірювань [2, С. 126–134].

У межах даного дослідження визначення середньоквадратичної похибки є важливим етапом обробки результатів, оскільки дозволяє більш об'єктивно порівняти точність координат, отриманих різними методами - зокрема GNSS та тахеометричними. Крім того, СКП дає можливість оцінити внутрішню узгодженість результатів вимірювань, що є важливим показником якості виконаних геодезичних робіт.

Особливої актуальності використання цього показника набуває у кадастрових роботах, де важливою є не лише абсолютна точність визначення координат, але й повторюваність результатів при виконанні вимірювань у різний час або різними методами. Саме тому аналіз СКП дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо придатності того чи іншого методу для визначення меж земельних ділянок [6].

Застосування середньоквадратичного відхилення дає змогу порівняти ефективність різних методів знімання, оцінити їх відповідність нормативним вимогам та встановити рівень достовірності отриманих результатів. В умовах впливу зовнішніх факторів, таких як багатопроменевість супутникового сигналу, геометрія супутникового сузір'я або похибки орієнтування приладів, саме СКП виступає об'єктивним критерієм оцінки якості вимірювань та дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо точності виконаних робіт [2, С. 30–45].

Обчислення середньоквадратичної похибки у даному дослідженні здійснюється відповідно до формул 3.2–3.3, що дозволяє кількісно оцінити точність визначення координат та виконати подальший порівняльний аналіз застосованих методів.

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \Delta X)^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

$$m_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \Delta Y)^2}{n-1}}, \quad (3.3)$$

де: X_i - окреме виміряне значення координат; ΔX - середнє значення координати;
 n - кількість вимірювань

Узагальненим критерієм оцінки точності геодезичних вимірювань

виступає планова середньоквадратична похибка, яка інтегрує вплив похибок за обома координатними осями та відображає сумарну точність визначення положення точки у площині. Даний показник дозволяє об'єктивно оцінити просторову похибку та використовується для зіставлення отриманих результатів із нормативними вимогами, встановленими для кадастрових робіт. Обчислення планової середньоквадратичної похибки здійснюється за формулою (3.4).

$$m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (3.4)$$

де: m_x - похибка X координати; m_y - похибка Y координати.

Отриманні дані обраховані та відображені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6.

Результати розрахунку СКП.

Точка	Метод	mX, м	mY, м	Планова СКП, м
P1	Тахеометр	0,003	0,010	0,010
P2	Тахеометр	0,005	0,004	0,006
P3	Тахеометр	0,010	0,002	0,010
P1	GNSS RTK	0,029	0,010	0,031
P2	GNSS RTK	0,028	0,009	0,030
P3	GNSS RTK	0,020	0,004	0,020

Джерело: авторська розробка

За результатами виконаних розрахунків середньоквадратичних похибок встановлено, що обидва досліджувані методи забезпечують точність, яка відповідає встановленим нормативним вимогам для кадастрових робіт. Зокрема, планова СКП для GNSS RTK знаходиться в межах 0,020-0,031 м, що є суттєво меншим за допустиме значення 0,1 м для територій населених пунктів.

Разом із тим, тахеометричний метод демонструє вищу стабільність результатів, що підтверджується меншими значеннями середньоквадратичної похибки у межах 0,006-0,010 м. Така точність пояснюється меншою залежністю методу від впливу зовнішніх чинників.

Аналіз відхилень за координатними осями свідчить, що для GNSS-вимірювань характерний більший розкид значень, особливо по осі X, що обумовлено впливом умов проведення спостережень. Водночас тахеометричні вимірювання характеризуються більш рівномірним розподілом похибок, що

підтверджує їхню надійність.

Отже, GNSS RTK є доцільним для застосування у кадастрових роботах завдяки поєднанню достатньої точності та високої продуктивності. У свою чергу, тахеометричний метод доцільно використовувати у випадках, коли необхідна підвищена точність вимірювань або за умов, що ускладнюють прийом супутникового сигналу.

Крім того, результати дослідження підтверджують, що статичний GNSS-метод забезпечує найвищий рівень точності, проте його використання обмежується значною тривалістю виконання спостережень. Метод RTK демонструє стабільну точність на рівні 2–3 см, що повністю відповідає вимогам кадастрових робіт, тоді як метод РРК забезпечує аналогічну точність, але відзначається більшою стійкістю результатів у складних умовах.

У міських умовах, зокрема на території міста, точність GNSS-вимірювань може знижуватися через вплив багатопротинності сигналу, наявність будівель та інших перешкод. У таких випадках найбільш ефективним є комбінування GNSS-технологій із тахеометричними методами, що дозволяє підвищити точність визначення координат і забезпечити надійність отриманих результатів.

3.3. Оцінка точності та доцільності використання БПЛА визначення просторових (координатних) даних для ДЗК

Аналіз особливостей застосування безпілотних літальних апаратів у кадастрових роботах свідчить про необхідність детального дослідження точності отриманих геопросторових даних. Сучасні фотограмметричні методи дозволяють оперативно отримувати великі обсяги інформації, однак рівень їх точності залежить від комплексу технологічних та організаційних чинників, що потребує додаткового обґрунтування у практичних умовах.

Насамперед слід зазначити, що при виконанні кадастрового знімання із застосуванням БПЛА важливим є комплексний підхід до оцінювання точності результатів фотограмметричної обробки. Особливу роль відіграє

фототріангуляція, яка включає процеси орієнтування знімків, формування зв'язувальних точок та побудову ортофотоплану. Саме узгодженість і якість виконання цих етапів визначають достовірність координат, що отримуються в результаті обробки.

Водночас слід враховувати, що досягнення необхідної точності не залежить виключно від кількості наземних опорних точок. Визначальне значення мають точність їх координат та оптимальність розміщення в межах досліджуваної території. Крім того, у кадастрових роботах доцільно передбачати можливість додаткового уточнення координат характерних точок меж земельних ділянок традиційними геодезичними методами, оскільки повна залежність від результатів фотограмметричного знімання може призводити до виникнення похибок.

Оцінювання точності результатів БПЛА-знімання, як правило, здійснюється із використанням наземних контрольних точок. При цьому важливим є забезпечення їх чіткої ідентифікації на серії знімків, що залежить від якості їх маркування та можливостей алгоритмів автоматизованого розпізнавання. Наявність правильно визначених контрольних точок дозволяє об'єктивно оцінити точність побудованих моделей та визначити рівень відповідності отриманих даних встановленим вимогам.

Крім того, значний вплив на якість кінцевих результатів має програмне забезпечення, що використовується для фотограмметричної обробки. Сучасні програмні комплекси повинні забезпечувати не лише побудову ортофотопланів і тривимірних моделей, але й надавати інформацію щодо точності, включаючи оцінки похибок та показники якості обробки.

Таким чином, з огляду на залежність точності результатів БПЛА-знімання від великої кількості факторів, виникає необхідність проведення практичного дослідження з метою оцінювання точності отриманих координат у конкретних умовах виконання робіт. Це дозволить визначити рівень достовірності фотограмметричних даних та обґрунтувати доцільність їх використання у кадастрових роботах.

На сучасному етапі існує значна кількість програмних продуктів, що використовуються для обробки даних БПЛА, серед яких найбільш поширеними є Agisoft Metashape. Вибір програмного забезпечення безпосередньо впливає на якість кінцевих результатів та точність геопросторових даних.

Говорячи про саме дослідження, зйомка була проведена на полях аграрної фірми «МАГНАТ» (Чернігівська область, Ніжинський район) за допомогою БПЛА виконувалася з використанням безпілотного літального апарата DJI Mavic 3 Enterprise. Тестову територію було відзнято за 3-хвилинний, політ був на висоті 60 м, під час якого було зібрано 74 RGB-зображення, поздовжнє перекриття - 70%, поперечне перекриття - 60%. Перед польовими вимірюваннями були виконані всі відповідні юридичні вимоги щодо отримання необхідних дозволів на політ та погоджень від уповноважених установ.

На основі отриманих 74 RGB-зображень було створено цифрову ортофотокарту тестової ділянки. Зв'язувальні точки на всіх зображеннях були автоматично визначені за допомогою алгоритму Structure from Motion. Метод фототріангуляції з самокалібруванням, що базується на визначених зв'язувальних точках та координатах наземних контрольних точок, дозволив отримати фінальну ортофотокарту тестової ділянки із GSD (просторова роздільна здатність) 0,04 м/пікс. Увесь процес орієнтування зображень і створення карти було виконано за допомогою програмного забезпечення Agisoft Metashape, отримані дані координат зазначені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7.

Координати контрольних точок.

№ точки	GNSS-вимірювання (RTK)		Фотограмметричні координати	
	X, м	Y, м	X, м	Y, м
P1	5614405.852	4265483.574	5614406.064	4265483.338
P2	5614307.433	4265383.612	5614307.151	4265383.763
P3	5614321.504	4265379.554	5614321.803	4265379.475
P4	5614321.025	4265382.606	5614320.844	4265382.353
P5	5614403.603	4265485.567	5614403.842	4265485.788
P6	5614316.121	4265380.002	5614315.817	4265380.056
P7	5614313.129	4265380.676	5614313.242	4265380.367

Джерело: авторська розробка

На основі визначеної методики та отриманих координат точок було

проведено оцінювання точності. Координати поворотних точок меж земельної ділянки, визначені за допомогою методу GNSS RTK, прийнято як еталонні значення, тоді як координати, отримані з ортофотоплану, сформованого за результатами знімання БПЛА, використано як тестові, табл. 3.8.

Таблиця 3.8.

**Відхилення значень одержаних за допомогою БПЛА, відносно RTK
режиму**

№ точки	ΔX , м	ΔY , м	Планове відхилення окремої точки, м
P1	+0.212	-0.236	0,317
P2	-0.282	+0.151	0,320
P3	+0.299	-0.079	0,309
P4	-0.181	-0.253	0,311
P5	+0.239	+0.221	0,326
P6	-0.304	+0.054	0,309
P7	+0.113	-0.309	0,329

Джерело: авторська розробка

Середня квадратична похибка положення контрольних точок по координатах X та Y обчислюється за формулами 3.5-3.7:

$$M_x = \sqrt{\frac{\sum(\Delta X^2)}{n}} \quad (3.5)$$

$$M_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta Y^2}{n}} \quad (3.6)$$

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}, \quad (3.7)$$

де: M_x - похибка X координати; M_y - похибка Y координати; n - кількість вимірювань

Тоді:

$$M_x = \sqrt{\frac{0.4089}{7}} = 0.242 \text{ м}$$

$$M_y = \sqrt{\frac{0.296}{7}} = 0.206 \text{ м}$$

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 0.318 \text{ м}$$

У результаті виконаного оцінювання точності встановлено, що координати поворотних точок, отримані за матеріалами БПЛА-знімання, в цілому узгоджуються з еталонними значеннями, визначеними методом GNSS RTK. Разом із тим, виявлені відхилення знаходяться в межах 0.30–0.32 м, що свідчить про наявність як систематичних, так і випадкових похибок, зумовлених особливостями фотограмметричної обробки, параметрами знімання та точністю.

Порівняльний аналіз показує, що результати, отримані з ортофотоплану, характеризуються нижчою точністю визначення координат поворотних точок меж земельної ділянки порівняно з GNSS RTK, для якого похибки знаходяться на рівні 2–3 см (0.02–0.03 м). Така різниця пояснюється обмеженнями методу дистанційного знімання, зокрема впливом геометричних спотворень зображень, похибок орієнтування та точності визначення координат наземних контрольних точок.

Отримані результати підтверджують, що фотограмметричні матеріали БПЛА є ефективними для створення ортофотопланів, аналізу території та попереднього визначення меж, однак їх точність є недостатньою для безпосереднього визначення координат поворотних точок земельних ділянок відповідно до кадастрових вимог.

Таким чином, для забезпечення нормативної точності кадастрових робіт доцільним є застосування комбінованого підходу, при якому БПЛА використовується для отримання суцільної геопросторової інформації, а GNSS RTK – для високоточного визначення координат меж.

3.4. Доцільність використання комбінованого методу одержання просторових (координатних даних) даних для ДЗК

У межах реалізації реального проєкту відведення земельної ділянки було виконано комплекс геодезичних робіт, спрямованих на визначення координат поворотних точок її меж, встановлення просторового положення та формування достовірної кадастрової інформації. Практичне виконання робіт дозволило

оцінити ефективність застосованих методів вимірювань у реальних умовах місцевості та виявити їхні сильні сторони і обмеження. У ході дослідження встановлено, що використання окремих методів одержання координатних даних не завжди забезпечує необхідну повноту та універсальність результатів, що обумовлює доцільність їх комбінованого застосування [6; 7].

Як приклад практичної реалізації такого підходу розглянуто проєкт землеустрою, виконаний на підставі рішення Лосинівської селищної ради, відповідно до якого сільськогосподарському приватному орендному підприємству «КСЕНА» було надано дозвіл на розроблення відповідної документації. У процесі виконання геодезичних вимірювань у якості базової референц-станції використовувалась станція NIZH, розташована в межах міста Ніжина, що забезпечило отримання коригувальних поправок та підвищення точності визначення координат (рис. 3.1).

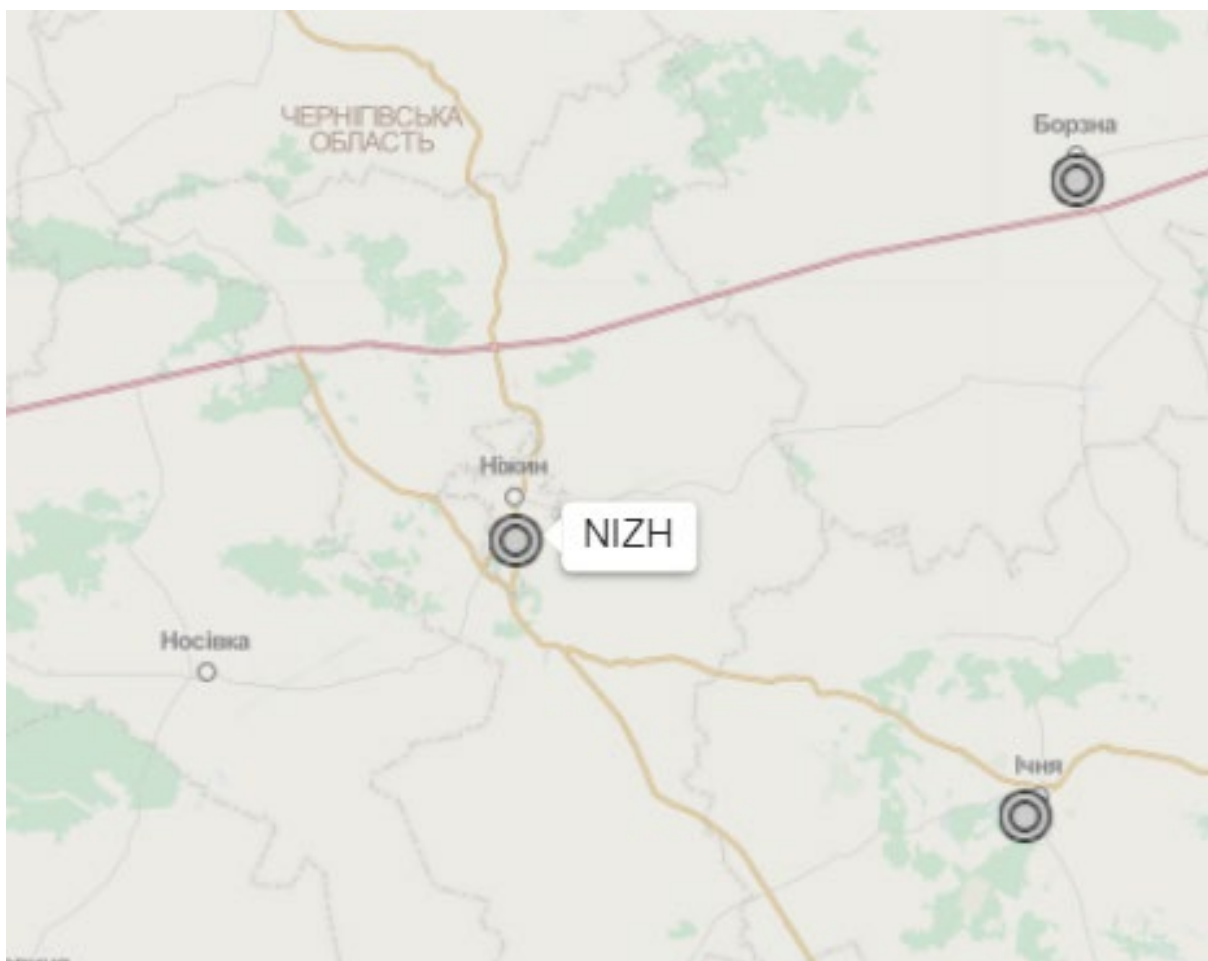


Рис. 3.1. Мережа перманентних станцій «NIZH»

У процесі виконання робіт було розроблено схему обмірів із прив'язкою до місцевості (Додаток А). Вимірювання здійснювалися за допомогою GNSS-приймача Trimble R8-2. Як координатну основу використано пункти тріангуляції державної геодезичної мережі, при цьому обчислення виконувались у системі координат УСК-2000 та Балтійській системі висот 1977 року (табл. 3.9).

Таблиця 3.9.

Координати основи для виконання геодезичних робіт.

Код станції	X	Y	H
SHYAKIVKA	4611759,535	425977,507	136,541м
VERGYNOVE	5618145,460	4264483,624	132,309м
STAN	5613600,786	4256128,196	129,625м

Підключення до мережевого сервісу здійснювалося через мобільний інтернет-зв'язок стандарту GSM/GPRS із використанням послуг оператора ПрАТ «Lifecell». Спостереження виконувалися в режимі RTK, а формування коригувальних поправок забезпечувалося за допомогою програмного забезпечення SENTEMUL2007 та Trimble Business Center. При цьому максимальна довжина базової лінії (від ровера до базової станції) не перевищувала 10 км. Для переходу до плоскої системи координат було застосовано картографічну проекцію Transverse Mercator, параметри якої наведено в табл. 3.10.

Таблиця 3.10.

Параметри використаної проекція Transverse Mercator

Умовний X	650000,00000000000000	м
Умовний Y	0,000000000000000000	м
Осьовий меридіан	0,575958653000000000	0 ' "
Початок по широті	0,000000000000000000	0
Ширина зони	6,000000000000000000	0
Масштаб	1,000000000000000000	ppm

За результатами виконаних польових спостережень було визначено координати точок зйомочної мережі у системі УСК-2000 та їхні висотні відмітки (табл. 3.11). Обчислення координат здійснювалися із використанням ліцензійного програмного забезпечення GIS6. Надалі для отримання повної інформації про ситуацію місцевості було виконано тахеометричну зйомку

ділянок, недоступних для визначення за допомогою GNSS-методів. Визначення площі земельної ділянки є однією з ключових геодезичних процедур, що має вирішальне значення для забезпечення коректного функціонування Державного земельного кадастру (Рис. А.2.).

Таблиця 3.11.

Координати точок зйомки RTK методом

Назва	X, м	Y, м	H, м
GPS0001	5615398.454	4266686.436	118.4578
GPS0002	5615398.454	4266657.716	117.7672
GPS0003	5615513.525	4266683.065	118.6485
GPS0004	5615519.309	4266675.646	117.3774
GPS0005	5615546.335	4266651.567	118.6844
GPS0006	5615561.294	4266648.136	117.8241
GPS0007	5615566.069	4266675.886	118.3689
GPS0008	5615538.398	4266776.637	118.4334
GPS0009	5615450.653	4266746.236	117.8577
GPS0010	5615383.265	4266755.806	117.3654
GPS0011	5615376.035	4266730.435	118.4755
GPS0012	5615407.570	4266721.192	117.8764

За результатами виконаних польових вимірювань та їх подальшої камеральної обробки встановлено, що точність визначення координат повністю відповідає нормативним вимогам, які висуваються до топографо-геодезичних робіт у системі ведення Державного земельного кадастру. Отримані координатні та висотні показники забезпечують належний рівень достовірності для визначення меж земельної ділянки, обчислення її площі та встановлення просторового положення.

На основі отриманих результатів було сформовано комплект кадастрової документації, зокрема розроблено кадастровий план земельної ділянки (Рис. А.1), який відображає її конфігурацію, межі та взаємне розташування відносно суміжних земельних ділянок. Підготовлені матеріали стали підставою для внесення відповідних відомостей до Державного земельного кадастру згідно з чинними нормативно-правовими вимогами [23, С. 260–280].

Проведений аналіз результатів робіт підтверджує доцільність застосування комбінованого методу одержання просторових (координатних) даних. Зокрема, використання GNSS-зйомки у режимі RTK забезпечило високу оперативність

виконання вимірювань та достатній рівень точності при визначенні координат поворотних точок меж. Водночас застосування тахеометричної зйомки дозволило деталізувати ситуацію місцевості та виконати вимірювання на ділянках, де використання GNSS-технологій є ускладненим або недостатньо ефективним.

Слід зазначити, що за точнісними характеристиками результати, отримані різними методами, є узгодженими між собою та відповідають встановленим нормативним вимогам. Проте використання виключно тахеометричного методу супроводжувалося б значними витратами часу, особливо при необхідності визначення координат великої кількості точок. Натомість застосування GNSS-зйомки у режимі RTK дозволило суттєво скоротити тривалість польових робіт без втрати точності.

Таким чином, поєднання GNSS та тахеометричного методів забезпечує раціональний баланс між точністю, повнотою та оперативністю виконання геодезичних робіт. Це, у свою чергу, підтверджує доцільність використання комбінованого підходу при виконанні робіт із відведення земельних ділянок та формуванні геопросторових даних Державного земельного кадастру.

3.5. Рекомендації щодо вибору окремих методів визначення просторових (координатних) даних для Державного земельного кадастру

Вибір методу геодезичного знімання для кадастрових робіт на практиці не є однозначним. Він залежить від багатьох факторів: потрібної точності, умов виконання вимірювань, стабільності результатів і витрат часу та ресурсів. Як показує проведений аналіз, у сучасних умовах розвитку електронного земельного кадастру не існує одного універсального рішення. Саме тому найкращий результат зазвичай дає поєднання кількох методів залежно від конкретної ситуації.

Серед сучасних технологій GNSS, зокрема метод RTK, фактично став основним інструментом у кадастрових роботах. Це пояснюється тим, що він

дозволяє швидко отримувати координати з достатньою для практики точністю. За результатами розрахунків планова середньоквадратична похибка становить приблизно 0,02–0,03 м, що відповідає нормативним вимогам. Головна перевага RTK – можливість працювати безпосередньо в полі та одразу отримувати результат. Проте в складних умовах, наприклад у щільній забудові або під деревами, його точність може знижуватися через нестабільність супутникового сигналу.

Метод GNSS PPK дає близький рівень точності, але поводитьсся більш стабільно. Це пов'язано з тим, що обробка даних виконується вже після польових робіт. Такий підхід дозволяє частково компенсувати вплив перешкод і втрати сигналу, тому PPK доцільно використовувати там, де RTK працює нестабільно або відсутній зв'язок із базовою станцією.

Тахеометричне знімання, у свою чергу, забезпечує найвищу точність серед усіх розглянутих методів. Значення СКП на рівні 0,006–0,010 м підтверджують його надійність. Крім того, цей метод не залежить від супутникового сигналу, що є важливою перевагою в складних умовах. Саме тому тахеометрію зазвичай застосовують для уточнення координат меж і виконання контрольних вимірювань.

Фотограмметричне знімання з використанням БПЛА відрізняється високою швидкістю роботи та можливістю охоплювати великі території за короткий час. Це робить його зручним для інвентаризації земель, моніторингу та оновлення кадастрової інформації. Разом з тим середня планова похибка становить близько 0,3 м, тому без використання наземної геодезичної прив'язки цей метод не забезпечує необхідної точності для визначення координат меж.

З урахуванням цього для вибору найбільш доцільного методу було проведено узагальнену оцінку ефективності за основними критеріями - точністю, швидкістю виконання, надійністю та економічною доцільністю. Такий підхід дозволяє більш обґрунтовано підібрати технологію виконання робіт залежно від конкретних умов. Результати оцінки представлені на *рис. 3.2*:

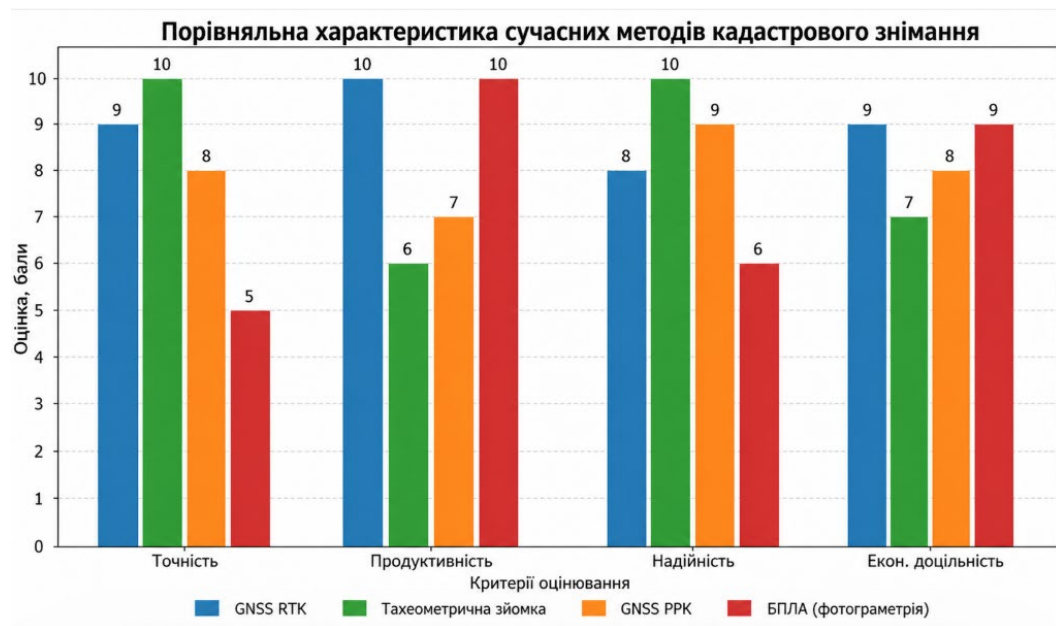


Рис. 3.2. Порівняльна характеристика сучасних методів кадастрового знімання.

Побудований графік дозволяє наочно порівняти сучасні методи кадастрового знімання та оцінити їх ефективність за основними критеріями - точністю, продуктивністю, надійністю та економічною доцільністю. Такий підхід дає змогу не лише зіставити методи між собою, а й краще зрозуміти, у яких умовах кожен із них працює найефективніше.

За показником точності найкращий результат демонструє тахеометричне знімання (10 балів), що підтверджує його важливість у задачах, де необхідно отримати максимально точні координати. GNSS RTK (9 балів) також забезпечує високий рівень точності і підходить для більшості кадастрових робіт. Водночас БПЛА-знімання (5 балів) має нижчий результат, що узгоджується з раніше визначеною похибкою на рівні близько 0,3 м.

Якщо розглядати продуктивність, ситуація виглядає інакше. Найшвидшими є GNSS RTK та БПЛА (по 10 балів), оскільки вони дозволяють оперативно отримувати великі обсяги даних. GNSS PPK (7 балів) і особливо тахеометричне знімання (6 балів) потребують більше часу, що пов'язано з більшою трудомісткістю вимірювань.

З точки зору надійності найстабільніші результати забезпечує тахеометричне знімання (10 балів), оскільки воно майже не залежить від

зовнішніх умов. GNSS RTK (8 балів) дещо поступається через вплив якості супутникового сигналу. Ще більш чутливим до умов є БПЛА (6 балів), де результат залежить як від процесу знімання, так і від подальшої обробки даних.

За економічною доцільністю найкращі показники мають GNSS RTK та БПЛА (по 9 балів), що пояснюється їх швидкістю та відносно невеликими витратами ресурсів. GNSS PPK (8 балів) і тахеометричне знімання (7 балів) потребують більше часу або зусиль, тому їх ефективність у цьому аспекті оцінюється дещо нижче.

Оцінювання виконувалося за десятибальною шкалою, де 1 відповідає найнижчому рівню, а 10 - найвищому. Такий підхід дозволив узагальнити результати та зробити їх більш наочними для подальшого аналізу. З метою врахування різної важливості критеріїв було введено вагові коефіцієнти:

- для точності - 0,35,
- для продуктивності - 0,25,
- для надійності - 0,25
- для економічної доцільності - 0,15.

Такий розподіл ваг обумовлений тим, що саме точність є ключовим параметром у кадастрових роботах, тоді як економічний фактор має допоміжне значення. Інтегральний коефіцієнт ефективності для кожного методу визначався як сума добутків оцінок за відповідними критеріями на їхні вагові коефіцієнти, відповідно, значень з матриці оцінок, табл. 3.12.

Таблиця 3.12.

Матриця оцінок сучасних методів кадастрового знімання за основними критеріями

Метод	Точність	Продуктивність	Надійність	Економічна доцільність
GNSS RTK	9	10	8	9
Тахеометричний	10	6	10	7
GNSS PPK	8	7	9	8
БПЛА (фотограмметрія)	5	10	6	9

Інтегральний коефіцієнт визначається за формулою 3.8:

$$K = \sum(w_i \times x_i). \quad (3.8)$$

де: w_i - ваговий коефіцієнт i -го критерію; x_i - оцінка методу за відповідним критерієм.

1. Розрахунок для GNSS RTK:

$$K_{\text{GNSS RTK}} = 0,35 \cdot 9 + 0,25 \cdot 10 + 0,25 \cdot 8 + 0,15 \cdot 9 = 9,0$$

2. Розрахунок для GNSS PPK

$$K_{\text{GNSS PPK}} = 0,35 \cdot 8 + 0,25 \cdot 7 + 0,25 \cdot 9 + 0,15 \cdot 8 = 8,03.$$

3. Розрахунок для тахеометричного методу

$$K_{\text{тах}} = 0,35 \cdot 10 + 0,25 \cdot 6 + 0,25 \cdot 10 + 0,15 \cdot 7 = 8,55$$

4. Розрахунок для БПЛА(фотограмметрія)

$$K_{\text{БПЛА}} = 0,35 \cdot 5 + 0,25 \cdot 10 + 0,25 \cdot 6 + 0,15 \cdot 9 = 7,1$$

Проведені розрахунки інтегрального коефіцієнта ефективності показали, що розглянуті методи геодезичного знімання не є однаково придатними для виконання кадастрових робіт. Кожен із них має свої сильні сторони та обмеження, які проявляються залежно від умов застосування.

Найвищий результат отримано для методу GNSS RTK ($K = 9,0$). Це свідчить про те, що саме він є найбільш збалансованим варіантом для практичного використання. Поєднання достатньої точності, високої швидкості виконання вимірювань і відносно невеликих витрат робить його зручним у більшості ситуацій, з якими стикаються під час кадастрових робіт.

Тахеометричний метод ($K \approx 8,55$) посідає друге місце. Його головна перевага - максимальна точність і стабільність результатів. Хоча він поступається за швидкістю, у складних умовах або там, де потрібна підвищена точність, саме цей метод залишається найбільш надійним. Тому його доцільно використовувати для уточнення координат і контрольних вимірювань.

Метод GNSS PPK ($K = 8,0$) займає проміжне положення. Він показує стабільні результати завдяки постобробці даних і добре підходить для умов, де виникають проблеми зі зв'язком або якістю сигналу. У таких випадках PPK може бути ефективною альтернативою RTK.

Найменше значення коефіцієнта ефективності отримано для БПЛА-знімання ($K = 7,1$). Це пов'язано насамперед із нижчою точністю визначення координат. Водночас цей метод має важливу перевагу - високу продуктивність і можливість швидко отримати повну картину території. Саме тому його доцільно використовувати для оглядових робіт, моніторингу та попереднього аналізу.

У цілому, результати розрахунків підтверджують, що найкращого ефекту можна досягти не за рахунок одного методу, а завдяки їх поєднанню. На практиці це виглядає так: GNSS RTK використовується як основний інструмент, тахеометрія - для уточнення і контролю, а БПЛА – для отримання загальної геопросторової інформації. Такий підхід дозволяє гнучко адаптувати технологію робіт до конкретних умов і отримати найбільш збалансований результат.

Висновки до розділу 3

1. У ході практичного дослідження виконано порівняльний аналіз результатів визначення координат за різними режимами GNSS-вимірювань (RTK, РРК, статичний). На основі обчислених відхилень та середньоквадратичних похибок встановлено, що метод RTK забезпечує достатню точність для виконання кадастрових робіт при високій оперативності, тоді як РРК демонструє більш стабільні результати в умовах ускладненого прийому сигналу. Статичний метод підтвердив найвищу точність, проте через значну тривалість спостережень є менш доцільним для практичного застосування. Отримані результати підтверджують доцільність використання RTK як базового методу з урахуванням умов виконання робіт.

2. На основі порівняння різних методів знімання (тахеометричного та RTK) встановлено, що тахеометричне знімання забезпечує стабільну та високу точність визначення координат незалежно від умов прийому супутникового сигналу. Порівняння отриманих координат показало незначні відхилення, що підтверджує надійність методу. Водночас у процесі дослідження зафіксовано меншу продуктивність порівняно з GNSS-технологіями, що обмежує його

ефективність на великих територіях. Таким чином, тахеометричний метод є доцільним для виконання детальних вимірювань, уточнення координат та контролю точності результатів.

3. У результаті аналізу координат, отриманих за матеріалами БПЛА-знімання, встановлено, що точність визначення положення точок суттєво залежить від якості геодезичної прив'язки та умов фотограмметричної обробки. Обчислені значення середньоквадратичної похибки показали, що за відсутності наземних опорних точок точність не відповідає нормативним вимогам кадастрових робіт. Водночас отримані матеріали забезпечують високу деталізацію та повноту відображення території. Це дозволяє зробити висновок, що БПЛА доцільно використовувати як допоміжний інструмент у поєднанні з більш точними геодезичними методами.

4. Узагальнення результатів проведеного дослідження дозволило обґрунтувати доцільність застосування комбінованого методу одержання просторових (координатних) даних, який передбачає раціональне поєднання GNSS-технологій, тахеометричного знімання та дистанційних методів. Встановлено, що ізольоване використання окремих методів не забезпечує оптимальної продуктивності, тоді як їх поєднання дозволяє компенсувати недоліки кожного з них та підвищити загальну ефективність виконання робіт.

5. На основі виконаних розрахунків інтегральних коефіцієнтів ефективності для кожного методу встановлено їх порівняльну доцільність застосування за критеріями: точності, продуктивності, надійності та економічності ефективності. Отримані результати показали, що GNSS RTK має найкраще співвідношення точності та оперативності, тахеометричний метод забезпечує максимальну надійність і точність у складних умовах, а БПЛА — високу продуктивність при роботі на великих територіях. Узагальнення результатів дослідження дозволило визначити роль кожного методу в загальній системі виконання кадастрових робіт

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра зроблено наступні висновки:

1. Проведене дослідження досвіду формування геопросторової основи Державного земельного кадастру України дозволило встановити, що його ефективне функціонування забезпечується на основі інтеграції топографо-геодезичних, картографічних та геоінформаційних даних. Визначено, що ключовим елементом геопросторової основи є координатне забезпечення земельних ділянок, яке формується в єдиній державній системі координат та базується на результатах високоточних геодезичних вимірювань. Доведено, що якість та достовірність кадастрових даних безпосередньо залежить від точності їх визначення та застосованих технологій отримання.

2. Проаналізовано нормативно-правове забезпечення ведення Державного земельного кадастру та встановлено, що воно формується системою законодавчих і підзаконних актів, які регламентують порядок виконання кадастрових і топографо-геодезичних робіт, вимоги до точності даних, структури інформації та процедур її внесення до кадастру. Визначено, що чинна нормативна база в цілому забезпечує функціонування кадастрової системи, проте в умовах цифровізації потребує подальшого вдосконалення, зокрема щодо уніфікації форматів даних, інтеграції геоінформаційних систем та використання сучасних технологій одержання геопросторової інформації.

3. Досліджено сучасні засоби і технології одержання геопросторових даних та встановлено, що на сучасному етапі розвитку геодезії найбільш ефективними є GNSS-технології, тахеометричні методи, а також дистанційні технології, зокрема використання безпілотних літальних апаратів. Визначено, що кожен із зазначених методів має власні переваги та обмеження, які визначають доцільність їх застосування залежно від умов місцевості, необхідної точності та обсягу робіт. Доведено, що інтеграція сучасних технологій із геоінформаційними системами забезпечує формування цифрових моделей

територій та підвищує ефективність обробки просторових даних.

4. Виконано порівняльну оцінку ефективності та точності різних методів одержання геопросторових даних для кадастрових робіт, у результаті чого встановлено, що GNSS-технології (зокрема RTK) забезпечують високу оперативність і достатню точність визначення координат, тахеометричні методи характеризуються високою точністю у складних умовах знімання, а використання безпілотних літальних апаратів дозволяє отримувати великі обсяги просторової інформації які не завжди відповідають вимогам точності, відповідно до законодавства. Визначено, що ефективність кожного методу залежить від конкретних умов виконання робіт, а їх комбіноване застосування дозволяє знівелювати недоліки один одного.

5. Обґрунтовано доцільність застосування сучасних методів одержання просторових (координатних) даних для ведення Державного земельного кадастру та встановлено, що найбільш ефективним є комбінований підхід, який передбачає поєднання GNSS-технологій, тахеометричних вимірювань і дистанційних методів знімання. Доведено, що використання такого підходу дозволяє забезпечити високу точність, оперативність та повноту геопросторових даних, що, у свою чергу, підвищує ефективність функціонування кадастрової системи. Запропоновано практичні рекомендації щодо вибору методів одержання даних залежно від умов місцевості та вимог до результатів, що сприяє оптимізації кадастрових робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баран П. І. Інженерна геодезія: навч. посіб. Київ: Вища школа, 2018. 303 с.
2. Боровий В. О., Ковальчук І. П. Теорія похибок геодезичних вимірювань: навч. посіб. Київ: КНУБА, 2020. 180 с.
3. Віват А. Й., Літинський В. О. Дослідження точності визначення координат GNSS методом у режимі RTK. 2019. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journalpaper/2017/may/1819/gka74201112.pdf>
4. Дарчук К. В., Мельник А. А. Топографія з основами геодезії. Чернівці: Рута, 2017. 120 с.
5. Дорожинський О. Л. Фотограмметрія: підручник. Львів: Львівська політехніка, 2019.
6. Закон України «Про Державний земельний кадастр» від 07.07.2011 № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>
7. Закон України «Про землеустрій» від 22.05.2003 № 858-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15>
8. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 13.04.2020 № 554-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20>
9. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 05.04.2007 № 877-V. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/877-16>
10. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» від 23.12.1998 № 353-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14>
11. Козловський Є. В., Сулима О. М. Сучасні технології дистанційного зондування Землі: навч. посіб. Київ: КНУБА, 2020.
12. Кравченко Ю. С., Бондар О. В. Оцінка точності геодезичних вимірювань у землеустрої. Землевпорядний вісник. 2021. № 3. С. 34–39.
13. Марченко О. М. Сучасні GNSS-технології у геодезії та землеустрої:

навч. посіб. Київ: КНУБА, 2021.

14. Паляничка Н. І., Костенко В. О. Застосування GNSS-технологій у кадастрових зйомках. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2020. № 2.

15. Перович Л. Л. Основи геоінформаційних систем і кадастру: монографія. Львів : Львівська політехніка, 2022.

16. Про затвердження Інструкції з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 : наказ Держкомзему України від 17.04.2025 № 1675. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0868-25#Text>

17. Про затвердження Положення про використання повітряного простору України : Постанова Кабінету Міністрів України від 06.12.2017 № 954. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/954-2017-п>

18. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру : Постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 № 1051. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-п>

19. Третьяк А. М., Другак В. М. Геодезичне забезпечення земельного кадастру: монографія. Київ: НУБіП України, 2020.

20. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2021. Vol. 92. P. 79–97.

21. European Commission. INSPIRE Directive and Specifications for Spatial Data Infrastructure in Europe. Brussels, 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/252603234_The_European_Directive_INSPIRE_Infrastructure_for_Spatial_Information_in_Europe

22. Ghilani C. D., Wolf P. R. Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics. 15th ed. Pearson, 2021.

23. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. Global Navigation Satellite Systems GNSS: GPS, GLONASS, Galileo. Vienna : Springer, 2020. 516 p.

24. Lemmen C., Oosterom P., Bennett R. The Land Administration Domain Model (LADM): Overview and Future Developments. Land Use Policy. 2020. Vol. 99.

25. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic Information Science and Systems. 5th ed. Hoboken : Wiley, 2021. 512 p.
26. Luhmann T., Robson S., Kyle S., Boehm J. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. 3rd ed. Berlin : De Gruyter, 2019. 702 p.
27. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: A review. Applied Geomatics. 2019. Vol. 11. P. 1–15.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічна документація із землеустрою.

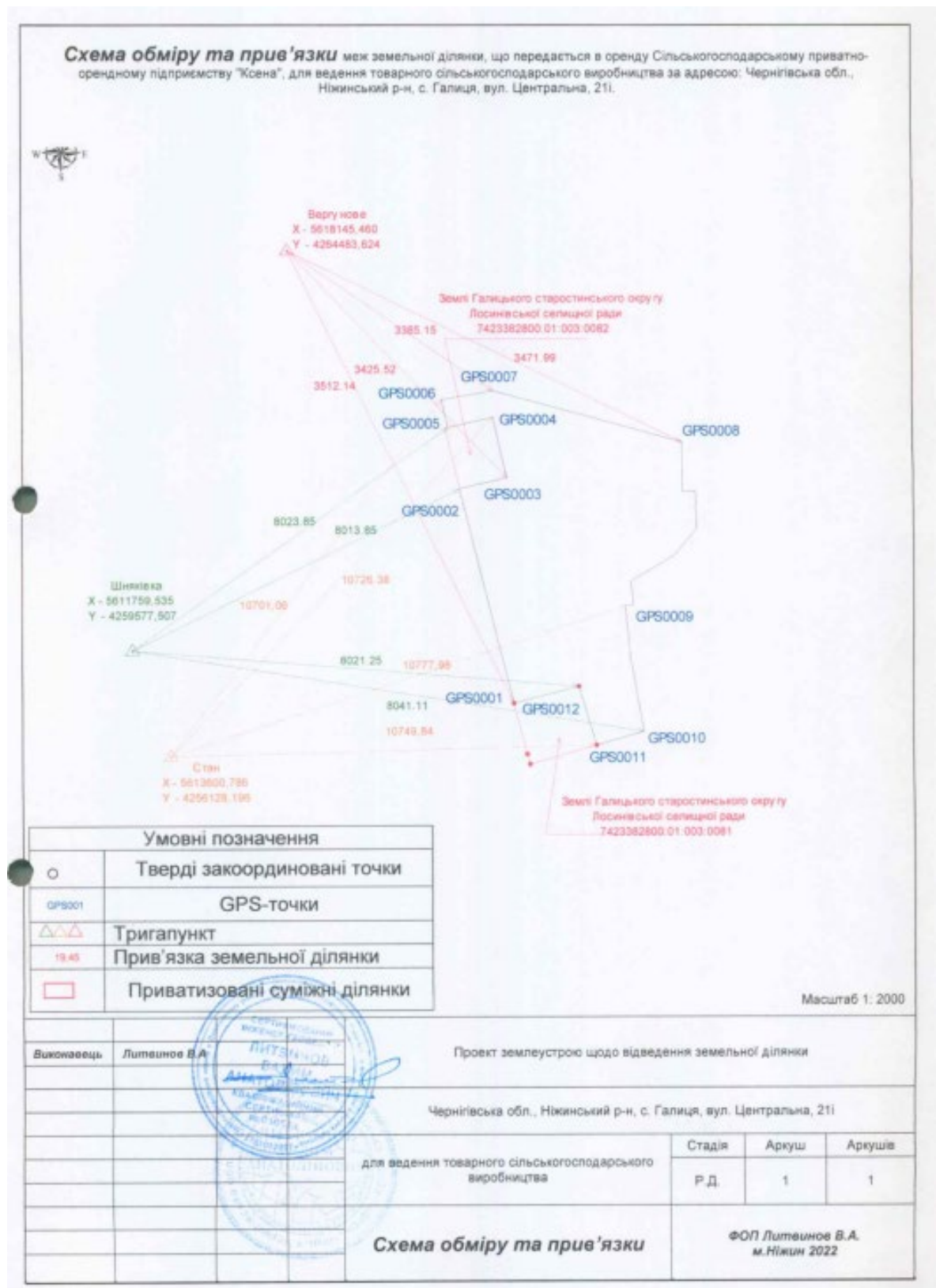


Рис. А.1. Схема обміру та прив'язки.

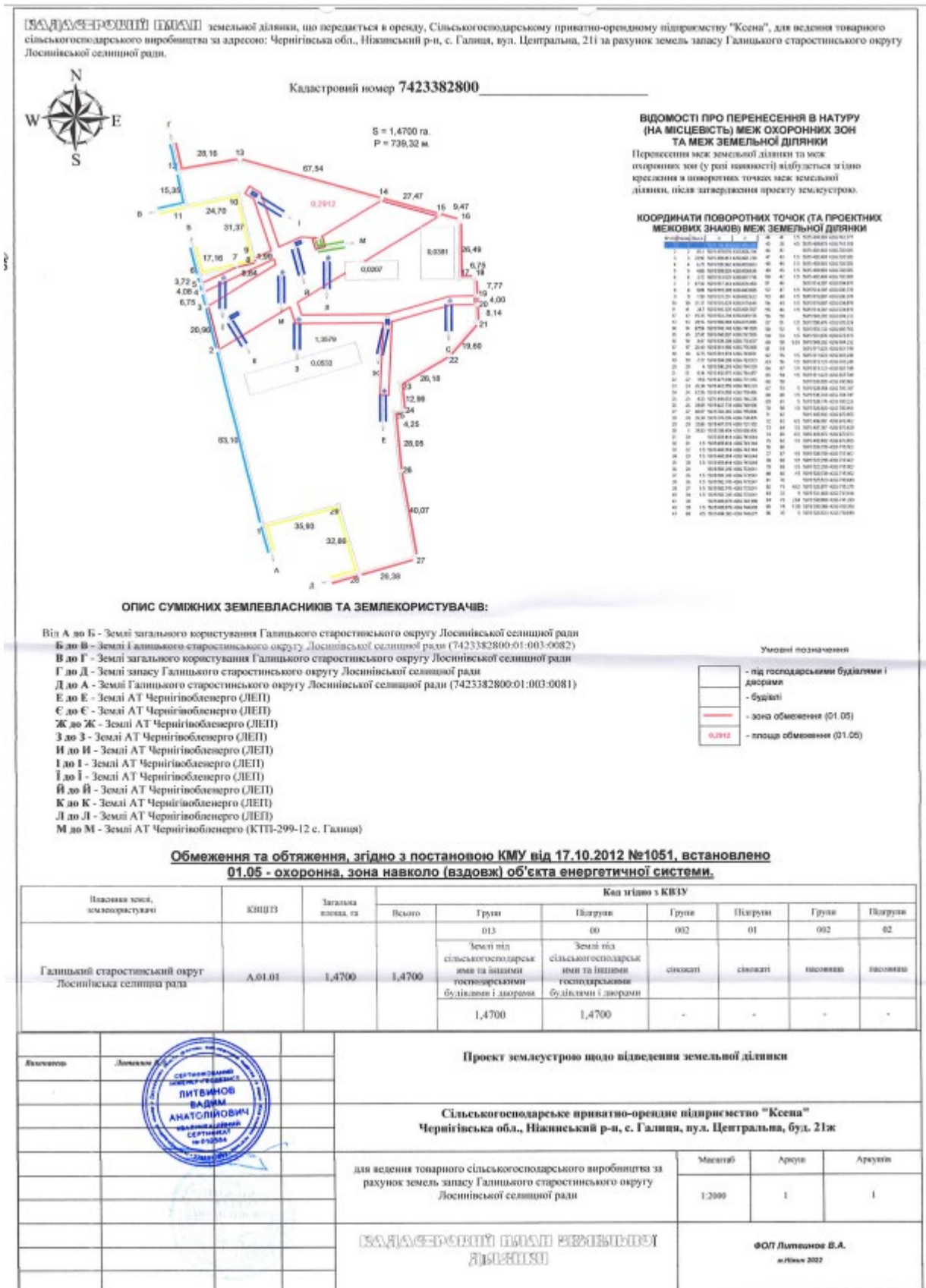


Рис. А.2. Кадастровий план земельної ділянки.

Відомість обчислення площі земельної ділянки.

Відомість обчислення площі земельної ділянки													
за адресою Чернівецька обл., Ніжинський р-н, с. Галиця, вул. Центральна, 211 Землеволодіння: Сільськогосподарське приватно-орендне підприємство "Косена"													
Точка		Межа	Координати		Висота Н _i (м)	Гориз. проєкція- данія D _i (м)	Дирекційний кут			Внутрішній кут			№ точки межі
№	назва		X _i (м)	Y _i (м)			α	β	γ	α	β	γ	
1	1		5615479,078	4266666,314	0,000	20,96	345	59	3,51	72	35	39,54	1
2	2		5615499,413	4266661,238	0,000	36,51	58	34	38,47	107	24	25,04	2
3	3		5615518,447	4266692,393	0,000	2,73	341	43	4,6	256	51	33,86	3
4	4		5615521,035	4266691,538	0,000	35,31	244	43	59,37	276	59	5,23	4
5	5		5615505,962	4266659,603	0,000	4,08	345	59	52,16	78	44	7,21	5
6	6		5615509,920	4266658,616	0,000	17,46	64	52	57,91	101	6	54,24	6
7	7		5615517,343	4266674,450	0,000	8,84	77	8	41,51	167	44	16,4	7
8	8		5615519,309	4266683,065	0,000	1,99	347	8	59,4	269	59	42,1	8
9	9		5615521,251	4266682,622	0,000	8,46	64	44	25,72	102	24	33,67	9
10	10		5615524,861	4266690,273	0,000	25,34	341	42	23,83	263	2	1,89	10
11	11		5615548,921	4266682,319	0,000	5,53	301	57	53,01	219	44	30,82	11
12	12		5615551,847	4266677,630	0,000	4	31	57	57,28	89	59	55,72	12
13	13		5615555,241	4266679,748	0,000	6,97	121	58	17,08	89	59	40,19	13
14	14		5615551,549	4266685,663	0,000	26,3	161	42	25,14	140	15	51,94	14
15	15		5615526,581	4266693,917	0,000	11,15	64	44	0,62	276	58	24,51	15
16	16		5615531,340	4266704,000	0,000	7,3	93	32	54,38	151	11	6,24	16
17	17		5615530,888	4266711,289	0,000	2,66	252	59	20,91	20	33	33,46	17
18	18		5615530,110	4266708,746	0,000	5	163	0	51,66	269	58	29,25	18
19	19		5615525,327	4266710,207	0,000	5,3	72	59	39,27	270	1	12,38	19
20	20		5615526,877	4266715,275	0,000	5	343	0	51,66	269	58	47,61	20
21	21		5615531,660	4266713,814	0,000	31,8	58	46	19,46	104	14	32,2	21
22	22		5615548,148	4266741,009	0,000	27,47	105	18	18,21	133	28	1,24	22
23	23		5615540,897	4266767,505	0,000	76,36	238	34	43,52	46	43	34,68	23
24	24		5615501,090	4266702,345	0,000	6,15	161	42	44,15	256	51	50,37	24
25	25		5615495,247	4266704,276	0,000	39,63	89	26	31,15	252	16	13,62	25
26	26		5615495,633	4266743,908	0,000	29,78	73	42	3,44	252	16	13,62	26
27	27		5615503,990	4266772,489	0,000	11,49	88	54	16,49	252	16	13,62	27
28	28		5615504,208	4266783,973	0,000	4	177	37	20,54	252	16	13,62	28
29	29		5615500,210	4266784,139	0,000	11,05	268	54	39,08	252	16	13,62	29
30	30		5615500,000	4266775,000	0,000		253	50	35,93	196	4	6,16	30

Продовження табл. А.1.

31	31	5615492,133	4266745,938	0,000	28,27				251	4	19,84	31
					34,11	182	46	16,08				
32	32	5615458,065	4266744,289	0,000					89	50	49,92	32
					4	272	55	26,16				
33	33	5615458,269	4266740,295	0,000					90	5	46,15	33
					33,38	2	49	40,01				
34	34	5615491,613	4266741,942	0,000					273	23	4,19	34
					40,55	269	26	35,81				
35	35	5615491,219	4266701,394	0,000					107	44	8,81	35
					8,14	341	42	27				
36	36	5615498,948	4266698,839	0,000					283	7	43,93	36
					36,11	238	34	43,06				
37	1	5615479,078	4266666,314	0,000					72	35	39,54	37
					0							
38	37	5615459,414	4266741,644	0,000					270	0	0	38
					1,5	90	0	0				
39	38	5615459,414	4266743,144	0,000					270	0	0	39
					1,5							
40	39	5615460,914	4266743,144	0,000					270	0	0	40
					1,5	270	0	0				
41	40	5615460,914	4266741,644	0,000					270	0	0	41
					1,5	180	0	0				
42	37	5615459,414	4266741,644	0,000					270	0	0	42
					0							
43	41	5615501,245	4266772,041	0,000					270	0	0	43
					1,5	90	0	0				
44	42	5615501,245	4266773,541	0,000					270	0	0	44
					1,5							
45	43	5615502,745	4266773,541	0,000					270	0	0	45
					1,5	270	0	0				
46	44	5615502,745	4266772,041	0,000					270	0	0	46
					1,5	180	0	0				
47	41	5615501,245	4266772,041	0,000					270	0	0	47
					0							
48	45	5615489,879	4266743,199	0,000					269	43	12,49	48
					1,5	90	0	0				
49	46	5615489,879	4266744,699	0,000					270	16	47,5	49
					4,5	359	43	12,49				
50	47	5615494,383	4266744,677	0,000					269	43	12,49	50
					1,5	270	0	0				
51	48	5615494,383	4266743,177	0,000					270	16	47,5	51
					4,5	179	43	12,49				
52	45	5615489,879	4266743,199	0,000					269	43	12,49	52
					0							
53	49	5615492,483	4266702,085	0,000					270	0	0	53
					1,5	90	0	0				
54	50	5615492,483	4266703,585	0,000					270	0	0	54
					1,5							
55	51	5615493,983	4266703,585	0,000					270	0	0	55
					1,5	270	0	0				
56	52	5615493,983	4266702,085	0,000					270	0	0	56
					1,5	180	0	0				
57	49	5615492,483	4266702,085	0,000					270	0	0	57
					0							
58	53	5615514,307	4266694,870	0,000					270	0	0	58
					1,5	90	0	0				
59	54	5615514,307	4266696,370	0,000					270	0	0	59
					1,5							
60	55	5615515,807	4266696,370	0,000					270	0	0	60
					1,5	270	0	0				
61	56	5615515,807	4266694,870	0,000					270	0	0	61
					1,5	90	0	0				
62	53	5615514,307	4266694,870	0,000					270	0	0	62
					0							
63	57	5615549,202	4266684,232	0,000					270	0	0	63



Продовження табл. А.1.

64	58	5615550,476	4266685,024	0,000	1,5			269	48	36,57	64
65	59	5615553,132	4266680,783	0,000	5	302	3	27,25			65
66	60	5615551,870	4266679,973	0,000	1,5	212	41	38,05			66
67	57	5615549,202	4266684,232	0,000	5,03	122	3	52,55			67
68	61	5615511,623	4266667,749	0,000	0						68
69	62	5615511,623	4266669,249	0,000	1,5	90	0	0			69
70	63	5615513,123	4266669,249	0,000	1,5						70
71	64	5615513,123	4266667,749	0,000	1,5	270	0	0			71
72	61	5615511,623	4266667,749	0,000	1,5	180	0	0			72
73	65	5615526,820	4266700,866	0,000	0						73
74	66	5615526,954	4266705,387	0,000	5	64	43	54,39			74
75	67	5615530,310	4266704,747	0,000	1,5	334	44	1,66			75
76	68	5615528,176	4266700,226	0,000	5	244	43	54,39			76
77	65	5615526,820	4266700,866	0,000	1,5	154	44	1,66			77
78	69	5615492,692	4266670,855	0,000	0						78
79	70	5615496,081	4266676,402	0,000	6,5	58	34	36,12			79
80	71	5615497,361	4266675,620	0,000	1,5	328	34	39,63			80
81	72	5615493,972	4266670,073	0,000	6,5	238	34	36,12			81
82	69	5615492,692	4266670,855	0,000	1,5	148	34	39,63			82
83	73	5615520,799	4266715,902	0,000	0						83
84	74	5615520,799	4266717,402	0,000	1,5	90	0	0			84
85	75	5615522,299	4266717,402	0,000	1,5						85
86	76	5615522,299	4266715,902	0,000	1,5	270	0	0			86
87	73	5615520,799	4266715,902	0,000	1,5	180	0	0			87

Xmin = 5615458,065

Xmax = 5615555,241

Ymin = 4266658,616

Ymax = 4266784,139

Периметр Р = 755,24 м

16920 0 0

Площа S = 0,2912 га

(контрольне обчислення S = 0,2912 га)

Обчислив

