

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА
Географічний факультет
Кафедра геодезії, картографії та управління територіями**

**Геодезичне забезпечення інвентаризації земель міста (на
прикладі м. Чернівці)**

**Кваліфікаційна робота
Рівень вищої освіти - другий (магістерський)**

Виконав:
здобувач II курсу, групи 628
спеціальності 193 «Геодезія та
землеустрій»
ОПП «Геодезія»

Чахлов Ігор Олександрович
(прізвище, ім'я та по-батькові)
Керівник: к.геогр. н, доц. Білокриницький
С.М.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

До захисту допущено:
протокол засідання кафедри № ____
від «__» «_____» 2024 р.
Зав. кафедрою _____ доц. Дарчук К.В.

Чернівці – 2024

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему "Геодезичне забезпечення інвентаризації земель міст (на прикладі м. Чернівці)" присвячена теоретичному та практичному обґрунтуванню сучасних підходів до інвентаризації земель із використанням геодезичних методів. Основною метою є забезпечення точності, ефективності та актуальності геопросторових даних, які є основою для управління міськими територіями, раціонального використання земельних ресурсів та містобудівного планування.

Ключові слова: геодезичне забезпечення, інвентаризація земель, GNSS, фотограмметрія, лазерне сканування, Чернівці, кадастрові дані, міське планування.

ABSTRACTS

Qualification work on the topic “Geodetic support of urban land inventory (on the example of Chernivtsi)” is devoted to the theoretical and practical substantiation of modern approaches to land inventory using geodetic methods. The main goal is to ensure the accuracy, efficiency and relevance of geospatial data, which are the basis for urban management, rational use of land resources and urban planning.

Keywords: geodetic support, land inventory, GNSS, photogrammetry, laser scanning, Chernivtsi, cadastral data, urban planning.

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

_____ I. O. Chahlov

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1 Теоретико-методичні основи геодезичного забезпечення інвентаризації земель	6
1.1 Сутність і значення інвентаризації земель населених пунктів	6
1.2 Основи геодезичного забезпечення інвентаризації земель населених пунктів	9
1.3 Методи геодезичного забезпечення інвентаризації земель міст	12
Висновок до 1 розділу	15
РОЗДІЛ 2 Сучасні технології геодезичного забезпечення інвентаризації міських земель	16
2.1 Використання GNSS-технологій у міській інвентаризації земель	16
2.2 Інженерна фотограмметрія для збору даних інвентаризації	23
Висновки до 2 розділу	35
РОЗДІЛ 3 Геодезичне забезпечення інвентаризації земель м. Чернівці	36
3.1 Проектування опорної геодезичної мережі для інвентаризації	36
3.2 Організація польових робіт	41
3.3 Аналіз опрацювання даних та їх обробка	45
3.4 Визначення проблемних ділянок та їх класифікація	51
Висновки до 3 розділу	54
Висновки	55
Список використаних джерел	57

ВСТУП

Управління земельними ресурсами у межах населених пунктів є одним із ключових завдань сучасного муніципального управління. У цьому контексті інвентаризація земель виступає важливим інструментом, що дозволяє створити точну і актуальну інформаційну базу для планування територій, ефективного використання земельного фонду, а також забезпечення правової визначеності меж ділянок. В умовах швидкої урбанізації та стрімкого розвитку міст, таких як Чернівці, особливого значення набуває геодезичне забезпечення процесу інвентаризації, яке включає точні вимірювання, систематизацію даних та використання сучасних технологій.

Актуальність теми

Актуальність геодезичного забезпечення інвентаризації земель обумовлена необхідністю постійного оновлення інформації про земельні ділянки, їх правовий статус і фактичне використання. У містах з високою щільністю забудови та складною інфраструктурою, таких як Чернівці, важливо забезпечити достовірні дані для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень. Це дозволить мінімізувати земельні конфлікти, запобігати незаконному захопленню територій і оптимізувати землекористування відповідно до містобудівних планів.

Крім того, впровадження сучасних геодезичних технологій, таких як GNSS-системи, лазерне сканування, аерофотозйомка та інтеграція результатів у GIS-системи, значно підвищує точність і ефективність інвентаризаційних робіт. Однак у реаліях українських міст процес інвентаризації все ще стикається з низкою проблем, серед яких недостатнє фінансування, незавершена кадастрова реєстрація та відсутність системного підходу до збереження та оновлення земельних даних.

Мета і завдання дослідження

Метою магістерської роботи є розробка ефективної методології геодезичного забезпечення для інвентаризації земель міста Чернівці, яка дозволить оптимізувати процес збирання та обробки даних про земельні ділянки з використанням сучасних технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати сучасний стан геодезичного забезпечення інвентаризації земель населених пунктів і правову базу, що регулює цей процес в Україні.

Дослідити новітні геодезичні технології, що можуть бути застосовані для інвентаризації земель у міських умовах.

Розробити методику застосування цих технологій для інвентаризації земель міста Чернівці.

Виконати практичні вимірювання та продемонструвати використання розробленої методики на прикладі конкретних територій у Чернівцях.

Проаналізувати результати польових робіт, визначити можливі проблеми і запропонувати рекомендації для підвищення ефективності та точності інвентаризації.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес інвентаризації земель міста Чернівці.

Предметом дослідження виступають методи і технології геодезичного забезпечення, що забезпечують актуальність і точність даних про земельні ресурси у межах населеного пункту.

Наукова новизна та практична значущість

Наукова новизна цієї роботи полягає в комплексному підході до інвентаризації земель міста з використанням сучасних геодезичних технологій і методів обробки даних, що дозволяє підвищити ефективність та якість інвентаризації. Практична значущість роботи полягає у можливості застосування розробленої методики для покращення управління земельними ресурсами міста Чернівці. Отримані результати можуть бути використані органами місцевого самоврядування для планування територій, оптимізації землекористування та розвитку міської інфраструктури.

Структура роботи

Магістерська робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел. У першому розділі розглянуто теоретичні основи інвентаризації земель населених пунктів, у другому – сучасні геодезичні технології, що можуть бути застосовані в цьому процесі. Третій розділ присвячено розробці методики геодезичного забезпечення для міста Чернівці.

РОЗДІЛ 1 Теоретико-методичні основи геодезичного забезпечення інвентаризації земель

1.1 Сутність і значення інвентаризації земель населених пунктів

Інвентаризація земель населених пунктів – це процес збирання, упорядкування та аналізу даних про земельні ділянки в межах певної території з метою створення актуальної бази даних для ефективного управління земельними ресурсами. Цей процес має стратегічне значення для розвитку міських і сільських громад, оскільки створює основу для правового, економічного та екологічного регулювання землекористування.

Основні етапи інвентаризації земель включають:

Збирання інформації - на цьому етапі проводяться геодезичні вимірювання, вивчаються документи про право власності, межі ділянок та їх цільове призначення. Це передбачає як польові роботи, так і камеральну обробку отриманих даних.

Систематизація та аналіз - зібрана інформація структурується та аналізується для виявлення проблемних ділянок, наприклад, земель із невизначеним правовим статусом або таких, що використовуються не за призначенням.

Створення та оновлення земельно-кадастрових баз - результати інвентаризації інтегруються в земельний кадастр, який містить актуальні дані про всі земельні ділянки в межах населеного пункту. Це дозволяє забезпечити відкритість і доступність інформації для громадян і органів влади.

Виявлення порушень і розробка рекомендацій - на основі аналізу результатів інвентаризації визначаються порушення в землекористуванні, і органи місцевого самоврядування отримують рекомендації щодо усунення цих проблем.

Головною метою інвентаризації земель є формування точної та актуальної інформації про земельний фонд населеного пункту. Це має кілька важливих завдань:

Правову упорядкованість - інвентаризація допомагає врегулювати питання прав власності на землю, усунути невідповідності в документах та забезпечити дотримання земельного законодавства[23].

Ефективне управління територією - завдяки точним даним муніципальні органи можуть приймати обґрунтовані рішення щодо розподілу та використання земельних ресурсів, планування забудови та розвитку інфраструктури.

Оптимізація землекористування - інвентаризація сприяє визначенню неефективно або незаконно використовуваних ділянок, що дозволяє розробляти заходи для їх раціонального використання або рекультивації.

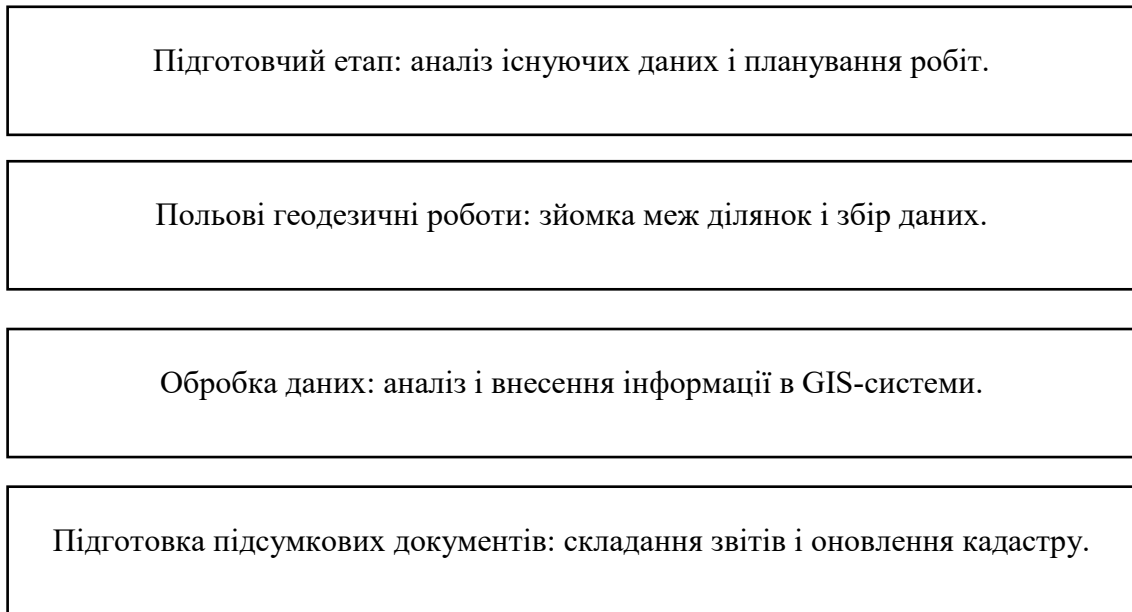


Рисунок 1.1 Етапи процесу інвентаризації земель[16]

Значення інвентаризації земель населених пунктів проявляється у кількох аспектах: юридичний аспект - інвентаризація сприяє врегулюванню прав власності та визначенню чітких меж земельних ділянок. Це запобігає конфліктам між сусідніми землевласниками та спрощує процес оформлення прав на землю. Регулярне оновлення даних дозволяє своєчасно виявляти порушення, наприклад, захоплення земельних ділянок або зміну їх цільового призначення без відповідного погодження.

Економічний аспект - актуалізація інформації про земельний фонд дає можливість ефективніше адмініструвати земельний податок і орендну плату, що є важливим джерелом надходжень до місцевих бюджетів. Інвентаризація допомагає виявити вільні або незадіяні ділянки, які можуть бути використані для залучення інвестицій або будівництва нових об'єктів інфраструктури.

Соціальний аспект - впорядкованість землекористування створює передумови для розвитку житлової та громадської забудови, що підвищує комфорт мешканців і

забезпечує сталий розвиток міста. Чітке визначення меж земельних ділянок сприяє кращій організації території та розвитку міського простору, зокрема облаштуванню парків, скверів і зон відпочинку.

Екологічний аспект - інвентаризація дозволяє виявляти порушення природоохоронного законодавства, наприклад, незаконну вирубку зелених зон або забруднення земель, і розробляти заходи для охорони навколишнього середовища. Завдяки точним даним про екологічний стан земель можна ефективніше планувати розвиток міських територій з урахуванням екологічних обмежень і потреб.

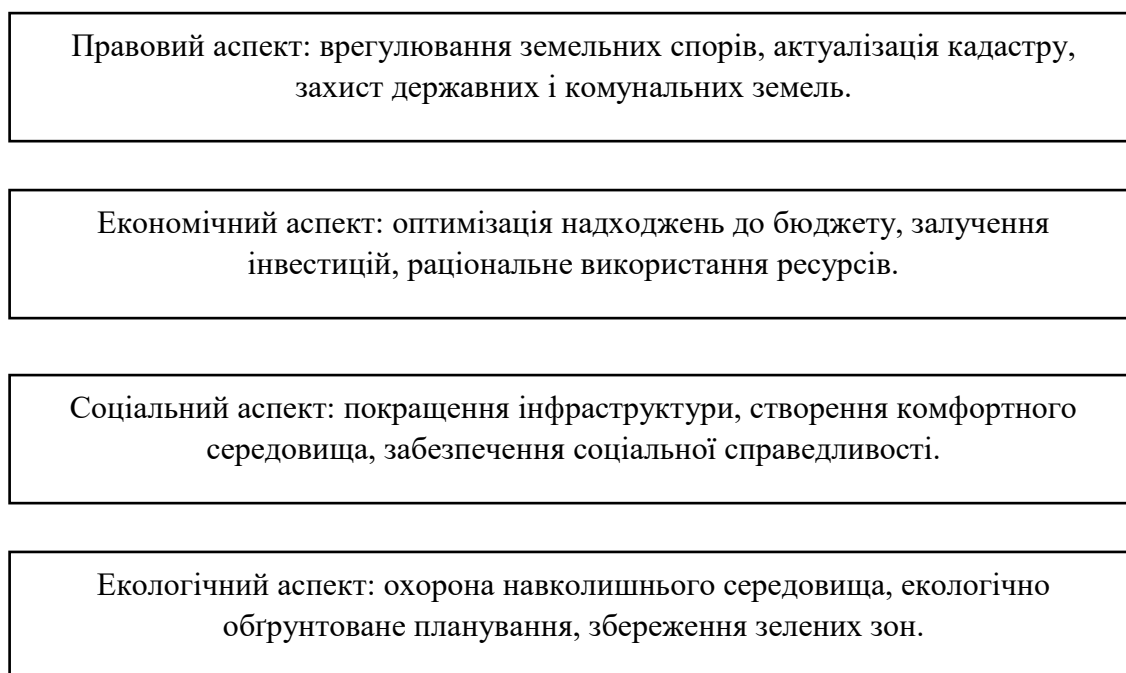


Рисунок 1.2 Основні аспекти значення інвентаризації земель населених пунктів[21]

Інвентаризація земель у межах населених пунктів має свої особливості, зумовлені складністю міської забудови, високою щільністю землекористування та наявністю обмежень у використанні земель. Для забезпечення точності даних у таких умовах застосовуються сучасні геодезичні технології, які включають: високоточні GNSS-системи для визначення координат меж ділянок, це лазерне сканування для створення тривимірних моделей місцевості та проведення топографічної зйомки та аерофотозйомка з використанням дронів для швидкого отримання зображень території та їх подальшої обробки в GIS-системах.

Ці технології дозволяють значно підвищити точність і швидкість інвентаризаційних робіт, що має велике значення в умовах динамічного розвитку міст.

Інвентаризація земель населених пунктів є важливим етапом підготовки містобудівної документації. Вона дозволяє враховувати реальний стан землекористування при розробці генеральних планів, схем зонування та проектів забудови. Зокрема:

1. Актуальні дані про межі земельних ділянок і їх правовий статус допомагають приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку міської інфраструктури.
2. Інформація про використання земель дозволяє краще планувати зони рекреації, транспортну мережу та соціальні об'єкти.

Незважаючи на важливість інвентаризації, цей процес часто супроводжується труднощами, серед яких:

- Недостатнє фінансування з боку місцевих бюджетів, що може уповільнити проведення інвентаризаційних робіт.
- Відсутність сучасної техніки та технологій у деяких населених пунктах, що знижує точність вимірювань і ускладнює обробку даних.
- Незавершена кадастрова реєстрація багатьох ділянок, що ускладнює роботу з оновлення баз даних і створення єдиного інформаційного простору.

Для вирішення цих проблем необхідно впроваджувати сучасні технології, підвищувати кваліфікацію фахівців у сфері геодезії та землевпорядкування, а також розробляти державні програми підтримки проведення інвентаризації.

1.2 Основи геодезичного забезпечення інвентаризації земель населених пунктів

Геодезичне забезпечення інвентаризації земель населених пунктів охоплює комплекс заходів, спрямованих на проведення точних вимірювань земельних ділянок, визначення їхніх меж і площ із високою точністю. Це забезпечується за допомогою

сучасних геодезичних методів, технологій і спеціалізованого обладнання. Метою такого забезпечення є створення надійної геопросторової бази даних для подальшого використання у земельному кадастрі та містобудуванні.

Геодезичне забезпечення включає:

1. Побудову опорних геодезичних мереж для виконання точних вимірювань.
2. Застосування GNSS-технологій для визначення координат меж ділянок.
3. Використання сучасного обладнання, такого як електронні тахеометри, лазерні сканери, дрони для аерофотозйомки.
4. Інтеграцію отриманих даних у геоінформаційні системи (GIS) для обробки та аналізу.

Основні етапи геодезичного забезпечення:

Створення опорної геодезичної мережі - важливим етапом геодезичного забезпечення є побудова опорної геодезичної мережі, що складається з точок із відомими координатами, які служать базою для подальших вимірювань. Мережа може бути глобальною (з використанням GNSS-технологій) або місцевою (створеною за допомогою класичних методів тріангуляції чи полігонометрії)[19].

Виконання польових геодезичних робіт - польові роботи включають визначення координат меж земельних ділянок за допомогою GNSS-приймачів або електронних тахеометрів. GNSS-технології дозволяють швидко отримати координати точок із точністю до кількох сантиметрів, що особливо важливо в умовах міської забудови. Проте в густо забудованих районах GNSS може мати обмеження, тому використовується комбінований підхід.

Електронні тахеометри забезпечують високу точність вимірювань і використовуються для зйомки складних ділянок або в місцях з обмеженим доступом до супутникових сигналів.

Лазерне сканування дозволяє створювати тривимірні моделі місцевості, що важливо для аналізу рельєфу та планування забудови.

Метод	Переваги	Недоліки	Обладнання
GNSS-технології	Висока швидкість, глобальне покриття	Залежність від сигналу супутника, обмеження в густій забудові	GNSS-приймачі
Електронний тахеометр	Висока точність, незалежність від сигналу	Обмеження на великих площах	Тахеометри
Лазерне сканування	Створення 3D-моделей, точність	Висока вартість обладнання	Лазерні сканери

Таблиця 1.1 Порівняння методів геодезичних вимірювань[12]

Сучасні технології геодезичного забезпечення:

GNSS-технології - включають використання супутникових систем (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) для визначення координат у реальному часі.

Використання приймачів GNSS дозволяє забезпечити точність до 2-3 см при використанні RTK-корекцій (Real-Time Kinematic). Перевага GNSS у тому, що зйомка може проводитися навіть у складних умовах, хоча в міських районах точність може знижуватись через перешкоди для сигналу.

Електронні тахеометри - це високоточне обладнання, що дозволяє вимірювати горизонтальні та вертикальні кути, а також відстані до об'єктів.

Застосування тахеометрів є ефективним у міських умовах, де важлива висока точність вимірювань. Вони також використовуються для створення топографічних планів, які можуть бути інтегровані в GIS-системи.

Лазерне сканування та аерофотозйомка - лазерне сканування дає змогу отримати детальну тривимірну модель місцевості, що важливо для планування забудови та аналізу рельєфу.

Аерофотозйомка за допомогою дронів дозволяє охопити великі території за короткий час, що значно спрощує процес збору даних. Отримані зображення можуть бути використані для створення цифрових ортофотопланів.

Одним із найважливіших аспектів геодезичного забезпечення є обробка та інтеграція даних у геоінформаційні системи (GIS). GIS дозволяє зберігати та

аналізувати просторову інформацію, візуалізувати дані для легшого прийняття рішень органами місцевого самоврядування.

Переваги використання GIS у геодезичному забезпеченні:

- Легкість оновлення даних і можливість інтеграції з іншими інформаційними системами.
- Можливість проведення просторового аналізу, наприклад, для визначення зон ризику або планування забудови.

Основи геодезичного забезпечення інвентаризації земель населених пунктів базуються на поєднанні класичних геодезичних методів і сучасних технологій, які забезпечують високу точність і ефективність процесу. Розробка опорної геодезичної мережі, виконання точних польових вимірювань, а також використання GNSS, тахеометрів, лазерних сканерів та дронів є запорукою створення актуальної геопросторової бази даних, яка може бути інтегрована у GIS-системи для подальшого використання у земельному кадастрі та містобудівному плануванні.

1.3 Методи геодезичного забезпечення інвентаризації земель міст

Геодезичне забезпечення інвентаризації земель у міських умовах базується на застосуванні сучасних методів і технологій, які дозволяють з високою точністю виконувати вимірювання та обробку просторових даних. Складність міського середовища, зокрема наявність висотних будівель, густої забудови та інженерних комунікацій, вимагає особливого підходу до вибору геодезичних методів. Залежно від умов місцевості та технічних завдань застосовуються такі методи:

Супутникові GNSS-вимірювання - GNSS (Global Navigation Satellite System) – це сучасна технологія, яка забезпечує глобальне позиціонування та дозволяє визначати координати точок із високою точністю. У міських умовах GNSS-вимірювання відіграють важливу роль завдяки можливості швидкого збору координат на великій території[10].

Перевагами GNSS-вимірювань є висока швидкість виконання вимірювань на великих територіях, можливість використання в складних умовах місцевості з різноманітним рельєфом, автоматизація процесів збору та обробки даних.

Недоліками GNSS-вимірювань є залежність від якості супутникового сигналу, який може спотворюватися у густозабудованих районах та обмежена ефективність у місцях з перешкодами (висотні будівлі, густі ліси).

Основні типи GNSS-вимірювань, що застосовуються в геодезичному забезпеченні: статичний метод - використовується для створення опорних геодезичних мереж. У цьому методі приймач встановлюється на кожній точці на тривалий час (від 30 хвилин до декількох годин) для збору сигналів від супутників. Це дозволяє досягти високої точності вимірювань (до кількох міліметрів), але метод є трудомістким і потребує багато часу.

RTK (Real-Time Kinematic) - цей метод дозволяє отримувати координати точок у реальному часі з точністю до 2-3 см завдяки використанню корекційних даних від базової станції. RTK особливо ефективний у міських умовах для інвентаризації земельних ділянок, але може мати обмеження в зонах зі слабким прийомом сигналу, наприклад, серед висотних будівель.

PPK (Post-Processed Kinematic) - дані збираються в польових умовах і потім обробляються у офісі. Цей метод є менш залежним від реального часу і дозволяє досягти високої точності шляхом обробки інформації після збору.

Тахеометричні вимірювання - електронні тахеометри є незамінними при виконанні вимірювань у міських умовах, де точність має критичне значення. Тахеометр – це прилад, який вимірює кути та відстані між точками, автоматично обчислюючи координати точок на місцевості[11].

Методи тахеометричних вимірювань включають: полярний метод - вимірювання виконується від однієї опорної точки до об'єкта. Цей метод широко застосовується для визначення меж земельних ділянок і створення топографічних планів.

Метод зворотної засічки - дозволяє визначати положення тахеометра шляхом спостереження за відомими точками, що дуже зручно в міських умовах.

Радіальні вимірювання - виконуються від однієї центральної точки для збору даних про кілька об'єктів, що дозволяє швидко охопити велику площу.

Перевагами тахеометричних вимірювань є висока точність і надійність результатів, незалежність від супутникового сигналу, що важливо в щільно забудованих районах, можливість виконання вимірювань на обмежених ділянках і в умовах складного рельєфу.

Недоліками тахеометричних вимірювань є відносна тривалість виконання вимірювань порівняно з GNSS та необхідність створення мережі опорних точок для забезпечення точності.

Лазерне сканування – це сучасний метод збору просторових даних, який забезпечує створення тривимірних моделей місцевості. Сканери використовують лазерні промені для вимірювання відстаней до об'єктів, реєструючи мільйони точок у секунду, що створює "хмару точок".

Типи лазерного сканування: наземне лазерне сканування - використовується для детального сканування будівель і місцевості. Прилади встановлюються на триноги й забезпечують високу точність сканування.

Авіаційне лазерне сканування – виконується за допомогою літальних апаратів (літаків або дронів) для збору даних з великих територій. Цей метод ефективний для картографування міст і ландшафтного планування.

Перевагами лазерного сканування є створення високоточних тривимірних моделей, що важливо для планування та аналізу міської забудови, здатність охоплювати великі території за короткий час, можливість виявлення деталей, які не видно під час класичних вимірювань.

Недоліками лазерного сканування є висока вартість обладнання та виконання робіт та потреба у великій кількості обчислювальних ресурсів для обробки даних.

Аерофотозйомка та дрони - використання безпілотних літальних апаратів (дронів) для аерофотозйомки стало поширеним методом збору просторових даних у містах. Дрони оснащені камерами високої роздільної здатності та можуть швидко отримувати зображення місцевості, які потім використовуються для створення цифрових ортофотопланів та тривимірних моделей[4].

Перевагами аерофотозйомки за допомогою дронів є швидкість збору даних з великих територій, можливість отримання актуальних зображень з високою

роздільною здатністю, використання для моніторингу стану забудови та планування міських територій.

Недоліками аерофотозйомки є обмеження в польотах дронів у зонах з підвищеним ризиком (поблизу аеропортів, військових об'єктів тощо) та залежність від погодних умов і обмеження в часі польотів.

Таким чином, геодезичне забезпечення інвентаризації земель міст базується на використанні сучасних методів і технологій, які забезпечують точність і ефективність процесу. Кожен метод має свої переваги і недоліки, що визначає їх застосування залежно від умов місцевості та поставлених завдань.

Висновок до 1 розділу

Проведений аналіз показав, що інвентаризація земель є важливим процесом, який дозволяє впорядкувати інформацію про земельні ділянки, їхнє використання та правовий статус, а також забезпечує базу для раціонального управління міськими територіями.

Визначено сутність і значення інвентаризації земель населених пунктів, вивчено основи геодезичного забезпечення інвентаризації земель населених пунктів, проаналізовано методи геодезичного забезпечення інвентаризації земель. Теоретичний аналіз підтвердив, що ефективна інвентаризація земель можлива лише за умови комплексного підходу до її геодезичного забезпечення. Інтеграція сучасних методів вимірювань і аналізу даних дозволяє вирішувати задачі, пов'язані з уточненням меж ділянок, оновленням кадастрових записів і підтриманням сталого розвитку міських територій. Для міста Чернівці, яке характеризується унікальним поєднанням історичної забудови і сучасних потреб, це особливо актуально, адже саме геодезичні методи забезпечують надійну базу для управління землею та містобудівного планування.

РОЗДІЛ 2 Сучасні технології геодезичного забезпечення інвентаризації міських земель

2.1 Використання GNSS-технологій у міській інвентаризації земель

GNSS (Global Navigation Satellite System) – це сукупність супутникових навігаційних систем, що дозволяють визначати точні координати об'єктів на земній поверхні. У сучасній геодезії GNSS-технології широко застосовуються для виконання різноманітних вимірювальних робіт, включаючи інвентаризацію земель у межах міських територій. Використання GNSS у міських умовах вимагає специфічного підходу через низку факторів, що впливають на якість прийому сигналу, таких як висотні будівлі, щільна забудова та інженерні перешкоди.

Сучасні GNSS-системи базуються на використанні супутників, що обертаються навколо Землі та передають сигнали, які містять інформацію про час і місце знаходження супутника. Приймач GNSS отримує ці сигнали і обчислює координати об'єкта на основі принципу тріангуляції, визначаючи відстань до супутників за часом проходження сигналу.

GNSS-технології (Global Navigation Satellite System) стали критично важливими для точних геодезичних вимірювань, особливо в умовах міської інвентаризації земель. Завдяки цим технологіям можна швидко й точно визначити координати меж земельних ділянок, створювати карти міських територій і забезпечувати актуальність просторових даних для містобудівного планування. Однак використання GNSS у міських умовах має свої специфічні виклики і вимагає спеціальних підходів[2].

GNSS-системи включають кілька основних компонентів:

Супутниковий сегмент - супутники, що обертаються навколо Землі і передають навігаційні сигнали. До найпоширеніших систем належать GPS (США), Galileo (Європа) та BeiDou (Китай). Супутники GNSS розташовані на висоті близько 20 000 км над поверхнею Землі і забезпечують глобальне покриття. Кожен супутник передає сигнали на частотах, що дозволяють приймачам визначати їх положення у просторі.

GPS (Global Positioning System) це американська система, найпоширеніша у світі. Складається з 31 супутника і забезпечує глобальне покриття. Широко

використовується для геодезичних робіт, але може стикатися з проблемами мультипату у міських умовах.

Galileo це європейська система, яка забезпечує високу точність і стабільність сигналів. Вважається однією з найточніших завдяки використанню більш сучасних технологій.

BeiDou це китайська система, яка швидко розвивається і пропонує точні сигнали, особливо у країнах Азії та Тихоокеанського регіону.

Система	Кількість супутників	Точність середня	Переваги	Недоліки
GPS	31	5-10 м (базово)	Глобальне покриття, стабільність	Вразливість до мультипату
Galileo	24	1-5 м	Висока точність, сучасні технології	Ще не повністю розгорнута
BeiDou	35	2-10 м	Добре покриття в Азії	Обмежена поширеність у Європі

Таблиця 2.1 Порівняння систем[5]

Наземний сегмент - станції управління, що відстежують положення супутників, коригують їх орбіти і забезпечують синхронізацію сигналів. Включає станції управління, які стежать за станом супутників, підтримують їх точні орбіти та синхронізують сигнали. Наприклад, для системи GPS це мережа наземних станцій, розташованих по всьому світу.

Споживчий сегмент - GNSS-приймачі, які приймають сигнали від супутників і обчислюють координати точки з використанням методів тріангуляції. Сюди належать GNSS-приймачі, які використовуються геодезистами для вимірювань. Приймачі можуть бути ручними або встановленими на спеціальних транспортних засобах.

GNSS-приймач обробляє сигнали від щонайменше чотирьох супутників, щоб визначити своє положення в просторі (координати X, Y, Z) та точний час. Ці дані використовуються для обчислення геодезичних параметрів, які необхідні для точного визначення меж земельних ділянок у міських умовах.

Для обчислення трьох координат (X, Y, Z) і часу приймач має отримати сигнали щонайменше від чотирьох супутників, це називається тріангуляція. Тріангуляція дозволяє визначити точне місце розташування приймача у просторі.

Оскільки сигнали GNSS подорожують із супутника до Землі зі швидкістю світла, навіть невеликі затримки можуть вплинути на точність обчислень. Для усунення цих похибок застосовуються спеціальні алгоритми корекції.

Міське середовище створює унікальні виклики для використання GNSS-технологій, зокрема це мультипат, сигнали якого можуть відбиватися від будівель і споруд, створюючи помилкові шляхи для приймача. Це особливо помітно на вузьких вулицях і в оточенні висотних будівель. Також є затінення сигналу, в цьому випадку високі споруди або природні перешкоди можуть блокувати супутникові сигнали, зменшуючи кількість видимих супутників і ускладнюючи обчислення координат.

Атмосфера Землі також впливає на точність GNSS-сигналів, створюючи додаткові похибки, що називаються іоносферні та тропосферні спотворення.

Для усунення впливу міського середовища використовують:

Багатоканальні приймачі - приймачі з підтримкою всіх доступних GNSS-систем (GPS, Galileo, BeiDou) забезпечують більш стабільне приймання сигналів навіть у складних умовах.

Покращення алгоритмів обробки даних - сучасні приймачі використовують алгоритми фільтрації, які дозволяють усувати похибки, спричинені мультипатом і спотвореннями сигналів.

Інтеграція з іншими технологіями - у міських умовах GNSS може комбінуватися з іншими методами, такими як лазерне сканування або інерціальні системи (INS), для забезпечення максимальної точності.

Для забезпечення високої точності вимірювань у міських умовах застосовуються спеціальні методи корекції та обробки даних:

Використання RTK (Real-Time Kinematic) - метод, що забезпечує точність до 2-3 см у реальному часі. Він базується на передачі корекційних даних від базової станції до мобільного приймача через радіосигнал або Інтернет[1].

У багатьох містах створені мережі постійно діючих базових станцій, які забезпечують високу точність координат. Ці мережі значно підвищують якість GNSS-вимірювань і дозволяють зменшити похибки до кількох сантиметрів.

РРК (Post-Processed Kinematic) - метод післяобробки, коли дані обробляються після вимірювань для досягнення високої точності. Це зменшує залежність від реального часу і дозволяє коригувати помилки, викликані мультипатом або затемненням сигналу.

Використання мережі базових станцій - у багатьох містах створені мережі постійно діючих базових станцій, які забезпечують стабільну передачу корекційних даних. Це дозволяє знизити вплив локальних помилок і підвищити точність вимірювань.

Інтеграція GNSS із іншими методами - у складних умовах GNSS можна комбінувати з тахеометрією або лазерним скануванням для забезпечення найвищої точності.

Також є додаткові методи покращення точності GNSS-вимірювань, це використання фільтрів Калмана, де алгоритми фільтрації дозволяють згладжувати дані і усувати випадкові похибки у вимірюваннях. А також інтеграція з інерціальними системами навігації (INS), що використовується для підвищення точності у місцях, де сигнал GNSS блокується або спотворюється. INS використовує акселерометри та гіроскопи для обчислення місцезнаходження об'єкта.

Перевагами GNSS-технологій у міській інвентаризації є висока швидкість збору даних, де GNSS-приймачі дозволяють швидко обстежувати великі території, що значно прискорює процес інвентаризації.

Також автоматизація обробки даних, де сучасне програмне забезпечення дозволяє автоматично обробляти зібрані дані, створюючи готові карти та геодезичні звіти. Також вагомою перевагою є можливість роботи в будь-який час, GNSS-системи працюють незалежно від часу доби, що зручно для вимірювань у різних умовах.

Що стосується обмежень, то тут треба виділити залежність від якості супутникового сигналу, у щільно забудованих районах точність GNSS-вимірювань може значно знижуватися через перешкоди. Також перешкодою може стати висока

вартість обладнання, адже професійні GNSS-приймачі та RTK-системи мають значну вартість, що може бути проблемою для невеликих організацій[6].

Ну і обмеження в складних умовах місцевості, у лісах, серед висотних будівель або в глибоких ущелинах сигнал супутників може бути недоступним або сильно спотвореним.

Прикладами застосування GNSS у міській інвентаризації є: Інвентаризація парків і скверів - GNSS-технології використовуються для визначення меж територій зелених насаджень, що дозволяє створити точні карти міських парків та зон відпочинку.

Облік транспортної інфраструктури - визначення координат доріг, мостів та перехресть із використанням GNSS сприяє створенню актуальних карт транспортних мереж.

Кадастрові роботи - GNSS-приймачі використовуються для обстеження меж земельних ділянок у містах, що дозволяє актуалізувати кадастрові дані та зменшити кількість земельних спорів.

Метод	Точність	Швидкість збору даних	Обмеження	Застосування
Статичний метод	До 1 мм	Низька	Тривалі вимірювання	Створення опорних мереж
RTK	2-3 см	Висока	Потреба в корекціях	Інвентаризація земель
PPK	2-5 см	Середня	Післяобробка даних	Корекція у складних умовах

Таблиця 2.3 Порівняння методів GNSS-вимірювань у міських умовах[2]

Практичні приклади використання GNSS у міських умовах:

У мегаполісі Токіо застосовують GNSS-системи з підтримкою RTK для моніторингу будівництва та оновлення кадастрових карт. Високий рівень забудови вимагав створення щільної мережі базових станцій, що дозволяє забезпечити стабільний прийом сигналів у будь-якій частині міста.

У Нью-Йорку використовують GNSS-приймачі для створення тривимірних моделей транспортних мереж. Інтеграція GNSS із лазерним скануванням дозволяє створювати точні моделі тунелів і мостів, що спрощує планування ремонтних робіт.

Міська влада Берліна застосовує GNSS-технології для точного обліку територій зелених насаджень. Завдяки RTK-приймачам можна швидко оновлювати карти міських парків і проводити моніторинг змін.

Місто	Проект	Використання технології	Досягнута точність
Токіо	Моніторинг будівництва, кадастр	RTK, мультиконстеляційні приймачі	1-2 см
Нью-Йорк	Моделювання транспортної інфраструктури	GNSS + лазерне сканування	5 см (3D-моделі)
Берлін	Інвентаризація парків і зелених зон	RTK-приймачі	2-3 см

Таблиця 2.2 Приклади використання GNSS у містах[4]

Для інвентаризації земельних ділянок у місті Чернівці використовуються GNSS-приймачі з підтримкою RTK. Це дозволяє отримувати точні координати меж ділянок у реальному часі, навіть у густо забудованих районах. Наприклад, інвентаризація міських парків і скверів виконується за допомогою мобільних GNSS-систем, що забезпечує оперативність і точність вимірювань.

Незважаючи на переваги, GNSS-технології мають і свої обмеження, адже є проблеми з прийомом сигналу. У міських умовах, особливо серед висотних будівель, прийом сигналу може бути сильно обмежений. Для подолання цієї проблеми використовуються системи корекції, а саме базові станції RTK забезпечують передачу коригуючих сигналів, що дозволяє підвищити точність координат. Також застосування дронів допомагає для аерофотозйомки місцевості та збору додаткових даних, які можуть бути інтегровані з GNSS.

Існує і залежність від зовнішніх умов, а саме погодні умови (туман, дощ) і магнітні бурі можуть впливати на якість сигналу. У таких випадках вимірювання можуть переноситися або доповнюватися іншими методами.

Сучасні тенденції розвитку GNSS-технологій передбачають підвищення точності вимірювань і розширення можливостей використання в міських умовах. Розробка нових алгоритмів для усунення впливу мультипатів, створення потужніших приймачів із багатоканальною підтримкою всіх супутникових систем, а також розвиток інфраструктури базових станцій забезпечать ще більшу надійність вимірювань у майбутньому.

Фактор	Опис	Вплив на вимірювання	Методи усунення
Мультипат	Відбивання сигналів від будівель	Похибки у визначенні координат	Алгоритми фільтрації, PPK
Затінення сигналу	Блокування сигналів спорудами	Зменшення кількості супутників	Інтеграція з INS, комбіновані методи
Іоносферні спотворення	Спотворення сигналів у іоносфері	Помилки у розрахунках	Застосування моделей корекції

Таблиця 2.4 Вплив міських факторів на точність GNSS-вимірювань[5]

Розвиток GNSS-технологій не стоїть на місці, у найближчі роки очікується:

- Збільшення кількості супутників - це підвищить стабільність сигналу навіть у густо забудованих містах.
- Покращення алгоритмів корекції - нові програмні рішення зможуть ефективніше усувати мультипат і інші похибки.
- Інтеграція з 5G - використання технологій 5G дозволить забезпечити ще більш точне позиціонування за рахунок комбінування супутникових даних з інформацією від стільникових базових станцій.

Використання GNSS-технологій у міській інвентаризації земель відкриває нові можливості для ефективного управління просторовими даними. Сучасні методи корекції та інтеграції з іншими геодезичними технологіями дозволяють досягти високої точності навіть у складних умовах міського середовища. Однак подальший

розвиток технологій залишається актуальним завданням для забезпечення ще кращих результатів у майбутньому.

2.2 Інженерна фотограмметрія для збору даних інвентаризації

Інженерна фотограмметрія – це метод отримання просторової інформації про об'єкти за допомогою аналізу фотознімків, зроблених з різних позицій. У контексті інвентаризації міських земель фотограмметрія дозволяє отримати високоточні зображення місцевості, на основі яких можна визначати координати точок, обсяги об'єктів, площі ділянок і створювати тривимірні моделі.

Фотограмметрія є ефективним методом збору просторових даних, який використовується як у польових, так і в камеральних роботах. Завдяки сучасним фотограмметричним методам можна досягти високої точності вимірювань і знизити витрати на проведення інвентаризаційних робіт.

Основою фотограмметрії є використання знімків об'єктів або місцевості, які отримують з різних ракурсів, для побудови просторових моделей.

Інженерна фотограмметрія – це метод отримання геопросторових даних та точних координат об'єктів на основі знімків, зроблених із різних точок. Її принцип ґрунтується на застосуванні стереопари фотографій (зображень одного і того ж об'єкта, зроблених з різних позицій), що дозволяє обчислювати тривимірне положення точок у просторі. Це робить фотограмметрію надзвичайно корисною для збору інформації про великі території, зокрема міські райони, з детальним обліком різноманітних об'єктів та елементів інфраструктури[11].

Фотограмметрія базується на геометричних закономірностях і включає кілька ключових принципів:

Закон тріангуляції - це основний принцип фотограмметрії, який дозволяє визначити координати точок на місцевості. Тріангуляція використовує трикутну форму та стереозображення для обчислення просторових координат. Для цього необхідно зробити два і більше знімків одного об'єкта з різних позицій, щоб виміряти відстань між точками на зображенні і розрахувати їх точне положення в просторі.

Стереоскопічний ефект - стереопари фотографій створюють стереоефект, який дозволяє побачити глибину і тривимірну структуру об'єктів. Це досягається завдяки

тому, що кожне зображення має трохи інший кут огляду на об'єкт (так само, як наші очі бачать об'єкти з різних ракурсів). Для обробки стереопар використовують спеціальні стереоскопічні прилади або програмне забезпечення.

Математична трансформація координат - щоб привести отримані дані у відповідність до реальних координат, використовують геодезичну систему відліку. Визначення координат точок на зображеннях передбачає переведення їх з координатних систем камер у глобальні або локальні системи координат.

Процес інженерної фотограмметрії складається з кількох етапів, кожен з яких має свої особливості: Планування та вибір знімального обладнання - першим кроком є вибір методів зйомки (аерофотозйомка, наземна фотограмметрія або зйомка з БПЛА), а також визначення характеристик камери, які забезпечать необхідну точність знімків. На цьому етапі розробляється маршрут зйомки та визначаються точки, з яких будуть зроблені фотографії[7].

Зйомка об'єкта – залежно від типу фотограмметрії, зйомка може проводитись із землі (наземна фотограмметрія), з повітря (аерофотозйомка) або навіть із космосу (супутникова зйомка). Основною умовою є те, що кожна точка місцевості повинна бути зафіксована на кількох зображеннях, щоб забезпечити можливість стереоскопічного аналізу.

Обробка зображень та геометрична корекція - обробка фотограмметричних даних здійснюється за допомогою програмного забезпечення, яке дозволяє:

- Скоригувати зображення для усунення спотворень.
- Визначити спільні точки на стереопарах (ідентичні точки на двох різних знімках) та обчислити їх координати.
- Виконати геометричну корекцію, щоб привести зображення у відповідність до геопросторових координат місцевості.

Стереометрика - цей етап передбачає використання стереопар для точного вимірювання координат точок і висот об'єктів. У процесі стереометрії обчислюються відстані, площі та об'єми об'єктів, що важливо для картографічних та кадастрових завдань.

Побудова цифрових моделей - на основі оброблених даних створюються цифрові моделі рельєфу (ЦМР) і цифрові моделі поверхні (ЦМП), які відображають рельєф і об'єкти на поверхні землі. Такі моделі дозволяють отримати точні дані про висоту будівель, рівень рельєфу та інші характеристики об'єктів міського середовища.

Аналіз та візуалізація даних - завершальним етапом є візуалізація отриманих моделей, наприклад, у вигляді ортофотопланів, 3D-моделей та картографічних матеріалів. Ці матеріали можуть використовуватись для оцінки стану забудови, планування нових об'єктів або оновлення кадастрової інформації.

Залежно від типу зйомки та масштабу території, фотограмметрію поділяють на декілька видів: аерофотограмметрія, наземна фотограмметрія, космічна фотограмметрія.

Аерофотограмметрія використовується для великих територій і включає зйомку з літаків або дронів на висоті. Знімки охоплюють великі ділянки землі, що дозволяє створювати карти, ортофотоплани і цифрові моделі для цілих міст або районів. Наземна фотограмметрія для зйомки окремих об'єктів або обмежених територій. Вона забезпечує високу деталізацію і застосовується для картографування фасадів будівель, об'єктів інфраструктури та культурної спадщини, а космічна фотограмметрія виконується із супутників і забезпечує глобальне покриття. Хоча точність цього методу обмежена, він є корисним для загальних кадастрових робіт та моніторингу великих площ[7].

Щодо застосування фотограмметрії у міських умовах, то вона широко застосовується для розв'язання завдань міської інвентаризації, зокрема для оцінки міської забудови, картографування інфраструктури, а також аналізу рельєфу та ландшафту.

За допомогою фотограмметрії можна отримувати точні дані про висоту, форму та розміщення будівель. Це корисно для контролю за дотриманням будівельних норм і моніторингу стану забудови. Фотограмметрія дозволяє отримувати точні зображення транспортної інфраструктури, мостів, естакад та інших об'єктів, що полегшує їх моніторинг та планування ремонтних робіт. З використанням цифрових

моделей рельєфу можливо проводити аналіз географічних характеристик території, визначати зони затоплення, планувати проекти благоустрою.

Інженерна фотограмметрія пропонує кілька видів зйомки, кожна з яких адаптована до різних умов та цілей збору даних. У міських умовах вибір конкретного методу залежить від завдань інвентаризації, масштабу території, технічних характеристик обладнання і вимог до точності.

Аерофотозйомка – це метод отримання знімків із повітря, зазвичай з літальних апаратів (літаків або дронів), що летять на певній висоті. Вона є одним із найпоширеніших способів фотограмметрії, оскільки дозволяє охоплювати великі території з високою роздільною здатністю, що є важливим для точного картографування міських ділянок.

Є декілька видів такої зйомки: висотна аерофотозйомка - виконується з літаків або гелікоптерів, що летять на великій висоті (до кількох тисяч метрів). Цей метод забезпечує широке охоплення території і застосовується для створення загальних карт, ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу (ЦМР).

Перевагами такого методу є охоплення великих площ за короткий час, висока роздільна здатність. А недоліками є дорожнеча зйомки та обмеження у низьких висотах, що зменшує деталізацію зображень.

Безпілотна аерофотозйомка - виконується з безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема дронів. Цей метод є популярним у міських умовах завдяки маневреності дронів та їхній здатності знімати з низьких висот.

Перевагами є можливість детального обстеження об'єктів, доступ до важкодоступних зон, висока роздільна здатність знімків. Недоліками є залежність від погодних умов, обмеження в зоні польотів (особливо поблизу аеропортів та важливих інфраструктурних об'єктів).

Безпілотна аерофотозйомка забезпечує високу деталізацію, що дозволяє створювати цифрові моделі поверхні (ЦМП) та тривимірні моделі об'єктів, таких як будівлі та інші інфраструктурні об'єкти. Цей метод широко застосовується для інвентаризації міських зон відпочинку, зелених зон і навіть дає можливість вимірювати об'єми будівель та споруд.

Що ж стосується наземної фотограмметрії, то вона використовується для обстеження об'єктів із рівня землі, що дозволяє забезпечити високу деталізацію та точність зйомки на обмежених територіях. Це особливо корисно для інвентаризації фасадів будівель, об'єктів культурної спадщини та окремих інфраструктурних елементів у міських умовах[10].

Тут також є декілька видів, а саме: об'єктна фотограмметрія - застосовується для детальної зйомки будівель або інших міських об'єктів. Камери встановлюються на землі, і зйомка проводиться з кількох позицій, що дозволяє створити детальні 3D-моделі об'єктів.

Перевагами є висока точність і деталізація, можливість обстеження окремих об'єктів з різних кутів. Недоліками є обмежене охоплення, залежність від освітлення.

Фасадна фотограмметрія - використовується для обстеження вертикальних поверхонь, таких як стіни будівель. Цей метод дозволяє створювати точні моделі фасадів для подальшого аналізу і планування ремонтних або реставраційних робіт.

Перевагами є висока деталізація, можливість точного визначення геометрії будівельних елементів. Недоліками є залежність від погодних умов, потреба в додатковому обладнанні для зйомки з висоти.

Для прикладу у місті Чернівці наземна фотограмметрія використовується для обліку об'єктів культурної спадщини, де необхідна точність у фіксації архітектурних деталей.

Ще є космічна фотограмметрія, що здійснюється за допомогою супутників, які знімають земну поверхню з орбіти. Цей метод дозволяє охоплювати надзвичайно великі території і використовується для створення картографічних матеріалів, аналізу змін ландшафту та моніторингу великих міських площ[7].

Є два види космічної фотограмметрії: планетарна зйомка - виконується супутниками, що обертаються навколо Землі на великій висоті (від 300 км і більше). Цей метод корисний для моніторингу загальних тенденцій у розвитку міської інфраструктури та визначення великих змін у використанні земельних ресурсів.

Перевагами є глобальне охоплення, можливість моніторингу території в динаміці, висока частота оновлення даних. Недоліками є обмежена точність,

залежність від роздільної здатності супутника, що може бути недостатньою для детального міського аналізу.

Радіолокаційна космічна зйомка - використовує спеціальні радіолокаційні прилади на супутниках, які дозволяють створювати зображення поверхні землі навіть у темний час доби та за поганих погодних умов.

Перевагами є незалежність від освітлення, можливість зйомки під час хмарної погоди, детальна структура рельєфу. Недоліками є складність у обробці даних, менша деталізація в порівнянні з оптичними методами.

Кожен тип фотограмметрії має своє специфічне застосування у міському середовищі, оскільки він адаптований до особливих вимог зйомки та обробки. У міських умовах ці методи часто комбінуються для досягнення максимальної точності.

Наприклад:

- Наземна фотограмметрія використовується для обстеження будівель та об'єктів інфраструктури, де важлива висока деталізація.
- Аерофотозйомка з дронів дозволяє створювати ортофотоплани територій, аналізувати зелені насадження та планувати території.
- Космічна фотограмметрія використовується для моніторингу змін у місті, аналізу розширення забудови та визначення зон, що потребують покращення інфраструктури.

Тип зйомки	Переваги	Недоліки
Аерофотозйомка	Швидке охоплення великих територій, висока роздільна здатність	Залежність від погодних умов, вартість
Наземна фотограмметрія	Висока деталізація, точність	Обмежене охоплення, залежність від освітлення
Космічна фотограмметрія	Глобальне покриття, моніторинг у динаміці	Обмежена деталізація, висока вартість

Таблиця 2.5 Переваги та недоліки кожного типу фотограмметричної зйомки[7]

Потрібно згадати і застосування БПЛА у фотограмметрії для інвентаризації міських земель. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), або дрони, стали невід'ємним інструментом для збору просторових даних у міських умовах завдяки своїй

маневреності, можливості знімати з різних висот і забезпечувати високу роздільну здатність знімків. Використання дронів для фотограмметричної зйомки дозволяє точно інвентаризувати земельні ділянки, будівлі, інфраструктуру та інші міські об'єкти.

БПЛА забезпечують зйомку об'єктів за допомогою камер високої роздільної здатності, встановлених на безпілотноїках. Отримані знімки обробляються в програмному забезпеченні, де вони перетворюються на тривимірні моделі, ортофотоплани, цифрові моделі поверхні та рельєфу. Кожне зображення містить інформацію про координати зйомки, що дозволяє точно поєднати його з іншими даними та створити детальну карту місцевості.

Існує декілька видів зйомок за допомогою БПЛА для інвентаризації міських земель: Ортофотозйомка - передбачає отримання серії знімків з фіксованою висотою та обробку їх для створення ортофотоплану, який є точною картою з географічно коректними масштабами. Це забезпечує детальний вигляд території з вертикальної перспективи. Використовується для картографування парків, громадських зон, забудованих ділянок та об'єктів інфраструктури.

Нахилена зйомка (*oblique photography*) - дрони знімають об'єкти під різними кутами, що дозволяє отримати більше інформації про фасади будівель і структуру об'єктів. Нахилена зйомка особливо корисна для створення тривимірних моделей будівель і аналізу фасадів. Це важливо для контролю за станом будівель, культурної спадщини та планування ремонтних робіт.

Панорамна зйомка - дрон облітає територію, знімаючи з різних точок для створення панорамних знімків місцевості. Панорамна зйомка дозволяє отримати загальний огляд території та оцінити взаємне розташування об'єктів. Використовується для загального моніторингу території та аналізу рельєфу.

Термографічна зйомка - деякі дрони оснащені тепловізійними камерами, що дозволяє фіксувати температурні зміни на поверхні об'єктів. Використовується для виявлення теплових витоків із будівель, моніторингу енергетичної ефективності будівель і оцінки стану дахів.

Існує декілька типів обладнання та програмного забезпечення для роботи з БПЛА. До обладнання входять – мультикоптери, що використовуються для зйомок на відносно невеликій висоті та мають високу маневреність. Вони забезпечують стабільну платформу для зйомки і дозволяють отримувати деталізовані знімки[12].

Фіксовані крила, такі дрони можуть охоплювати більші території за один політ, але мають обмежену маневреність і підходять для зйомок великих площ.

Камери високої роздільної здатності - камери на дронах забезпечують високу якість зображень, що необхідно для фотограмметрії. Деякі моделі оснащуються камерами з роздільною здатністю до 48 Мп. А також GPS та RTK модулі це системи глобального позиціонування дозволяють отримувати точні координати знімків, що критично важливо для зйомок високої точності.

До програмного забезпечення для обробки фотограмметричних даних входять:

Pix4D – це програмний пакет, що дозволяє обробляти знімки, отримані з БПЛА, для створення тривимірних моделей, ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу. Pix4D пропонує інструменти для вимірювання площ і об'ємів.

Agisoft Metashape, що забезпечує обробку зображень та побудову тривимірних моделей з високою точністю. Використовується для детальної інвентаризації земель та будівель. Та DroneDeploy -це хмарний сервіс для обробки фотограмметричних знімків, що пропонує інструменти для створення карт та 3D-моделей. Підтримує автоматичну побудову карт у реальному часі.

Категорія	Опис
Переваги	
Швидкість збору даних	Дрони можуть обстежувати великі території за короткий час, що пришвидшує проведення інвентаризаційних робіт, особливо у великих містах.
Висока роздільна здатність	Камери на дронах забезпечують знімки високої якості, що дозволяє отримувати деталізовані дані про міські об'єкти.
Доступ до важкодоступних зон	БПЛА можуть обстежувати дахи, мости та інші об'єкти, які важко оглянути наземними методами.
Можливість автоматизації	Дрони можуть виконувати запрограмовані маршрути, що підвищує точність та зручність проведення вимірювань.

Обмеження	
Залежність від погодних умов	БПЛА не можуть працювати під час сильного вітру, дощу або снігопаду, що може ускладнити процес зйомки або призупинити його.
Обмеження в зоні польотів	У містах існують зони, де польоти дронів обмежені або заборонені (поблизу аеропортів, військових об'єктів), що вимагає спеціальних дозволів.
Висока вартість обладнання	Професійні дрони та програмне забезпечення для фотограмметрії мають значну вартість, що може бути суттєвою інвестицією для організацій.
Потреба у кваліфікованих кадрах	Для управління дронами та обробки фотограмметричних даних потрібні навички, що вимагає додаткових ресурсів на навчання персоналу.
Приклади використання	
Інвентаризація зелених зон	Облік парків, скверів, алей із використанням БПЛА для створення точних карт, оцінки площі територій та моніторингу стану зелених насаджень.
Обстеження інфраструктури	Використання дронів для обстеження мостів, доріг, естакад та інших об'єктів інфраструктури, щоб оцінити їхній стан і планувати ремонтні роботи.
Створення ортофотопланів	Знімки з БПЛА застосовуються для створення ортофотопланів, які використовуються для планування забудови та оновлення кадастрових даних.
Моніторинг будівельних робіт	Дрони фіксують прогрес будівельних робіт, що дозволяє оцінювати відповідність проєктним планам і відстежувати виконання робіт у реальному часі.

Таблиця 2.6 Переваги, обмеження та приклади використання БПЛА у фотограмметрії для інвентаризації міських земель[9]

Інженерна фотограмметрія – це потужний інструмент, що дозволяє з високою точністю та деталізацією проводити обстеження об'єктів і територій у містах. Вона використовується для збору просторових даних про земельні ділянки, будівлі, інфраструктурні об'єкти та інші елементи міської забудови. Однак, як і будь-яка

технологія, фотограмметрія має як свої переваги, так і обмеження, які необхідно враховувати при її застосуванні в міських умовах.

Перевагами інженерної фотограмметрії у міських умовах є:

Висока точність і деталізація - фотограмметрія дозволяє отримувати знімки з високою роздільною здатністю, що забезпечує детальне відображення об'єктів міської інфраструктури, будівель і ландшафту.

Використання стереопар дозволяє побудувати тривимірні моделі об'єктів і визначити їхні точні координати та геометричні параметри, що важливо для інвентаризації, кадастрових робіт та містобудівного планування. Детальні знімки та тривимірні моделі можуть слугувати основою для складання карт, планів забудови та аналізу стану будівельних конструкцій.

Швидкість і ефективність збору даних - фотограмметрія значно прискорює процес обстеження територій, особливо коли використовується аерофотозйомка за допомогою дронів або літаків.

У міських умовах, де великі площі та складні об'єкти, фотограмметрія дозволяє зібрати велику кількість даних за короткий час і швидко отримати необхідну інформацію для подальшої обробки та аналізу. БПЛА можуть виконувати автоматизовані маршрути, що дає можливість покривати великі території або важкодоступні зони.

Створення тривимірних моделей - тривимірні моделі, побудовані на основі фотограмметричних даних, є важливими для інвентаризації, оскільки дозволяють оцінити об'єм та структуру міських об'єктів, аналізувати фасади будівель і інші вертикальні елементи. Такі моделі застосовуються для моделювання нових об'єктів у міському просторі, планування реконструкцій і перевірки відповідності будівельним нормам[13].

Актуальність і можливість оновлення даних - фотограмметричні знімки можна легко оновлювати, знімаючи територію знову через певний проміжок часу. Це дозволяє стежити за змінами міської забудови, фіксувати нові об'єкти, проводити контроль за станом зелених зон та інфраструктури. Для великих міст це забезпечує

актуальність кадастрових даних і дає можливість швидко реагувати на зміни в міському середовищі.

Але є і обмеження інженерної фотограмметрії у міських умовах, а саме:

Залежність від погодних умов і освітлення - якість фотограмметричних знімків залежить від погодних умов і рівня освітлення. Дощ, туман, сильний вітер і недостатнє освітлення можуть погіршити якість зображень і знизити точність вимірювань. У деяких випадках зйомки доводиться переносити, що може впливати на строки проєктів та ефективність процесу.

Перешкоди у міському середовищі - щільна міська забудова створює перешкоди для фотограмметричної зйомки. Високі будівлі, вузькі вулиці і різні архітектурні особливості можуть ускладнювати отримання повноцінних знімків. Перешкоди на шляху світлових променів можуть створювати ефект мультипату (відбиття сигналу від різних поверхонь), що може спотворювати результати вимірювань.

Висока вартість обладнання та програмного забезпечення – для проведення фотограмметричної зйомки необхідно мати спеціалізоване обладнання (дрони, камери високої роздільної здатності) та програмне забезпечення для обробки знімків і створення тривимірних моделей. Обладнання для фотограмметрії та ліцензовані програми можуть мати високу вартість, що може бути недоступним для невеликих організацій або місцевих громад.

Потреба у висококваліфікованих спеціалістах - для виконання фотограмметричної зйомки та обробки отриманих даних потрібні навички і досвід у роботі з обладнанням та програмним забезпеченням. Неправильна обробка або аналіз даних може призвести до помилок, які вплинуть на точність інвентаризації та кадастрових даних.

Обмеження в зоні польотів дронів - використання дронів у міських умовах обмежується регуляторними нормами, що забороняють польоти поблизу аеропортів, військових об'єктів, важливих інфраструктурних споруд. Для проведення зйомки можуть знадобитися спеціальні дозволи[25].

Такі обмеження можуть обмежувати застосування фотограмметрії у деяких зонах міста, що впливає на повноту даних.

Категорія	Переваги	Обмеження
Точність та деталізація	Висока роздільна здатність знімків, що забезпечує детальне відображення міських об'єктів та інфраструктури.	У щільно забудованих районах можуть виникати перешкоди, що ускладнює отримання повноцінних знімків.
Швидкість збору даних	Прискорює процес інвентаризації, забезпечує можливість обстеження великих територій за короткий час.	Залежність від погодних умов і освітлення, що може впливати на якість знімків та строки виконання робіт.
Тривимірне моделювання	Можливість створення 3D-моделей, що важливо для містобудівного планування, реконструкцій та аналізу будівельних конструкцій.	Вимагає спеціального програмного забезпечення та досвіду у його використанні для точного оброблення даних.
Актуальність даних	Легке оновлення даних для моніторингу міських територій, можливість швидкого реагування на зміни у забудові та інфраструктурі.	Потреба у кваліфікованих спеціалістах для управління зйомкою і обробкою даних.
Вартість обладнання	БПЛА дозволяють швидко оновлювати дані, що підвищує ефективність роботи у великих містах.	Висока вартість обладнання та програмного забезпечення, що може бути недоступним для багатьох організацій.
Обмеження зон польотів	Надає можливість інвентаризації важкодоступних зон і елементів інфраструктури, як-от мости та дахи будівель.	У деяких міських районах заборонено використовувати дрони без спеціальних дозволів, що може обмежувати збір даних у певних зонах.

Таблиця 2.7 Переваги та обмеження інженерної фотограмметрії у міських умовах[22]

Висновки до 2 розділу

Було детально розглянуто практичні аспекти геодезичного забезпечення інвентаризації земель міста Чернівці, зокрема акцентовано увагу на використанні сучасних технологій збору і обробки даних. А саме було розкрито роль GNSS-технологій у міській інвентаризації земель, вивчено можливості інженерної фотограмметрії для збору даних, проаналізовано ефективність лазерного сканування, виокремлено особливості комбінованого використання методів збору даних. Практичний аналіз підтвердив, що сучасні геодезичні технології є важливим інструментом для проведення інвентаризації земель у містах, таких як Чернівці. Використання GNSS-приймачів, фотограмметрії та лазерного сканування дає змогу ефективно вирішувати завдання інвентаризації в умовах різноманітного рельєфу, щільної забудови та наявності об'єктів культурної спадщини. Інтеграція цих методів забезпечує точність і оперативність робіт, що є основою для створення сучасної кадастрової системи і планування міського розвитку.

РОЗДІЛ 3 Геодезичне забезпечення інвентаризації земель м. Чернівці

3.1 Проектування опорної геодезичної мережі для інвентаризації

Опорна геодезична мережа є основою для проведення інвентаризації земель та забезпечення високої точності геодезичних вимірювань на території міста Чернівці. Мета такої мережі – створення системи координат, яка слугуватиме основою для виконання зйомок, побудови меж земельних ділянок, а також оновлення кадастрових даних.

Опорна мережа гарантує, що кожен об'єкт міської території можна прив'язати до єдиної системи координат, що забезпечує точність, достовірність і можливість об'єднання даних з різних джерел. Важливою особливістю опорної мережі для інвентаризації земель є можливість її використання у межах міста, де потрібно забезпечити стабільність і доступність геодезичних пунктів.

Проектування опорної геодезичної мережі включає кілька ключових етапів:

1. Аналіз території та попереднє планування:
2. Вибір типу опорної мережі
3. Визначення точності та технічних параметрів мережі
4. Закладення і маркування точок
5. Збір і обробка даних
6. Контроль і верифікація мережі

На першому етапі здійснюється підготовчий аналіз території, щоб визначити оптимальне розташування точок мережі з урахуванням місцевих умов. У рамках цього етапу проводяться такі роботи:

Аналіз топографічних та кадастрових матеріалів - вивчаються існуючі карти, плани, дані геодезичних зйомок і кадастрових меж для розуміння структури території.

Оцінка рельєфу та міських об'єктів - важливо врахувати рельєф, наявність висотних будівель, густоту забудови, транспортні артерії та інші об'єкти, які можуть впливати на точність вимірювань і доступ до точок мережі[21].

Визначення зони покриття та кількості точок - визначається, скільки точок потрібно для покриття всієї території міста, а також передбачаються можливі місця

розміщення точок для забезпечення рівномірного покриття та максимального охоплення мережі.

На другому етапі визначається найбільш доцільний тип геодезичної мережі для міських умов:

Полігонометрична мережа - найпоширеніший тип для міст, оскільки він забезпечує стабільність мережі за умов густої забудови. Полігонометрична мережа складається з точок, які формують багатокутники з чіткими лініями зв'язку між ними, що дозволяє легко контролювати і перевіряти мережу.

GNSS-мережа - якщо доступ до супутникових сигналів стабільний, використовують GNSS-приймачі. Сучасні GNSS-мережі дозволяють забезпечити високу точність, а також інтегруються з іншими системами для підтримання координатної бази у реальному часі.

Тріангуляційна мережа - використовується рідше через обмеження в міських умовах, але може бути застосована на відкритих міських ділянках або на околицях міста для розширення мережі.

Третій етап включає встановлення точних технічних вимог до мережі, зокрема:

Визначення необхідної точності - для міських інвентаризацій точність має бути високою (1-2 см для кожної точки). Це обумовлює вибір інструментів і методів обробки даних.

Вибір обладнання - залежно від точності, яка повинна бути досягнута, обираються GNSS-приймачі з підтримкою RTK (Real-Time Kinematic) для визначення координат у реальному часі або електронні тахеометри.

Встановлення параметрів лінійних і кутових вимірювань - наприклад, для полігонометричних мереж важливою є точність кутових вимірювань між точками, а також вимірювання лінійних відстаней між пунктами. У GNSS-мережах основна увага приділяється точності координатних розрахунків[17].

Четвертий етап передбачає фізичне розміщення та позначення точок опорної мережі на місцевості:

Закладення точок - точки опорної мережі розташовуються у місцях, де їх легко знайти, але де вони будуть захищені від випадкових пошкоджень. Зазвичай це бетонні або металеві маркери, встановлені на стабільних ділянках.

Маркування точок - кожна точка маркується за допомогою індивідуального номера і заноситься до реєстру, щоб забезпечити можливість її швидкого ідентифікування. Маркування також включає захисні конструкції, що оберігають точку від пошкоджень або переміщень.

Після розміщення точок здійснюються польові вимірювання для визначення точних координат кожної точки:

Використання GNSS-приймачів або електронних тахеометрів - GNSS-приймачі з функцією RTK дозволяють отримувати координати з високою точністю. У разі використання тахеометрів координати точок обчислюються шляхом вимірювання кутів і відстаней. Виконання кутових і лінійних вимірювань - У полігонометричних мережах важливо забезпечити точні вимірювання кутів між точками і відстаней між ними для точного розрахунку координат.

Реєстрація даних - усі вимірювання записуються в польові журнали або в електронному вигляді, що дозволяє зберігати інформацію про координати та параметри кожної точки мережі.

Шостий етап включає обробку вимірних даних за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення: корекція вимірювань - після збору даних застосовуються корекції, щоб усунути можливі похибки, викликані впливом атмосфери або місцевих перешкод. Розрахунок координат - проводиться обчислення координатних значень кожної точки з використанням отриманих польових даних. Для цього застосовуються програмні комплекси, такі як Trimble Business Center або Leica Infinity. Верифікація точності – обчислені координати перевіряються на відповідність необхідному рівню точності, що дозволяє виявити та усунути потенційні похибки[24].

А також контрольна перевірка мережі: контроль вимірювань - виконується повторна перевірка точок мережі, щоб впевнитися у відповідності даних вимогам проекту.

Систематичний моніторинг стану точок - оскільки геодезичні мережі у містах можуть піддаватися впливу зовнішніх чинників (будівельні роботи, погодні умови), необхідно здійснювати періодичну перевірку та підтвердження координат. Кінцеві дані вносяться до кадастрових і геодезичних баз даних, а всі документи по мережі зберігаються для подальшого використання.

Місто Чернівці, розташоване на схилах річки Прут, має складну топографічну та інфраструктурну структуру. Це обумовлює особливі вимоги до проектування геодезичної мережі, яка буде використовуватися для інвентаризації земель. Чернівці славляться значною історичною забудовою, що включає архітектурні пам'ятки, парки, сквери, а також сучасну інфраструктуру, яка потребує точного картографування та геодезичного обліку. Зважаючи на ці фактори, геодезичне забезпечення інвентаризації земель є важливим компонентом для оптимального управління міськими територіями.

Топографія Чернівців є різноманітною, місто охоплює як рівнинні, так і горбисті ділянки, що вимагає детального проектування опорної геодезичної мережі. Висотні коливання та рельєфні особливості впливають на точність та методологію вимірювань. Забудова міста також має специфічні характеристики – густота і висота будівель у центральних районах вимагають високої точності вимірювань, яку забезпечує полігонометрична мережа з короткими інтервалами між точками. На околицях міста, де рельєф менш складний і забудова менш щільна, можна застосовувати GNSS-мережі для розширення охоплення опорної системи.

Для забезпечення інвентаризації земель Чернівців доцільно використовувати комбіновану опорну мережу, яка включатиме:

1. Полігонометричні мережі для центральної частини міста, де щільна забудова та обмежений доступ до супутникових сигналів. Така мережа допоможе забезпечити надійну основу для кадастрових робіт і інвентаризації історичних будівель.
2. GNSS-мережі для окраїн міста та відкритих зон, що дозволить покрити більші території і зменшити витрати на встановлення додаткових точок у районах, де прийом супутникового сигналу стабільний.

Чернівці є центром Буковини і мають великий обсяг історичних і культурних об'єктів, що вимагає високої точності у визначенні координат. Тому точність опорної мережі повинна бути в межах 1-2 см. Застосування сучасних GNSS-приймачів з RTK-корекцією забезпечить стабільність і точність вимірювань для інвентаризаційних потреб. Також враховуються технічні параметри, такі як кутові та лінійні вимірювання для полігонометричних мереж, що є критичними для умов, де висотні будівлі та інші конструкції можуть викликати перешкоди.

Місто Чернівці, як і більшість історичних міст, має певні складнощі при проведенні геодезичних робіт: щільна забудова та обмежений доступ до відкритих територій. У центральних районах може бути складно знайти місця для розміщення опорних точок. Для вирішення цієї проблеми використовуються багаторусні точки (на будівлях) або мобільні GNSS-приймачі.

Захист культурної спадщини - при розміщенні точок мережі важливо враховувати вплив на архітектурні пам'ятки, тому точки встановлюються так, щоб не пошкоджувати історичні об'єкти. Це може включати використання тимчасових точок для збереження точності без втручання у структури будівель.

Перешкоди для супутникових сигналів. В умовах щільної забудови можливі збої в прийомі GNSS-сигналів. Для цього у проєкті передбачено використання стаціонарних базових станцій GNSS з функцією RTK-корекції, що дозволить досягти точності навіть в умовах обмеженої видимості супутників.

Опорна геодезична мережа в Чернівцях є основою для створення актуальних кадастрових карт, планів міста та баз геопросторових даних, які потрібні для міського управління. Вона сприяє: оновленню даних про забудову - мережа дозволяє швидко і точно проводити інвентаризацію будівель і земельних ділянок, що важливо для контролю за розвитком міста. Збереженню культурної спадщини - завдяки точним даним про координати будівель та їх структур, інвентаризація сприяє захисту архітектурних пам'яток і надає точні геодані для реконструкцій та реставрацій.

Ефективному міському плануванню - геодезична мережа забезпечує дані, необхідні для планування забудови, розширення транспортної інфраструктури та контролю за землекористуванням. Таким чином, проектування та підтримка опорної

геодезичної мережі для міста Чернівці забезпечують стабільність, точність та надійність геодезичних даних, що використовуються у міському плануванні, інвентаризації та управлінні.

3.2 Організація польових робіт

Організація польових робіт для інвентаризації земель міста Чернівці передбачає ретельне планування та виконання вимірювань на місцевості з урахуванням міської забудови, особливостей рельєфу та умов доступу до окремих ділянок. Польові роботи включають закладення та маркування точок, виконання вимірювань, перевірку даних та систематизацію результатів.

Одним з основних етапів польових робіт є підготовчі роботи, де виконується проведення інструктажу для польової бригади щодо особливостей міста та безпеки робіт, підготовка картографічних та технічних матеріалів, таких як топографічні карти, схеми розташування точок, інструкції з безпеки та перевірка справності обладнання (GNSS-приймачі, електронні тахеометри, радіостанції) та налаштування ПЗ для обробки даних.

Також є етап закладення та маркування точок, де виконується маркування нових точок у визначених місцях із врахуванням топографії та розташування будівель, підготовка точок, які повинні бути надійно захищені від зовнішніх пошкоджень. Та використання тимчасових маркерів для точок, у Чернівцях це наприклад центральні райони, де щільна забудова обмежує можливість закріплення постійних знаків[19].

Обов'язковий етап у вигляді польових вимірювань, де використовується GNSS-вимірювання для точок на околицях та відкритих ділянках міста. Також застосовуються приймачі з RTK-корекцією для досягнення необхідної точності, тахеометричні вимірювання для точок у центральних кварталах, де багатоповерхові будівлі можуть обмежувати доступ до супутникових сигналів. Ну і контрольні вимірювання для перевірки результатів та виявлення потенційних похибок.

Ну і фінальний етап це польова обробка та верифікація, де використовують первинну обробку даних у польових умовах для попередньої перевірки якості та

точності вимірювань та збереження даних на знімних носіях або хмарних платформах для подальшої обробки у польових офісах або стаціонарних базах.

У міських умовах Чернівців для досягнення точності та ефективності польових робіт використовуються різні методи вимірювань та обладнання, що відповідають завданням кожної ділянки.

Тип вимірювання	Опис	Обладнання
GNSS-вимірювання	Отримання координат точок у режимі реального часу з точністю до 1-2 см на відкритих ділянках	GNSS-приймачі з RTK-корекцією
Тахеометричні вимірювання	Вимірювання кутів та відстаней для точок, де немає доступу до супутникових сигналів	Електронні тахеометри
Контрольні вимірювання	Повторні вимірювання для перевірки результатів, зокрема в умовах багатоповерхової забудови	Комбіноване використання GNSS і тахеометрії

Таблиця 3.1 Види вимірювань та обладнання[1]

Міські умови Чернівців обумовлюють кілька специфічних викликів для польових робіт, які потребують особливої уваги, адже центральна частина Чернівців відома своєю щільною історичною забудовою, вузькими вулицями та високими архітектурними об'єктами, які часто ускладнюють доступ до GNSS-сигналів. Через це виникає потреба у використанні комбінованих методів для отримання точних геодезичних даних. Точки розташовуються таким чином, щоб мінімізувати можливість випадкових пошкоджень або втрати доступу до них. Для цього обираються місця з обмеженим доступом для громадськості, наприклад, на закритих ділянках або дахах будівель, щоб уникнути потенційних перешкод.

Розташування Чернівців на пагорбах і горбистих територіях вимагає врахування складного рельєфу при виконанні польових робіт, особливо у східних районах міста. Це потребує специфічних підходів до вимірювань, що дозволяють зберігати точність при великих перепадах висот. Складний рельєф може викликати похибки через зсуви ґрунту, погодні умови або деформації під час будівельних робіт. Тому в таких зонах періодично проводяться контрольні вимірювання, щоб забезпечити відповідність початковим параметрам мережі.

Чернівці відомі великою кількістю архітектурних пам'яток, таких як Чернівецький національний університет, церкви, історичні будівлі та пам'ятники. Геодезичні роботи повинні враховувати збереження цих об'єктів і мінімізувати можливий вплив на них. Під час встановлення геодезичних точок у центральній частині міста важливо обирати місця, які не порушують структуру архітектурних об'єктів. Точки мережі можуть бути тимчасово закладені поблизу історичних будівель або у внутрішніх дворах, щоб уникнути втручання у саму будівлю.

У ряді районів Чернівців, особливо у центральній частині та поблизу важливих об'єктів інфраструктури, існують обмеження на проведення польових робіт, що пов'язані з безпекою та доступом до об'єктів. Перед початком робіт у місцях з обмеженим доступом (наприклад, на територіях навчальних закладів, установ) польовій бригаді необхідно отримати відповідні дозволи. Це дозволяє безперешкодно виконувати вимірювання і забезпечувати охоплення важливих зон.

Особливість	Проблема	Рішення
Щільна забудова в центрі міста	Висотні будівлі обмежують доступ до GNSS-сигналів	Використання тахеометрії та полігонометрії, розміщення точок на дахах або у закритих дворах
Різноманітний рельєф	Великі перепади висот ускладнюють вимірювання на схилах та пагорбах	Комбіноване застосування GNSS і тахеометрії, закладення точок на вершинах, корекція похибок через контрольні вимірювання
Збереження історичної спадщини	Можливість пошкодження архітектурних пам'яток під час встановлення геодезичних знаків	Використання знімних маркерів, тимчасових точок поблизу об'єктів, документування даних для подальшої реставрації
Обмежений доступ і безпека	Відсутність доступу до закритих територій, безпека на проїжджих частинах	Отримання дозволів, застосування знаків безпеки, зберігання обладнання в захисних кейсах та резервування даних у хмарних сховищах

Таблиця 3.2 Особливості польових робіт у Чернівцях[23]

Ефективність польових робіт для інвентаризації міських земель у Чернівцях відіграє ключову роль у формуванні точних і надійних даних, необхідних для управління територіями, міського планування, контролю забудови та збереження культурної спадщини. Чернівці, як одне з історичних і культурних центрів України,

мають особливі вимоги до точності і якості геодезичних даних, оскільки тут зосереджено багато архітектурних пам'яток, густо забудованих кварталів і ділянок із складним рельєфом. Польові роботи забезпечують актуальні дані, що стають основою для прийняття рішень з приводу міської інфраструктури, зокрема транспортної, інженерної та архітектурної.

Точність отриманих у польових умовах даних є першочерговою умовою для успішної інвентаризації, особливо у центральних районах Чернівців, де важливо враховувати щільність забудови та специфіку розташування об'єктів. Використання сучасного обладнання, як-от GNSS-приймачі з RTK-корекцією, дозволяє з високою точністю визначати координати точок у реальному часі, що є надзвичайно важливим для міст, де просторові дані повинні відповідати вимогам кадастрових систем і містобудівних стандартів. У випадках, коли доступ до супутникового сигналу обмежений, наприклад у старій частині міста з високою багатоповерховою забудовою, додатково застосовуються електронні тахеометри, які дозволяють проводити вимірювання в умовах обмеженої видимості.

Результати польових робіт використовуються не тільки для створення картографічних матеріалів, але і для формування кадастрових баз даних, які включають інформацію про межі земельних ділянок, будівлі, інженерні мережі та інші об'єкти міської інфраструктури. Це особливо актуально для Чернівців, де постійне оновлення даних дозволяє не лише підтримувати кадастр в актуальному стані, але й відслідковувати зміни, які відбуваються в результаті забудови, реконструкцій або природних процесів. Дані, зібрані під час польових робіт, також сприяють збереженню культурної спадщини. Наприклад, актуальні геодезичні координати історичних об'єктів дають можливість відстежувати їхній стан та планувати реставраційні роботи, мінімізуючи при цьому ризики пошкодження або зміни первісного вигляду пам'яток[15].

Ефективність польових робіт забезпечується завдяки належній організації процесу і чіткому плануванню, що включає вибір оптимального методу для кожного конкретного району міста. У центрі Чернівців, де густо розташовані архітектурні пам'ятки, вимірювання вимагають особливої обережності та акуратності, аби не

зашкодити культурним об'єктам. Тут часто застосовуються тимчасові або знімні геодезичні знаки, які легко демонтувати без порушення цілісності пам'яток, що забезпечує збереження історичних будівель. Водночас дані польових робіт дають змогу детально документувати просторове розташування історичних об'єктів, що є важливим для збереження історичної спадщини.

Інформація, отримана під час польових робіт, слугує також основою для розробки інфраструктурних проєктів і визначення оптимальних місць для нової забудови. Завдяки точності і комплексності зібраних даних, місто може ефективно планувати інженерні мережі, створювати маршрути транспортної інфраструктури і забезпечувати раціональне використання території. Це особливо важливо в умовах міста, яке поєднує старі квартали, історичну забудову та нові житлові масиви, що потребують узгодженого розвитку.

Таким чином, ефективність польових робіт в інвентаризації земель Чернівців визначається якістю обладнання, точністю даних і адаптацією методів до міських умов. Ці роботи забезпечують не лише актуалізацію кадастрової інформації, але й підтримку стратегії збереження культурної спадщини та розвитку міської інфраструктури.

3.3 Аналіз опрацювання даних та їх обробка

Після завершення польових вимірювань розпочинається робота з отриманими даними, які обробляються у кілька етапів. Спершу всі дані з польових журналів та пристроїв зберігаються у цифровому форматі, а потім імпортуються у спеціалізоване програмне забезпечення для подальшої обробки та корекції похибок. Обробка здійснюється з використанням таких програмних пакетів, як Trimble Business Center, Leica Geo Office або AutoCAD Map 3D, що дозволяють максимально точно й швидко обробити інформацію.

Спершу проводиться перевірка даних на наявність грубих помилок, а також видаляються дубльовані або некоректні записи, що могли виникнути через технічні збої під час вимірювань. На цьому етапі геодезисти визначають наявність видимих похибок, які можуть вплинути на точність кінцевих результатів. У Чернівцях, через особливості забудови та рельєфу, особливу увагу приділяють даним, зібраним на

центральної ділянках та на схилах, де висока забудова або зміни рельєфу можуть спричиняти системні похибки. Після видалення грубих похибок дані систематизуються відповідно до типів вимірювань, точок та територій[6].

Однією з найважливіших частин обробки даних є їх корекція. У місті з такими рельєфними та забудованими умовами, як Чернівці, нерідко виникають похибки, викликані перешкодами або мультипатами (відбиттям сигналів від поверхонь будівель). Застосування спеціальних фільтрів та алгоритмів, таких як фільтр Калмана, дозволяє зменшити похибки і згладити випадкові спотворення. Для GNSS-вимірювань використовується RTK-корекція, яка дозволяє досягти сантиметрової точності, навіть якщо сигнал частково спотворений умовами міської забудови.

Після корекції похибок проводиться розрахунок координат для кожної точки опорної мережі, що дає змогу отримати точні координати з урахуванням вимірюваних кутів і відстаней. Для цього програмне забезпечення розраховує координати з урахуванням всіх даних про положення точок у просторі та зв'язків між ними. У разі, якщо результати не відповідають допустимим межах похибок, проводяться повторні обчислення або польові контрольні вимірювання. У містах, таких як Чернівці, такі перевірки є обов'язковими для точок у центрі, де кожне відхилення може суттєво вплинути на розташування об'єктів на кадастровій карті.

Для містобудівних цілей та планування розвитку міста часто необхідно створювати тривимірні моделі об'єктів, що розташовані на території Чернівців. Дані, зібрані під час польових робіт, дозволяють створювати цифрові моделі рельєфу (ЦМР) та цифрові моделі поверхні (ЦМП), а також 3D-моделі будівель, інфраструктури та інших об'єктів міської інфраструктури. Це важливо для аналізу забудови, проектування нових об'єктів і планування транспортних мереж.

На основі опрацьованих даних створюються кадастрові карти, які містять інформацію про межі земельних ділянок, розташування об'єктів нерухомості, інженерні мережі та інші важливі для міського управління об'єкти. У випадку Чернівців, де регулярно оновлюються дані про забудову, важливо, щоб кадастрові карти завжди відображали актуальну інформацію. Після завершення обробки даних і

внесення координат точок, ці дані передаються до міських баз даних, де вони зберігаються та підтримуються в актуальному стані.

Завершальним етапом є контроль якості оброблених даних, що включає перевірку їх відповідності вимогам точності та стандартам інвентаризації. Для цього здійснюється оцінка кожного кроку обробки, щоб уникнути випадкових похибок, що можуть бути допущені під час аналізу. Всі результати обробки документуються та архівуються, що забезпечує можливість доступу до них у майбутньому для актуалізації кадастрових даних або планування нових проектів.

Етап обробки	Опис процесу
Попередня обробка	Видалення грубих помилок, дубльованих або некоректних записів
Корекція похибок	Усунення спотворень за допомогою фільтрів, корекція GNSS-даних
Розрахунок координат	Розрахунок і перевірка координат кожної точки, повторні вимірювання у разі значних відхилень
Створення 3D-моделей	Побудова тривимірних моделей рельєфу і поверхні для потреб міського планування
Складання кадастрових карт	Формування кадастрових карт для внесення даних до міських кадастрових баз даних
Контроль якості	Оцінка якості результатів, документація даних та їхнє архівування

Таблиця 3.3 Процес обробки даних інвентаризації міських земель[4]

Аналіз опрацювання даних та їх обробка є одним із найважливіших етапів інвентаризації земель міста Чернівці. Після завершення польових робіт зібрані дані переходять до етапу цифрової обробки, перевірки та інтеграції, що дозволяє створити точні й надійні геодезичні матеріали для міського планування та кадастру. Умови міського середовища Чернівців, включаючи густу забудову центральної частини, складний рельєф і значну кількість історичних об'єктів, обумовлюють необхідність детальної обробки кожного етапу вимірювань.

Після завершення польових робіт усі зібрані дані експортуються з пристроїв (GNSS-приймачів, тахеометрів) у цифровому форматі для подальшої обробки. Важливим завданням цього етапу є:

- Систематизація даних
- Перевірка даних на помилки

На початку всі дані з пристроїв, таких як GNSS-приймачі та електронні тахеометри, експортуються до спеціалізованого програмного забезпечення. Основними інструментами для роботи є Trimble Business Center, Leica Geo Office та AutoCAD Map 3D, які дозволяють систематизувати й аналізувати великі обсяги інформації. Важливо, щоб дані зберігалися у форматі, який дозволяє легко імпортувати їх до кадастрових систем та баз геопросторових даних міста.

На першому етапі обробки виконують первинну перевірку отриманих координат та вимірювань. Це дозволяє виявити грубі помилки, які могли виникнути через технічні несправності обладнання або через зовнішні фактори, такі як перешкоди для супутникового сигналу в центральній частині Чернівців. Наприклад, висотні будівлі чи архітектурні пам'ятки можуть спричинити ефект мультипатів, коли сигнал відбивається від поверхонь. На цьому етапі застосовуються фільтри для усунення таких похибок та корекції даних.

Наступним кроком є проведення корекції вимірювань. У випадку GNSS-даних це здійснюється за допомогою RTK-корекції, що дозволяє досягти сантиметрової точності. Для полігонометричних вимірювань у програмному забезпеченні виконується вирівнювання ходів, щоб забезпечити відповідність усіх точок геодезичної мережі. Специфіка Чернівців з їхнім нерівним рельєфом обумовлює потребу в регулярному контролі точності даних, особливо для ділянок на пагорбах чи у зонах з рухомим ґрунтом. Для міста Чернівці характерні такі проблеми як мультипати сигналу, що виникають у центральних районах з високою забудовою, коли сигнал GNSS відбивається від будівель. Для корекції застосовуються фільтри в спеціалізованому програмному забезпеченні, такі як Trimble Business Center або Leica Geo Office та атмосферні похибки, що коригуються за допомогою RTK (Real-Time Kinematic), що дозволяє отримати координати точок з точністю до 1-2 см.

Особливої уваги вимагають точки, розташовані на рельєфних територіях міста. У цих випадках застосовуються методи вирівнювання полігонометричних ходів, щоб забезпечити відповідність координат навіть при значних перепадах висоти.

Результати корекції даних проходять додаткову перевірку через порівняння з контрольними точками мережі. Якщо виявляються відхилення, що перевищують

допустимі межі, повторно аналізуються польові журнали та, за потреби, проводяться повторні вимірювання. У Чернівцях такі перевірки є обов'язковими в центральних районах міста, де історичні будівлі мають чітко визначені координати у кадастрових записах.

Далі на основі оброблених даних створюються різні картографічні матеріали. Одним із ключових результатів є цифрові моделі рельєфу (ЦМР), що демонструють особливості міської території. Такі моделі використовуються для аналізу забудови, визначення зон з високим ризиком підтоплення та для планування нових інфраструктурних проєктів. Крім того, створюються цифрові моделі поверхні (ЦМП), які враховують розташування будівель, зелених зон та інших об'єктів.

Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) відображають висотні характеристики території міста, що використовується для аналізу рельєфу, зон підтоплення або визначення територій для нового будівництва. Цифрові моделі поверхні (ЦМП) включають будівлі, зелені зони та інші міські об'єкти, що є ключовими для інтеграції даних у містобудівні проєкти, а 3D-моделі історичних об'єктів створюються для архітектурних пам'яток, таких як Чернівецький національний університет. Ці моделі дозволяють точно документувати стан об'єктів для їхньої реставрації чи реконструкції.

Ще одним важливим результатом обробки даних є формування кадастрових карт. Ці карти відображають межі земельних ділянок, розташування будівель, інженерних мереж та інших об'єктів, що мають значення для міського управління. Для міста Чернівці це є основою для підтримки кадастрових записів, а також для ефективного управління міськими землями.

На основі отриманих даних створюються кадастрові карти, які є основою для управління земельними ресурсами. У Чернівцях такі карти мають кілька рівнів деталізації, а саме межі земельних ділянок, де точність визначення координат меж важлива для уникнення конфліктів між власниками. Розташування об'єктів нерухомості, що включають всі будівлі, включно з новобудовами та історичною забудовою та інженерна інфраструктура, де дані про водопровід, каналізацію, лінії електропередачі та інші комунікації інтегруються в кадастрові бази для забезпечення

ефективного управління міськими мережами. Для збереження отриманих даних використовується сучасне програмне забезпечення для баз геоданих (наприклад, ArcGIS або QGIS), яке дозволяє інтегрувати інформацію в електронні кадастрові системи[10].

Процес обробки даних завершується формуванням кінцевих матеріалів, які проходять перевірку якості. Усі результати документуються та зберігаються в електронному архіві, що дозволяє оперативно використовувати їх у подальших проєктах. Дані, отримані під час обробки, стають основою для актуалізації кадастрових записів Чернівців, планування нових будівельних проєктів і підтримки культурної спадщини міста.

Етап	Опис
Збір даних	Експорт координат, вимірювань і польових журналів у цифровий формат
Первинна перевірка	Систематизація, видалення помилок, попередня оцінка точності
Корекція похибок	Усунення мультипатів, РТК-корекція, вирівнювання полігонометричних ходів
Розрахунок координат	Геометричне вирівнювання, інтеграція з існуючими кадастровими записами
Створення моделей	Побудова ЦМР, ЦМП, тривимірних моделей об'єктів
Формування кадастрових карт	Визначення меж ділянок, розташування об'єктів нерухомості та інженерної інфраструктури
Контроль якості	Перевірка даних на відповідність стандартам і кадастровим записам

Таблиця 3.4 Схема етапів обробки даних[11]

Аналіз і обробка даних для міста Чернівці має вирішальне значення для підтримки актуальності кадастрових карт, збереження культурної спадщини та планування розвитку інфраструктури. Отримані матеріали забезпечують точність у містобудівному плануванні, дозволяють ефективно управляти земельними ресурсами та сприяють збереженню архітектурних пам'яток. Використання сучасних методів обробки та корекції даних дозволяє уникнути похибок, пов'язаних із міськими умовами, і створює основу для подальшого розвитку міста.

3.4 Визначення проблемних ділянок та їх класифікація

Інвентаризація земель міста Чернівці не лише зосереджується на створенні кадастрових карт та обліку ділянок, але й спрямована на виявлення територій, які мають проблемний статус через юридичні, технічні, природні або інфраструктурні обмеження. Такі ділянки часто стають причиною спорів, затримок у розвитку інфраструктури чи навіть загроз для населення. Аналіз цих ділянок із використанням геодезичних методів та інтеграції їх у міські кадастрові системи дозволяє вирішувати актуальні проблеми і планувати ефективно використання міських земель.

Проблемні ділянки у Чернівцях виявляються шляхом детального аналізу кадастрових даних, порівняння результатів польових вимірювань із записами у державних реєстрах, а також через безпосереднє дослідження території. Наприклад, під час інвентаризації земель у центральній частині міста нерідко виявляються розбіжності між кадастровими даними і фактичним використанням землі, що може бути пов'язано з історичними особливостями забудови, реконструкціями чи недосконалістю минулих облікових систем.

Складний рельєф міста, особливо в південній і східній частинах, зумовлює появу зон, які схильні до природних ризиків, таких як зсуви чи підтоплення. Наприклад, території поблизу річки Прут часто перебувають у зоні ризику підтоплень, особливо в період паводків. Ще однією значною проблемою є деградована інфраструктура у старих районах міста, таких як район Роша чи частини вулиці Руської, де зношені комунікації та дорожнє покриття потребують термінової реконструкції.

Проблемними ділянками являються ділянки зі спірними межами – це земельні ділянки, щодо яких існують розбіжності між офіційними кадастровими даними та фактичним використанням. Прикладами є центральна частина міста, зокрема район вулиці Кобилянської. Через історичну забудову і багаторічну реконструкцію тут часто виникають ситуації, коли межі ділянок не узгоджені. Наприклад, деякі комерційні приміщення мають незаконно зайняті частини тротуарів або суміжних територій. Також на вулиці Українській старі будинки мають різні кадастрові записи, що призводить до конфліктів між власниками під час розмежування.

Є і ділянки з несанкціонованим використанням - це території, які використовуються без відповідних дозволів або з порушенням чинного законодавства. Прикладом є парк імені Тараса Шевченка, у ньому зафіксовано випадки самовільної забудови кіосків, які не мають дозвільної документації. Такі об'єкти порушують цілісність зелених зон та спричиняють обурення серед громади.

Не можна пройти і повз ділянок з деградованою інфраструктурою, вони характеризуються пошкодженими комунікаціями або дорожнім покриттям, що обмежує їхнє ефективне використання. У Чернівцях це район Роша, тут багато доріг перебувають у незадовільному стані, а каналізаційна мережа зношена, що спричиняє часті підтоплення в дощові періоди.

Ще є ділянки природного ризику, де до основних загроз належать підтоплення, осідання ґрунту та зсуви. Ці проблеми актуальні для частини міських районів, особливо тих, що розташовані поблизу річки Прут та на схилах. Підтоплення характерні для прибережних зон річки Прут, яка періодично виходить з берегів під час паводків. Найбільший ризик підтоплення спостерігається у таких районах, як Калинівський ринок і прилеглі території, адже через низьке розташування і близькість до Прута цей район особливо вразливий під час весняних паводків. Підтоплення завдає шкоди інфраструктурі ринку, прилеглим складам та приватним будинкам.

У Чернівцях через горбистий рельєф і значну забудову на схилах виникають ризики зсувів ґрунту, особливо у південній частині міста. До найбільш вразливих ділянок належать мікрорайон Калічанка та вулиця Гагаріна, забудова на схилах і недостатнє укріплення підпірних стін у цьому районі створює передумови для руху ґрунтів.

Осідання ґрунтів може бути пов'язане з природними особливостями та впливом людської діяльності, наприклад, через будівництво або витіки з водопровідних мереж. Район Роша має старі комунікації в поєднанні з інтенсивною забудовою, спричиняє осідання ґрунту, що впливає на стабільність будівель.

Для зменшення ризиків потрібно:

1. Стабільні проведення систематичного очищення русел річок та дренажних систем у районах ризику.

2. Підняття існуючих берегових укріплень у зоні Калинівського ринку.
3. Укріплення схилів у районах з високим ризиком зсувів за допомогою підпірних стін та захисних геотекстильних матеріалів.
4. Контроль забудови на схилах, особливо в районах Калічанки.
5. Реконструкція старих інженерних мереж для уникнення витоків, які провокують осідання.
6. Використання сучасних методів ущільнення ґрунту перед початком будівельних робіт.

Є також ділянки із незареєстрованим майном, сюди відносяться об'єкти, які не мають офіційного кадастрового статусу, що ускладнює їхній облік та управління. В Чернівцях це околиці міста, район Ленківці, де багато приватних будинків і ділянок досі не внесені до кадастру, що створює труднощі для визначення власності. Деякі комерційні об'єкти на Калинівському ринку: Частина павільйонів і складів не мають зареєстрованих документів, що викликає суперечки між підприємцями та місцевою владою.

До кожної з проблемних ділянок потрібно розробити окремі підходи. Оновлення кадастрових даних через проведення додаткових вимірювань, виправлення помилок у записах та інтеграцію даних у сучасні геоінформаційні системи. Легалізація землекористування для територій із несанкціонованими забудовами. Це може включати штрафи або амністію для власників. Інженерні заходи для зон природного ризику, наприклад, будівництво захисних дамб або укріплення схилів. Відновлення зношених комунікацій і доріг у старих районах міста.

Категорія	Характеристика	Приклад у Чернівцях
Спірні межі	Розбіжності між кадастром і фактичними межами	Вулиця Кобилянської, вул. Українська
Несанкціоноване використання	Використання без дозволів	Парк ім. Шевченка, вул. Гагаріна
Деградована інфраструктура	Зношені дороги і комунікації	Район Роша, вул. Руська
Зони природного ризику	Території з підтопленнями чи зсувами	Район річки Прут, вул. Щербанюка
Незареєстроване майно	Об'єкти без кадастрового запису	Район Ленківці, частина Калинівського ринку

Таблиця 3.5 Класифікації проблемних ділянок із уточненням місць у Чернівцях[24]

Висновки до 3 розділу

Було детально розглянуто практичні аспекти проектування, організації польових робіт, обробки даних і аналізу проблемних ділянок у межах інвентаризації земель міста Чернівці. З цього випливає, що проектування опорної геодезичної мережі є фундаментом для інвентаризації земель, організація польових робіт враховує специфіку міських умов, аналіз та обробка даних забезпечують точність і надійність результатів, а визначення проблемних ділянок та їх класифікація виявили ключові міські проблеми. Третій розділ роботи продемонстрував, що комплексний підхід до інвентаризації земель у місті Чернівці, включаючи проектування мережі, організацію польових робіт, обробку даних і аналіз проблемних зон, дозволяє вирішувати як поточні, так і стратегічні завдання міського розвитку. Завдяки застосуванню сучасних технологій, таких як GNSS, фотограмметрія та лазерне сканування, вдалося забезпечити високу точність даних і виявити ключові проблеми земельного фонду міста. Це створює надійну базу для оновлення кадастру, оптимізації використання міських територій і покращення управління земельними ресурсами.

ВИСНОВОК

У ході виконання кваліфікаційної роботи на тему "Геодезичне забезпечення інвентаризації земель міст (на прикладі м. Чернівці)" було проведено комплексний аналіз теоретичних, технологічних і практичних аспектів організації інвентаризації земель у міських умовах.

У першому розділі дослідження було визначено сутність і значення інвентаризації земель як невід'ємної складової ефективного управління міськими територіями. Показано, що інвентаризація земель дозволяє актуалізувати кадастрові дані, оптимізувати використання міських земельних ресурсів та забезпечити правову визначеність меж земельних ділянок. Розглянуто теоретичні основи геодезичного забезпечення, які включають використання опорних геодезичних мереж для забезпечення точності вимірювань. Для міст, подібних до Чернівців, важливість геодезичних вимірювань полягає у здатності враховувати особливості історичної забудови, транспортної інфраструктури та зон зі складним рельєфом.

Другий розділ дослідження був присвячений аналізу сучасних геодезичних технологій, які використовуються для інвентаризації земель. Особливу увагу приділено GNSS-технологіям, інженерній фотограмметрії та лазерному скануванню, які забезпечують високоточний збір даних у міських умовах. Використання GNSS-приймачів з RTK-корекцією дозволяє досягти сантиметрової точності на відкритих ділянках, що є особливо важливим для зон без густої забудови. Інженерна фотограмметрія за допомогою дронів забезпечує швидке та детальне картографування великих територій, включаючи складні зони рельєфу або важкодоступні об'єкти. Лазерне сканування, у свою чергу, є незамінним для деталізації будівель, зокрема архітектурних пам'яток у центральній частині міста. Аналіз довів, що оптимальним для Чернівців є комбіноване використання цих методів, що дозволяє забезпечити максимальну точність і ефективність робіт.

Третій розділ роботи був зосереджений на практичній реалізації інвентаризації земель, включаючи проектування опорної геодезичної мережі, організацію польових робіт, обробку даних та аналіз проблемних ділянок. У Чернівцях для забезпечення високої точності була спроектована комбінована геодезична мережа, яка враховує

специфіку міського середовища – густу забудову, рельєф та інженерну інфраструктуру. Польові роботи були організовані із застосуванням сучасного обладнання, такого як GNSS-приймачі, тахеометри та дрони, що дозволило врахувати всі особливості міських умов. Особливу увагу було приділено обробці зібраних даних, яка включала корекцію похибок, створення цифрових моделей рельєфу та поверхні, а також формування актуальних кадастрових карт.

Важливою складовою роботи стало визначення проблемних ділянок та їх класифікація. У місті Чернівці виявлено кілька категорій проблемних територій, включаючи зони зі спірними межами, ділянки з несанкціонованим використанням, деградованою інфраструктурою та природними ризиками (зони підтоплень поблизу річки Прут та схили, схильні до зсувів). Це дозволяє чітко ідентифікувати проблеми земельного фонду міста та запропонувати шляхи їхнього вирішення, зокрема через оновлення кадастрових записів, модернізацію інфраструктури та впровадження захисних заходів на зонах ризику.

Кваліфікаційна робота довела, що інвентаризація земель у міських умовах із використанням сучасних геодезичних технологій є ефективним інструментом для оптимізації управління земельними ресурсами. Місто Чернівці, завдяки своїм унікальним особливостям, продемонструвало важливість інтеграції новітніх методів геодезії у міське планування. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення кадастрової системи, підтримки сталого розвитку міста та збереження його культурної спадщини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Freedden W. \\"Handbook of Mathematical Geodesy\\" / W. Freedden, R. Rummel., 2019. – 419 с.
2. Fundamentals of Surveying and Geodesy – SpringerLink [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://booksreadify.com/download/geodesy-for-geomatics-and-gis-professionals-4832550>.
3. Geodesy for Geomatics and GIS Professionals [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://resources.caih.jhu.edu/>.
4. Guochang X. \\"Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications\\" / X. Guochang., 2020. – 420 с.
5. Müller J. \\"Relativistic Geodesy: Foundations and Applications\\" / Jürgen Müller. – Springer, 2021. – 320 с.
6. Walter de Vries. \\"Geospatial Science for Land Management\\" / Walter de Vries, I. Rudiarto., 2021. – 410 с. – (Taylor & Francis).
7. Атаманенко Ю.Ю. Оцінка точності визначення відстаней за результатами опрацювання аерофотознімків з БПЛА. Інженерна геодезія. 2017. Вип. 64, с.89-99,.
8. Бачишин Б.Д. Інженерна геодезія: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2020. 196 с.
9. Білецький М. М. \\"Сучасні методи геодезії в містобудуванні\\" / М. М. Білецький, І. І. Мазурик. – Київ, 2019. – 244 с.
- 10.Боженко В. В. \\"Геодезичні роботи для земельного кадастру\\" / В. В. Боженко. // Державний ВНЗ \\"Національний авіаційний університет\\". – 2019. – С. 145.
- 11.Войтенко С. П. \\"Інженерна геодезія\\". базовий підручник для спеціальності \\"Геодезія та землеустрій\\" / П. Войтенко. – Чернігів, 2022. – 312 с. – (Національний університет «Чернігівська політехніка»).
- 12.Геодезичні програмні продукти [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://credo-ua.com/>.
13. Зуска А. В. \\"Інженерна геодезія\\" Навчальний посібник / А. В. Зуска. – Дніпро, 2020. – 216 с
- 14.Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:500- 1:500: ГКНТА-2-04-02-98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>.

- 15.Калинич І.В., Гриник Г.Г, Ничвид М.Р. Геодезія: навчальний посібник. Міністерство освіти і науки України, Державний вищий навчальний заклад ``Ужгородський національний університет``. Ужгород: Говерла 2020. 247с.
- 16.Куровець М. \\"Геодезія та землеустрій\\" / М. Куровець, Н. Гунька. – Львів: Львівський національний університет, 2018. – 328 с.
- 17.Кушнір В. А. \\"Інженерна геодезія\\" / В. А. Кушнір. – Одеса: Прес-Кур'єр, 2021. – 210 с.
- 18.Наливайко Т. А. \\"Основи геодезії\\" / Т. А. Наливайко. – Запоріжжя: ЗНУ, 2018. – 180 с.
- 19.Пілічева М. О. \\"Основи геодезії\\" / М. О. Пілічева. – Харків: КПІ, 2021. – 200 с.
- 20.Полякова Н. О. \\"Метрологія і стандартизація в геодезії\\" / Н. О. Полякова. – Київ, 2015. – 198 с.
- 21.Розум Р.І., Буряк М.В., Вітровий А.О., Волошин Р.В. Геодезія та землеустрій: монографія.Тернопіль: ТНЕУ, 2020: 247 с.
- 22.Роль дронів та GPS-технологій у сучасних геодезичних вимірюваннях [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://buduemo.com/ua>.
- 23.Тарнавський В. Л. \\"Загальна геодезія\\" / В. Л. Тарнавський. – Львів: Львівська політехніка, 218. – 430 с.
- 24.Шульц Р. \\"Інженерна геодезія\\" / Р. Шульц. – Київ: КНУБА, 2015. – 620 с.
- 25.Янкін О. Є. СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ ТА СУЧАСНІ ГЕОДЕЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ / О. Є. Янкін, Ю. Є. Трегуб, Г. В. Бруй. – Дніпро: НТУ «ДП», 2023. – 74 с.