

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет землевпорядкування

ПОГОДЖЕНО

**Декан факультету
землевпорядкування**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**В.о. завідувача кафедри
геодезії та картографії**

_____ **Олександр ШЕВЧЕНКО**

«_____» _____ **2025 р.**

_____ **Тарас ЄВСЮКОВ**

«_____» _____ **2025 р.**

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Лазерне сканування фасаду навчального корпусу №4 НУБіП України із застосуванням технології SLAM: створення 3D-моделі та порівняння з результатами тахеометричної зйомки

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма: «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.е.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ **Андрій МАРТИН**
(підпис)

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи,**

д.е.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ **Тарас ЄВСЮКОВ**
(підпис)

Виконав

_____ **Георгій ЮРЧЕНКО**
(підпис)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
геодезії та картографії**

_____ **Іван КОВАЛЬЧУК**

« _____ » _____ **2024 р.**

З А В Д А Н Н Я

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи здобувачу

Юрченку Георгію Вікторовичу

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма: «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Лазерне сканування фасаду навчального корпусу №4 НУБіП України із застосуванням технології SLAM: створення 3D-моделі та порівняння з результатами тахеометричної зйомки затверджена наказом від «18» листопада 2024 р. №2062 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: за 10 днів до захисту.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: законодавча база, наукові публікації і науково-методична література з теми дослідження; інформація Державного земельного кадастру про право власності та речові права на земельну ділянку на якій розміщено об'єкт дослідження; нормативні документи Національного університету біоресурсів і природокористування з підготовки і захисту кваліфікаційних робіт, політики використання штучного інтелекту тощо; планово-картографічні матеріали попередніх років на територію об'єкту дослідження; офіційні дані Міністерства культури та стратегічних комунікацій України; енциклопедичні видання про пам'ятки історії та культури України.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести огляд сучасних технологій лазерного сканування і нормативно-правових вимог до їх застосування;
2. Дослідити і здійснити характеристику об'єкту дослідження;
3. Побудувати геодезичну основу для проведення вимірювань і забезпечення точності просторової прив'язки;
4. Виконати мобільне лазерне сканування фасаду будівлі із застосуванням технології SLAM і незалежну тахеометричну зйомку для контролю;
5. Здійснити камеральну обробку хмар точок, її геоприв'язку та побудову тривимірної моделі фасаду;
6. Провести порівняльний аналіз результатів SLAM-сканування із даними тахеометричної зйомки.

Дата видачі завдання «__» _____ 2024 р.

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

Тарас ЄВСЮКОВ

Завдання прийняв до виконання

Георгій ЮРЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Юрченко Г. В. «Лазерне сканування фасаду навчального корпусу №4 НУБіП України із застосуванням технології SLAM: створення 3D-моделі та порівняння з результатами тахеометричної зйомки».

Магістерська робота складається із змісту, реферату, вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 77 сторінок. Робота містить 7 таблиць та 29 рисунків. Список використаної літератури становить 60 джерел.

Перший розділ висвітлює теоретичні засади застосування лазерного сканування для збереження об'єктів культурної спадщини та розкриває принципи роботи лазерних сканувальних систем. Проведено аналіз нормативно-правового забезпечення, показано сучасні підходи до цифрової фіксації об'єктів культурної спадщини і окреслено граничні умови точності та продуктивності SLAM порівняно з класичними інструментальними методами.

Другий розділ містить характеристику об'єкта дослідження – фасаду навчального корпусу № 4 НУБіП України, з описом фізико-географічних умов і правового статусу земельної ділянки. Розкрито історичний контекст будівлі і його архітектоніку.

Третій розділ описує практичну реалізацію робіт: застосовані прилади та програмні засоби, побудову геодезичної основи, виконання тахеометричної зйомки й мобільного лазерного SLAM-сканування, камеральну обробку і створення 3D-моделі. Виконано порівняння даних, отриманих в результаті проведення SLAM-сканування та побудови 3D-моделі фасаду з тахеометричними вимірюваннями, а також сформульовано практичні рекомендації контролю якості отриманої хмари точок.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ SLAM У ДОСЛІДЖЕННІ ІСТОРИЧНИХ ПАМ'ЯТОК.....	
1.1. Теоретичні основи застосування сучасних методів геодезичних знімачів у дослідженнях історичної спадщини.....	12
1.2. Нормативно-правове забезпечення проведення лазерного сканування об'єктів культурної спадщини в Україні	14
1.3. Принцип роботи лазерних сканувальних систем: статичні та мобільні рішення.....	18
1.4. Технологія SLAM: принципи функціонування, алгоритми та сфери застосування	20
1.5. Переваги, обмеження і точність технології SLAM у порівнянні з традиційними методами геодезичних вимірювань	22
Висновки до розділу 1	26
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ - НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №4 НУБІП УКРАЇНИ.....	
2.1. Загальна характеристика фізико-географічних умов території розміщення об'єкта	28
2.1.1. Географічне положення і загальні дані	28
2.1.2. Кліматичні умови.....	29
2.1.3. Рельєф.....	31
2.1.4. Геологічна будова та ґрунтово-рослинний покрив	32

2.2. Історичний контекст та архітектурно-конструктивні особливості будівлі	35
2.2.1. Історія будівництва та архітектурні особливості	35
2.2.2. Сучасний стан будівлі і потреба в документації	39
Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ФАСАДУ	
НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №4 НУБІП УКРАЇНИ І ПОРІВНЯННЯ З	
РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕХЕОМЕТРИЧНОЇ ЗЙОМКИ.....	
3.1. Прилади та обладнання для виконання дослідження	41
3.1.1. Лазерний сканер з технологією SLAM: конструктивні особливості і технічні характеристики.....	41
3.1.2 Електронний тахеометр і його характеристики.....	44
3.2. Планування та виконання польових робіт	46
3.2.1. Побудова геодезичної основи для зйомки	46
3.2.2. Методика виконання тахеометричної зйомки фасаду	48
3.2.3 Методика проведення лазерного сканування за технологією SLAM .	52
3.3. Порівняння результатів SLAM-сканування з тахеометричною зйомкою	56
3.4. Інтерпретація результатів та оцінка точності створеної 3D-моделі фасаду навчального корпусу №4 НУБіП України.....	61
Висновки до розділу 3	66
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
ДОДАТКИ.....	78
Додаток А.....	79

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

SLAM – Simultaneous Localization and Mapping

LiDAR – Light Detection and Ranging

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Position System

IMU – Inertial Measurement Unit

НУБіП України – Національний університет біоресурсів і
природокористування

КСГІ – Київський сільськогосподарський інститут

ВСТУП

Актуальність теми магістерської кваліфікаційної роботи зумовлена динамічним розвитком технологій тривимірного лазерного сканування в геодезії, архітектурі, охороні культурної спадщини та інших сферах. В Україні ринок приладів на основі технології SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) перебуває на етапі становлення: чинні нормативно-правові акти лише загально регламентують вимоги до геодезичних робіт і лазерного сканування, не враховуючи специфіки мобільних SLAM-систем, їхніх алгоритмів просторової прив'язки і показників якості даних. Такий регуляторно-методичний вакуум вимагає наукового обґрунтування і практичної апробації.

По-друге, науково-практичний інтерес становить також порівняння точності результатів SLAM-сканування з традиційною тахеометричною зйомкою. Це дозволяє визначити межі застосовності технології SLAM, необхідні для досягнення нормативної точності.

По-третє, мобільне лазерне сканування із технологією SLAM забезпечує суцільний збір тривимірних даних із високою продуктивністю та деталізацією, що є критично важливим для точного відтворення архітектурних елементів і створення придатних до експлуатації цифрових моделей. Прикладом для апробації став навчальний корпус №4 НУБіП України – історична будівля, зведена у 1929 році як Будинок факультетів Київського сільськогосподарського інституту (КСГІ) [18].

Мета кваліфікаційної роботи полягає у розробленні та апробації методики лазерного сканування фасаду навчального корпусу № 4 НУБіП України із застосуванням технології SLAM, створенні на її основі тривимірної моделі та порівнянні точності отриманих результатів із даними тахеометричної зйомки.

Предметом дослідження є теоретичні і методичні засади застосування технології SLAM для лазерного сканування архітектурних фасадів, методи зовнішньої геоприв'язки, алгоритми опрацювання хмар точок і підходи до оцінювання точності в умовах відсутності стандартизованих методик.

Об'єктом дослідження є фасад навчального корпусу № 4 Національного університету біоресурсів і природокористування України – історична будівля, зведена у 1929 році як Будинок факультетів КСГП.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

- провести огляд сучасних технологій лазерного сканування і нормативно-правових вимог до їх застосування;
- дослідити і здійснити характеристику об'єкту дослідження;
- побудувати геодезичну основу для проведення вимірювань і забезпечення точності просторової прив'язки;
- виконати мобільне лазерне сканування фасаду будівлі із застосуванням технології SLAM і незалежну тахеометричну зйомку для контролю;
- здійснити камеральну обробку хмар точок, побудову тривимірної моделі фасаду та її геоприв'язку;
- провести порівняльний аналіз результатів SLAM-сканування із даними тахеометричної зйомки.

При підготовці магістерської кваліфікаційної роботи було проаналізовано і використано наукові публікації з теми дослідження, опрацьовано методику створення геодезичної основи та методику сканування мобільним лазерним сканером із технологією SLAM. Підготовка і написання магістерської кваліфікаційної роботи виконувалося з дотриманням законодавчої і нормативно-правової бази України [1-3], наукових публікацій з теми дослідження, нормативних документів НУБіП України, що врегульовують питання підготовки і захисту магістерської кваліфікаційної роботи в НУБіП України [4], а також політику використання штучного інтелекту у НУБіП України [5].

Автор висловлює щире подяку кафедрі геодезії та картографії НУБіП України на якій виконувалась дана кваліфікаційна робота за надану можливість реалізувати дослідження і користуватися сучасними приладами, обладнанням і програмним забезпеченням. Окрема подяка висловлюється директору ТОВ

«Геофікс» Олексію КУЦЕНКУ – за сприяння, консультаційну підтримку, можливість проходження виробничої практики і професійного розвитку. Автор також щиро дякує професору кафедри геодезії та картографії Івану КОВАЛЬЧУКУ за цінні поради під час виконання експериментальної частини магістерського дослідження, а також науковому керівнику, виконуючому обов'язки завідувача кафедри геодезії та картографії, професору Тарасу ЄВСЮКОВУ, який сприяв вибору теми, надавав глибокі наукові рекомендації, ділився цінним досвідом і допомагав автору сформулювати цілісну наукову концепцію роботи.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ SLAM У ДОСЛІДЖЕННІ ІСТОРИЧНИХ ПАМ'ЯТОК

1.1. Теоретичні основи застосування сучасних методів геодезичних знімачів у дослідженнях історичної спадщини

Інтеграція даних хмари точок стала широко прийнятим підходом до документування та збереження культурної спадщини. Хмари точок, що генеруються за допомогою наземного лазерного сканування, забезпечують точне тривимірне представлення геометрії об'єкта за допомогою мільйонів точно вимірених просторових координат. У контексті документування спадщини ці набори даних дозволяють створювати високодеталізовані та вимірювані моделі, які слугують надійними еталонами для консервації, реставрації та віртуальної реконструкції.

Останні дослідження (Savchyn, et al., 2023) [7] підкреслюють нагальність впровадження таких цифрових методологій в Україні в умовах війни, де велика кількість об'єктів культурної спадщини перебуває під загрозою знищення [6].

Наукові праці О. Баркової та І. Кульчицького [56], описують важливість використання європейського досвіду для вдосконалення цифрової трансформації пам'яток культурної спадщини України.

Астаф'єв А. [57] описував важливість розвитку цифрової культури суспільства загалом. А К. Коцюбинська та С. Баранський [58] – про важливість використання цифрових технологій для збереження та відновлення пам'яток культури [55].

У своїй праці М. Кулиняка [59] звертає увагу на перетворення цифрової культурної спадщини на ключовий елемент сучасної культурної дійсності. Автор висвітлює поняття цифрової культури та важливість збереження та популяризації цифрової спадщини [54, 59].

Іноземний досвід (Abdullah, et al., 2020; Eren, & Yilmaz, 2023) [52, 53] свідчить, що наземне лазерне сканування забезпечує високу точність і

безконтактне вимірювання, що робить його ефективним інструментом для реєстрації архітектурних та історичних пам'яток [6].

Їхні висновки підкреслюють, що пріоритетність швидкого та точного збору даних, а особливо за допомогою наземного лазерного сканування, цифрової фотограмметрії та геодезичного контролю є основою ефективного довгострокового збереження. Зробивши акцент на зборі надійних просторових даних, а не на негайній 3D-реконструкції, їхній підхід гарантує збереження критично важливої інформації для майбутньої реставрації, навіть якщо моделювання може бути відкладено [6].

Для прикладу, пожежа, що спричинила майже повне руйнування собору Паризької Богоматері (Париж, Республіка Франція), продемонструвала актуальність і важливість створення архітектурних цифрових двійників. Такі цифрові двійники є потужним інструментом для підвищення ефективності, стійкості та продуктивності будівель і міських просторів. Вони дозволяють застосовувати більш орієнтований на дані та спільний підхід до архітектурного проектування та будівництва. Але головна перевага полягає в тому, що навіть у разі повного руйнування архітектурний об'єкт, який має цифровий двійник, зберігається для майбутніх поколінь у цифровій формі і може бути точно відновлений у будь-який час.

Після повномасштабного вторгнення Російської Федерації в Україну (24 лютого 2022 року) та щоденних обстрілів українських міст питання цифровізації архітектурних пам'яток стало надзвичайно актуальним [7].

Станом на 21 липня 2025 року через російську агресію в Україні зруйновано та пошкоджено 1528 пам'яток культурної спадщини та 2359 об'єктів культурної інфраструктури, з яких 471 – повністю знищено [8].

Найкращим варіантом в такій ситуації, звичайно, є створення архітектурного цифрового двійника. Однак військові операції, а також швидкість руйнування та пошкодження архітектурних пам'яток унеможливають використання класичних підходів до створення архітектурного цифрового

двійника. У зв'язку з цим існує потреба у розробці оперативних (швидких) методів фіксації та цифровізації архітектурних пам'яток в Україні [7].

На наше переконання, найдієвішим способом оперативної цифровізації архітектурних пам'яток в Україні може стати лазерне сканування з використанням технології SLAM, що була нами й застосована на прикладі історичної та архітектурної пам'ятки Києва – навчального корпусу №4 НУБіП України.

1.2. Нормативно-правове забезпечення проведення лазерного сканування об'єктів культурної спадщини в Україні

Одним із головних нормативних документів у сфері охорони культурної спадщини є Закон України «Про охорону культурної спадщини» [2].

Цей Закон регулює правові, організаційні, соціальні та економічні відносини у сфері охорони культурної спадщини як одного з головних елементів національних інтересів України з метою її збереження, використання об'єктів культурної спадщини у суспільному житті, захисту традиційного характеру середовища в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь.

Об'єкти культурної спадщини, які знаходяться на території України, у межах її територіального моря та прилеглої зони, охороняються державою.

Охорона об'єктів культурної спадщини є одним із пріоритетних завдань органів державної влади та органів місцевого самоврядування [1].

Відповідно до закону, об'єкт культурної спадщини – визначне місце, споруда (витвір), комплекс (ансамбль), їхні частини, пов'язані з ними рухомі предмети, а також території чи водні об'єкти (об'єкти підводної культурної та археологічної спадщини), інші природні, природно-антропогенні або створені людиною об'єкти незалежно від стану збереженості, що донесли до нашого часу цінність з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду і зберегли свою автентичність.

Нерухомий об'єкт культурної спадщини – об'єкт культурної спадщини, який не може бути перенесений на інше місце без втрати його цінності з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду та збереження своєї автентичності [1].

За видами об'єкти культурної спадщини поділяються на:

- археологічні – рештки життєдіяльності людини, що містяться під земною поверхнею та під водою і є невідтворним джерелом інформації про зародження і розвиток цивілізації;

- історичні – будинки, споруди, їх комплекси (ансамблі), окремі поховання та некрополі, місця масових поховань померлих та померлих (загиблих) військовослужбовців (у тому числі іноземців), які загинули у війнах, внаслідок депортації та політичних репресій на території України, місця бойових дій, місця загибелі бойових кораблів, морських та річкових суден, у тому числі із залишками бойової техніки, озброєння, амуніції тощо, визначні місця, пов'язані з важливими історичними подіями, з життям та діяльністю відомих осіб, культурою та побутом народів;

- об'єкти монументального мистецтва – твори образотворчого мистецтва: як самостійні (окремі), так і ті, що пов'язані з архітектурними, археологічними чи іншими пам'ятками або з утворюваними ними комплексами (ансамблями);

- об'єкти архітектури – окремі будівлі, архітектурні споруди, що повністю або частково збереглися в автентичному стані і характеризуються відзнаками певної культури, епохи, певних стилів, традицій, будівельних технологій або є творами відомих авторів;

- об'єкти містобудування – історично сформовані центри населених місць, вулиці, квартали, площі, комплекси (ансамблі) із збереженою планувальною і просторовою структурою та історичною забудовою, у тому числі

поєднаною з ландшафтом, залишки давнього розпланування та забудови, що є носіями певних містобудівних ідей;

- об'єкти садово-паркового мистецтва – поєднання паркового будівництва з природними або створеними людиною ландшафтами;
- ландшафтні – природні території, які мають історичну цінність;
- об'єкти науки і техніки – унікальні промислові, виробничі, науково-виробничі, інженерні, інженерно-транспортні, видобувні об'єкти, що визначають рівень розвитку науки і техніки певної епохи, певних наукових напрямів або промислових галузей [1].

Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» зазначає, що під час здійснення топографо-геодезичних, картографічних робіт повинні забезпечуватися виконання робіт методами і способами, безпечними для життя і здоров'я людей, стану довкілля та об'єктів, що мають історико-культурну цінність [20].

Єдиним регулятором у сфері лазерного сканування при виконанні топографо-геодезичних робіт в Україні є Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства №1675 від 17.04.2025 «Про затвердження Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500». Ним передбачено, що лазерне сканування – це технологічний процес збирання даних про об'єкти місцевості з використанням лазерного сканера, у видимому та близькому інфрачервоному діапазонах для топографічного картографування.

Наземне лазерне сканування здійснюється за допомогою:

- наземного стаціонарного лазерного сканера для зйомки промислових об'єктів, відкритих гірничих виробок, а також створення високоточних тривимірних моделей архітектурних будівель і споруд, об'єктів історичної і культурної спадщини;
- наземного мобільного лазерного сканера для зйомки автошляхів, залізниць, мостів і тунелів, а також лінійних об'єктів (трубопроводів, ліній електропередачі тощо);

– авіаційне лазерне сканування, яке здійснюється за допомогою авіаційного лазерного сканера, що дає можливість виконати зйомку землі під кронами дерев і в місцях щільної забудови [30].

Допускається виконання наземного лазерного сканування одного об'єкта зйомки декількома наземними лазерними сканерами різних типів та з різними характеристиками у разі чіткого розмежування об'єкта зйомки для кожного наземного лазерного сканера.

Експлуатація наземного лазерного сканера проводиться виключно з дотриманням інструкцій, зазначених виробником наземного лазерного сканера.

Допускається виконання наземного лазерного сканування в нічний період.

За необхідності виготовлення панорамних фотографічних зображень при виконанні наземного лазерного сканування такі роботи повинні виконуватися тільки у світлий час доби.

У разі наявності снігового покриву, випадання опадів у вигляді дощу та снігу, інших умов, передбачених технічною документацією наземного лазерного сканера, наземне лазерне сканування не виконується.

Обов'язковою умовою проведення мобільного наземного лазерного сканування є наявність на території виконання робіт як мінімум однієї станції ГНСС, радіус дії якої повністю перекриває межі маршрутів сканування та з якої можливе завантаження даних на момент проведення мобільного лазерного сканування.

До комплексу наземного лазерного сканування, яке здійснюється за допомогою наземного стаціонарного лазерного сканера, входять такі процеси:

- координування місць розташування наземного лазерного обладнання (за необхідності);
- розміщення та координування (за необхідності) зв'язуючих марок;
- наземне лазерне сканування.

До комплексу наземного лазерного сканування, яке здійснюється за допомогою наземного мобільного лазерного сканера, входять такі процеси:

- маркування і визначення координат та висот контрольних точок;
- встановлення додаткової станції ГНСС (за необхідності);
- мобільне лазерне сканування [30].

1.3. Принцип роботи лазерних сканувальних систем: статичні та мобільні рішення

Принцип роботи лазерного сканера аналогічний принципу роботи безвідбивачевого електронного тахеометра і полягає в вимірі часу проходження лазерного променя від випромінювача до поверхні, що відбиває і назад до приймача. Шляхом ділення цього часу на швидкість поширення лазерного променя визначається відстань до об'єкта.

Сканер складається з лазерного далекоміра, адаптованого для роботи з високою частотою і блоку розгортки лазерного променя. Як блок розгортки в сканері виступають сервопривід і полігональне дзеркало або призма. Сервопривод відхиляє промінь на задану величину в горизонтальній площині, при цьому повертається вся верхня частина сканера. Розгортка у вертикальній площині здійснюється за рахунок обертання або коливання дзеркала [33].

У процесі сканування фіксується напрямок поширення лазерного променя і відстань до точок об'єкта. Результатом є щільна хмара точок з координатами та додатковими атрибутами – інтенсивністю відбиття й кольоризацією з вбудованих камер або зовнішніх фотосистем [34].

У сучасних сканерах застосовують два базові методи визначення дальності: імпульсно-часовий (рис. 1.1) та фазовий (рис. 1.2). У першому вимірюють час проходження окремого лазерного імпульсу туди-й-назад, у другому – зсув фази безперервно модульованого сигналу. Імпульсні системи краще працюють на великих дистанціях і по темних цілях, тоді як фазові забезпечують дуже високу частоту вимірювань на середніх дистанціях, що зручно для детальної інженерної зйомки [35].

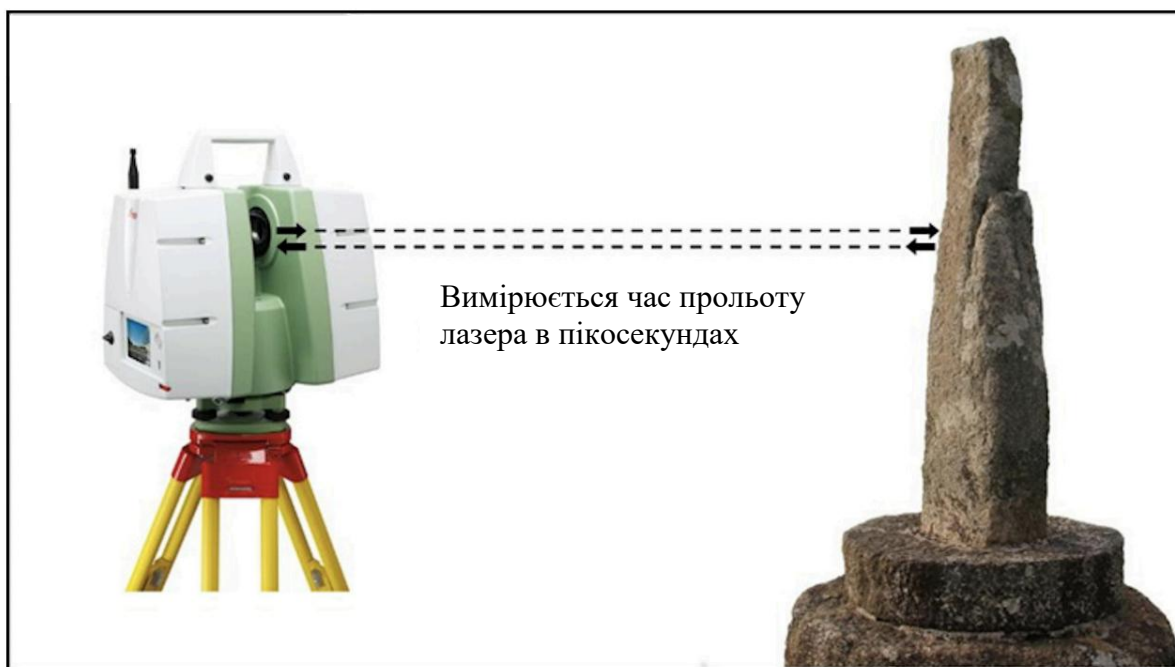


Рис. 1.1. Імпульсно-часовий метод вимірювання відстаней [60]

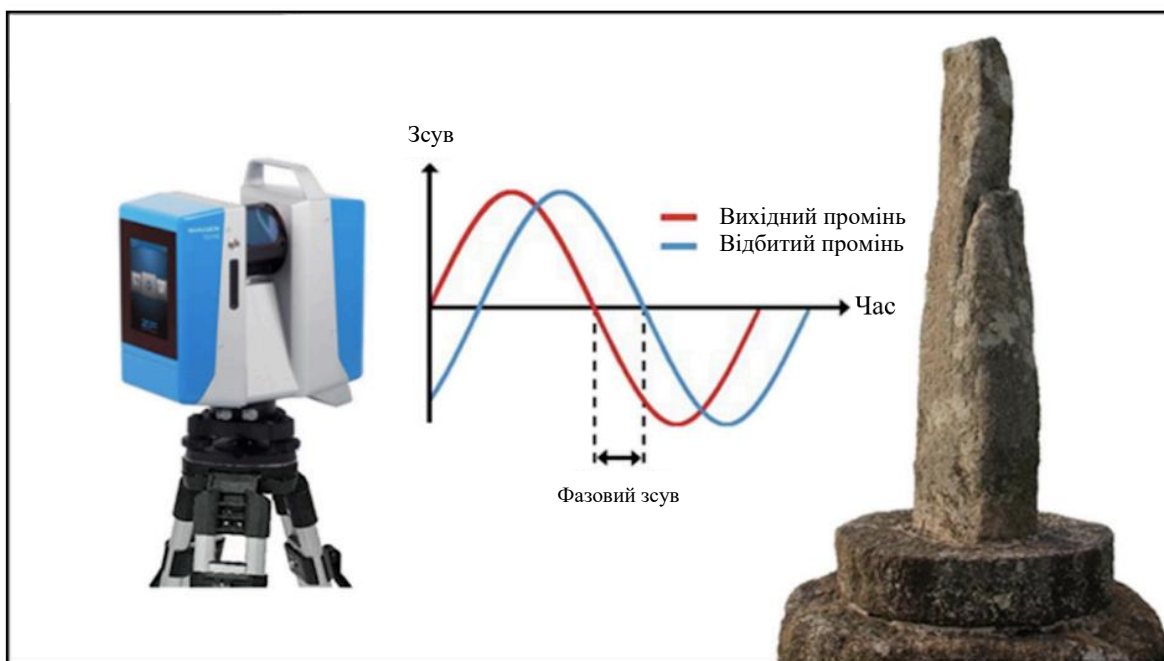


Рис. 1.2. Фазовий метод вимірювання відстаней [60]

Для стаціонарного сканера типовими є процедури геоприв'язки та зшивання кількох станцій. Прив'язку виконують через наземні опорні пункти (відбивачі, сфери) або безмаркерні методи за взаємним перекриттям. Класичний алгоритм Iterative Closest Point мінімізує відстані між відповідними

підмножинами точок і збігає скани у єдину систему координат, надійність підвищують маскування шумів і добір стійких геометричних примітивів [36].

Мобільні системи поєднують лідар з навігаційним блоком та, за потреби, одометрією і камерами. Висококласна інерціальна система зі щільною інтеграцією з GNSS забезпечує оцінку положення сканера в русі, це дає змогу безперервно збирати точки [37, 38]. У міській забудові, де GNSS втрачає актуальність, на перший план виходять методи SLAM: вони одночасно оцінюють траєкторію та будують щільну хмару точок [39].

1.4. Технологія SLAM: принципи функціонування, алгоритми та сфери застосування

Одночасна локалізація та картографування (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) – це ключова технологія, що забезпечує функціонування мобільних картографічних систем без потреби у стаціонарному штативі. SLAM дозволяє динамічно відстежувати положення пристрою в режимі реального часу, забезпечуючи точний і високоякісний збір просторових даних, навіть у складних і масштабних середовищах [40].

Технологія SLAM інтегрує дані з декількох вбудованих сенсорів у мобільній картографічній системі, відстежуючи рух та захоплюючи просторові дані. Кожна точка вздовж шляху виступає як свого роду “віртуальний штатив,” дозволяючи системі створювати надзвичайно точні 3D-карти. Під час постобробки програмне забезпечення вирівнює ці дані в точні хмари точок, які надають детальні представлення середовища.

Виключивши потребу у численних фіксованих установках, SLAM дозволяє мобільному картографуванню безперервно збирати дані, що суттєво покращує швидкість і точність роботи [40].

Вперше вжитий як термін у науковій статті, представлений на Міжнародному симпозіумі з досліджень у галузі робототехніки в 1995 році, SLAM намагається вирішити класичну проблему «яйця і курки». Як автономний

або напівавтономний пристрій, наприклад робот, може визначити своє геопросторове розташування в режимі реального часу – без допомоги триангуляції супутників глобального позиціонування – і водночас створити карту свого оточення, розмістивши своє розташування на цій карті [41]?

Відповідь міститься в самій аббревіатурі SLAM. Технологія використовує складні комп'ютерні алгоритми та технології вимірювання відстані за допомогою світла, такі як LiDAR (Light Detection and Ranging) та 360° камери, щоб «вирішити» проблему «яйця і курки», виконуючи обидві функції одночасно. Мобільний пристрій, оснащений SLAM, використовує LiDAR, який випромінює лазерний імпульс на об'єкт і вимірює час, за який світло відбивається назад до пристрою, або час польоту [41].

Подібно до того, як радар (Radio Detection and Ranging) використовує електромагнітні хвилі для кращого розуміння навколишнього середовища, LiDAR SLAM використовує світлові хвилі для створення зображення навколишнього простору. LiDAR створює карту та 3D-хмару точок із зібраних даних. Алгоритми SLAM, які допомагають обчислити найкращу оцінку місцезнаходження, додатково доповнюються інерційною вимірювальною одиницею, або IMU. IMU включає акселерометр, гіроскоп, а іноді і магнітометр.

У поєднанні ці інструменти дозволяють вимірювати, як об'єкт рухається, обертається або змінює своє положення в 3D-просторі. Ця технологія є ідеальною в ситуаціях, коли триангуляція GPS є складною або неможливою, наприклад, у гірничій промисловості або лісовому господарстві, де густі крони дерев блокують дані глобального позиціонування [41].

Окрім SLAM на основі LiDAR (що включає 2D- та 3D-картографування), існує також візуальний SLAM, або vSLAM. Як випливає з назви, візуальний SLAM обчислює положення та орієнтацію пристрою відносно його оточення, одночасно картографуючи середовище, використовуючи лише камеру. Тим часом візуальний SLAM на основі особливостей відстежує точки інтересу через

послідовні кадри камери, щоб триангулювати 3D-позицію камери. Ця інформація потім використовується для побудови 3D-карти [41].

Новітні технології цифрового опрацювання даних SLAM у сукупності із сучасними 3D сканерами відкривають широкий спектр переваг у порівнянні з класичними методами геодезії:

- дозволяють збирати великі обсяги даних за короткий проміжок часу, що дозволяє значно скоротити час, необхідний для проведення геодезичних робіт;
- забезпечують необхідну точність вимірювань для побудови топографічних планів
- дозволяють отримувати не лише геометричну інформацію про об'єкти, але і додаткові дані, такі як кольорова інформація, текстури, температурні дані тощо.
- можуть працювати на відстані від об'єкта, що дозволяє сканувати об'єкти, які знаходяться у важкодоступних або небезпечних місцях.
- можна створювати точні 3D моделі об'єктів, що відображають їхню реальну геометрію та структуру .

Проте, не дивлячись на потенційні переваги мобільного 3D сканування, його точність та надійність залишаються питаннями, які вимагають додаткових досліджень [42].

1.5. Переваги, обмеження і точність технології SLAM у порівнянні з традиційними методами геодезичних вимірювань

Технологія одночасної локалізації та картографування (SLAM) дозволяє рухомому носію датчиків – переважно LiDAR у поєднанні з інерціальною системою та, за потреби, камерою – одночасно оцінювати власну траєкторію і реконструювати тривимірну структуру середовища. Концептуально це відрізняється від класичної геодезії, де простір «нарощують» на базі заздалегідь створеної опорної мережі в глобальній системі координат, у SLAM первинною є відносна геометрія та оптимізація траєкторії (рис. 3.1), тоді як абсолютність

координат досягається лише завдяки зовнішній прив'язці до контрольних точок [43].

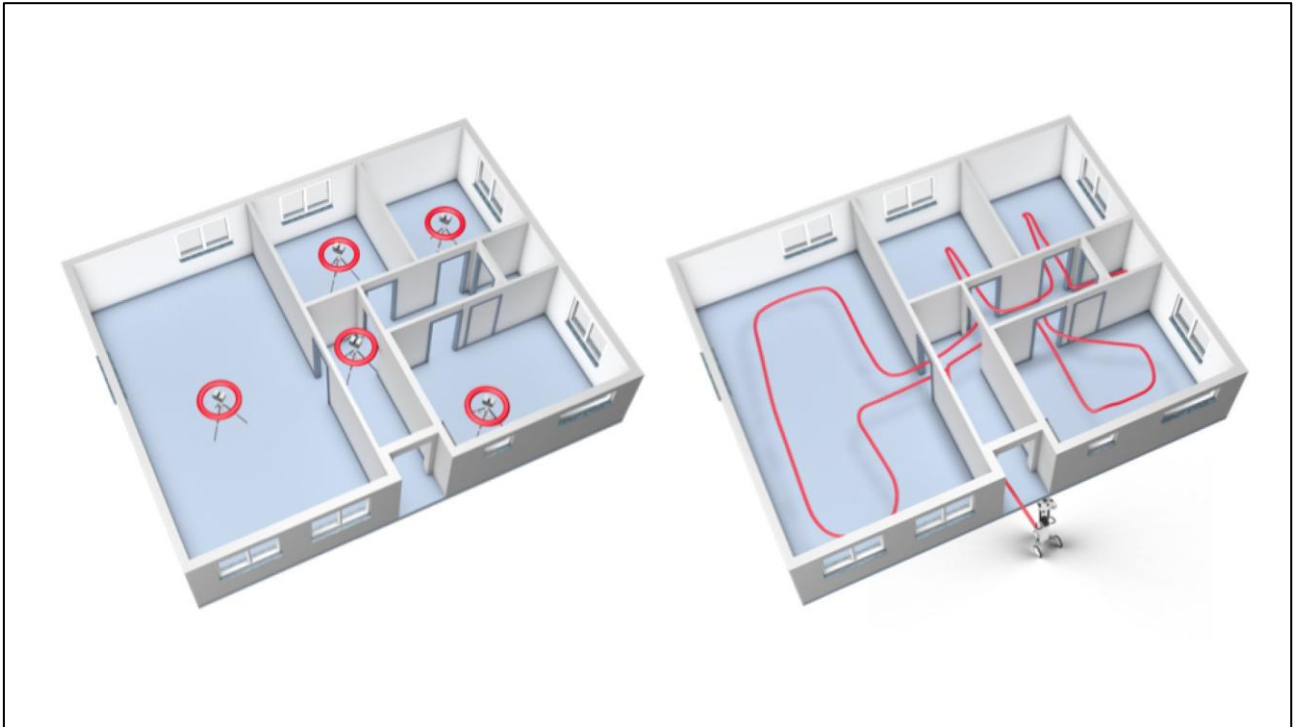


Рис. 1.3. Практична різниця в роботі статичного та SLAM-сканера [61]

Таке методологічне розходження визначає і сильні сторони SLAM, і його граничні умови. У полі SLAM забезпечує високий темп збору даних: оператор рухається природною траєкторією, а сканування виконується без частих перестановок штатива, без розгортання щільної мережі станцій. В інтер'єрах, підземних просторах, паркінгах і тунелях – де GNSS недоступний або нестабільний – SLAM здатен зібрати цілісний, контекстно багатий 3D-масив, недосяжний за порівняний час класичними точковими вимірами [44]. Саме у таких середовищах проявляється його ключова перевага: поєднання швидкості, просторової повноти і автономності збору.

Водночас метрологічний профіль SLAM визначається відносною природою оцінки. Головний недолік – дрейф траєкторії, тобто інтегральна помилка, що накопичується з довжиною маршруту і зростає за умов низької «спостережуваності» сцени. Довгі монотонні коридори, однорідні фасади без виразних геометричних ознак, великі прозори чи глянцеві поверхні погіршують

збіжність оцінки положення і можуть породжувати локальні зсуви або розтягування хмари. Протидією дрейфу є замикання петель та релокалізація: повернення у вже відскановані зони формує додаткові зв'язки у графі оптимізації та рівномірно розкидує помилки по всій траєкторії, особливо якщо алгоритм підтримує глобальну оптимізацію і коректно поєднує LiDAR із інерціальною інформацією [45]. Візуально-інерціальні або LiDAR-інерціальні варіанти покращують локальну стабільність, зменшують зсув кутових орієнтацій, однак не скасовують необхідності зовнішньої опори для абсолютної прив'язки. Саме зовнішня прив'язка – через GNSS/тахеометр, опознаки або природні контрольні пункти – переносить відносну модель у державну/локальну систему координат і забезпечує відтворюваність результатів у межах нормативних процедур [46].

Оцінюючи точність, доцільно відрізнити відносну узгодженість геометрії від абсолютної точності в обраній СК. За раціонально спланованого маршруту з частими петлями, дублюванням критичних відгалужень і вертикальних зв'язків, а також за наявності контрольних маркерів, SLAM стабільно демонструє сантиметровий рівень відносної відповідності для більшості будівельно-архітектурних задач. Абсолютна точність при цьому визначається якістю зовнішньої прив'язки і геометрією контрольних пунктів; погана конфігурація або нерівномірний розподіл маркерів можуть нівелювати переваги навіть дуже «чистої» траєкторії [47]. Для задач із міліметровими допусками – передача осей, високоточні виконавчі схеми, деформаційний моніторинг, кадастрові межі – традиційні методи залишаються безальтернативними: тахеометр, побудований на ретельно створеній мережі, забезпечує міліметрову точність на станції і близько сантиметра по об'єкту; тахеометрія дає міліметровий контроль ключових елементів; GNSS – сантиметри за умов відкритого горизонту [48]. За межами приміщень SLAM чутливий до рухомих об'єктів, вегетації, тремтіння платформи; у лісовому покриві системи дають надійні оцінки відносної структури, проте абсолютна прив'язка ускладнюється, а похибка може зрости внаслідок неоднорідної щільності відбиттів під пологом [49].

Ключем до надійності SLAM є дисципліна планування маршрутів. На етапі планування формують замкнені контури, розміщують контрольні пункти в зонах початку та завершення сканування, на довгих ділянках і на стиках поверхів. У польових роботах забезпечують стабільний крок сканування, достатню швидкість і перекриття, уникають скупчень динамічних перешкод. У постобробці виконують глобальну оптимізацію, геоприв'язку. [50]. Для зон з високою точністю доцільно використовувати статичний сканер або тахеометр, саме гібридна схема дає найкраще співвідношення швидкості збору, повноти контексту і нормативної точності. В економічному вимірі SLAM має перевагу на великих і складних об'єктах з дефіцитом часу, а також у циклічних обстеженнях і оновленнях: собівартість одиниці площі/об'єму зазвичай нижча завдяки меншій трудомісткості польових робіт і мінімізації простоїв. Для вузьких задач із простою геометрією і наявною опорною мережею економіка класики може бути рівною або кращою, особливо якщо вимоги до точності жорсткі, а нормативи – консервативні [51].

На рівні застосувань усталюється така демаркація. SLAM – гарний варіант для інтер'єрів, карстових і підземних порожнин, багатоярусних техповерхів, інженерних комунікацій, паркінгів, а також для фасадів і складних периметрів за умови організації замкнених маршрутів. Традиційні інструменти – еталон для задач, де потрібна міліметрова точність і формальна відтворюваність у регламентованих процесах: передача осей, високоточні виконавчі схеми, деформаційний контроль. Найбільш ефективний підхід у реальних проєктах – інтегрований: SLAM як швидкісний спосіб отримати суцільну 3D-геометрію, тахеометрія як жорстка опора і механізм формалізації результату під вимоги стандартів. У підсумку гібридна методика мінімізує терміни і ризики, підвищує корисність даних і водночас зберігає нормативну валідність продукту зйомки.

Висновки до розділу 1

У розділі обґрунтовано, що хмари точок, отримані методами лазерного сканування, є базовим носієм просторової інформації для наукової фіксації, проєктної реставрації та цифрового збереження об'єктів культурної спадщини. Пріоритет надано цілісності та відтворюваності даних: за умов воєнних ризиків і високої втрати матеріальної спадщини саме швидкий і точний збір первинних вимірювань забезпечує збереження критично важливої геометрії для майбутнього відновлення. Нормативно-правова база – Закон «Про охорону культурної спадщини», Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» і Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500», що прямо визнає лазерне сканування як технологію топографічного картографування, – визначає безпекові вимоги, допустимі умови виконання та склад робіт як для стаціонарних, так і для мобільних рішень, що уможливорює правомірне застосування цих методів на об'єктах культурної спадщини.

Теоретично й технологічно показано відмінності між статичним і мобільним скануванням. SLAM представлено як ключ до безперервного збору даних у середовищах зі слабким або відсутнім GNSS сигналом або таких, що потребують зовнішньої прив'язки до контрольних пунктів. Отже, SLAM переважає там, де важлива швидкість і повнота охоплення даних, тоді як традиційні тахеометричні методи залишаються еталонними для задач із міліметровими допусками. Найефективнішою є гібридна методика, що поєднує швидкість мобільного збору з точністю тахеометра або стаціонарного сканера.

Практично це конвертується у відтворюваний алгоритм збору даних для історико-архітектурних об'єктів Києва, зокрема для Навчального корпусу №4 НУБіП України.

Таким чином, розділ 1 формує цілісну методологічну й правову основу, на якій подальші етапи дослідження – від польових робіт до аналітики –

забезпечують і наукову коректність, і нормативну придатність результатів для консервації, реставрації та довгострокового цифрового збереження культурної спадщини України.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ – НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №4 НУБІП УКРАЇНИ

2.1. Загальна характеристика фізико-географічних умов території розміщення об'єкта

2.1.1. Географічне положення і загальні дані

Навчальний корпус №4 – один з корпусів студентського містечка НУБіП України, в якому базується факультет захисту рослин, біотехнологій та екології та агробіологічний факультет.

Корпус знаходиться в адміністративних межах міста Києва, а саме у Голосіївському районі, за адресою: вулиця Героїв Оборони, 13.

Голосіївський район розташований у південно-західній частині Києва, межує з Шевченківським, Солом'янським, Печерським і Дарницьким (по акваторії Дніпра) районами міста (Рис. 2.1) [9].

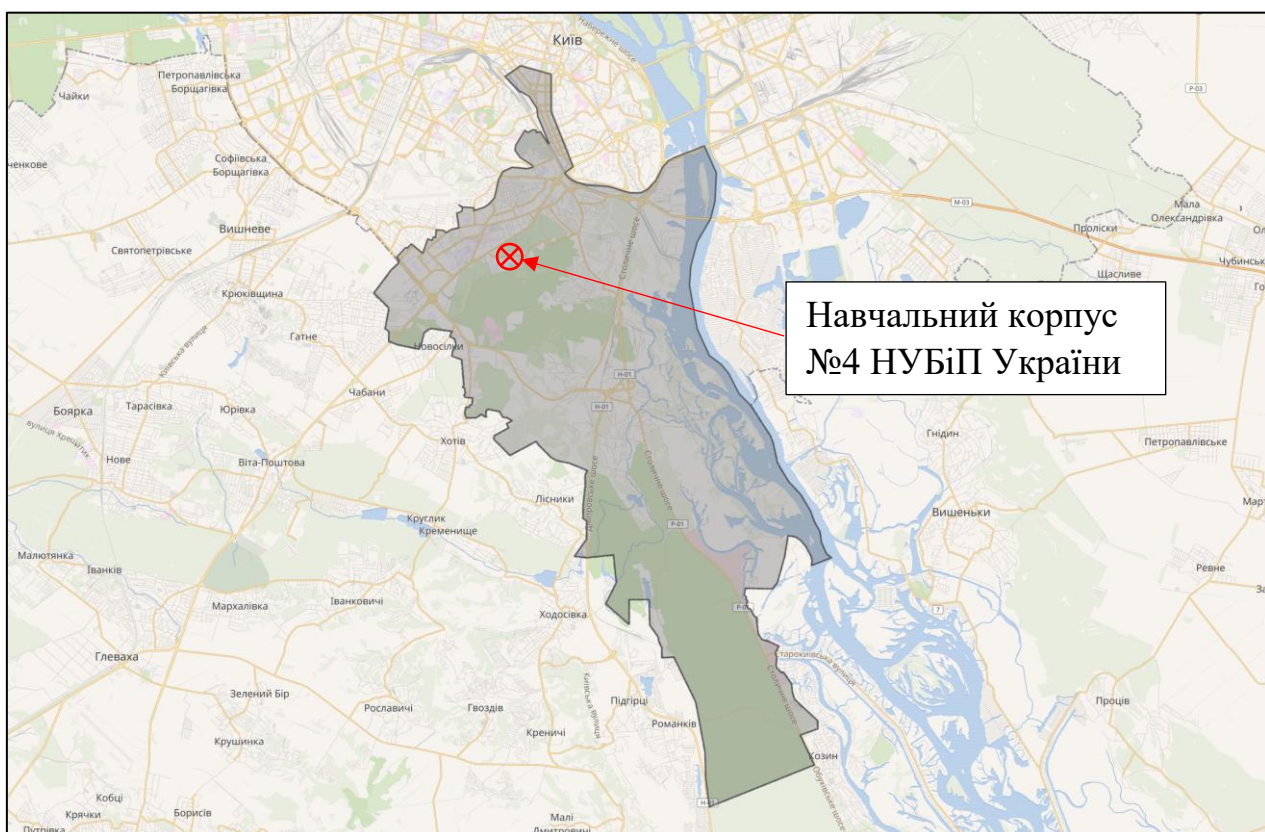


Рис. 2.1. Схема розташування навчального корпусу №4 НУБіП України в
межах Голосіївського району міста Києва

Примітка: сформовано за даними сайту

<https://www.openstreetmap.org/> (дата звернення 26.10.2025р.)

Згідно даних Державного земельного кадастру та Державного реєстру речових прав на нерухоме майно (Додаток А) будівля розташована на земельній ділянці з кадастровим номером 8000000000:79:301:0006 (Рис 2.2).

Земельна ділянка знаходиться за адресою: м.Київ, Голосіївський район, вул. Героїв Оборони 11, 13, 15, 17, має площу 5,9351 га та перебуває у державній власності (Рис. 2.2).

Цільове призначення: 03.02 Для будівництва та обслуговування будівель закладів освіти.

Категорія земель: Землі житлової та громадської забудови.



Рис. 2.2. Розташування земельної ділянки з кадастровим номером 8000000000:79:301:0006 на відкритому геопорталі [kadastrova karta](https://kadastrova-karta.com/)

Примітка: сформовано за даними сайту <https://kadastrova-karta.com/>
(дата звернення 26.10.2025)

2.1.2. Кліматичні умови

Описуючи природні умови території дослідження варто враховувати загальну характеристику по місцю розташування, а саме міста Києва.

Київ розташований у помірному поясі, який охоплює переважну частину Європи. Місто знаходиться майже в центрі цього поясу – хіба що дещо

південніше. На півночі Європи простягається субарктичний пояс, на півдні – субтропічний, характерний для середземноморських країн.

Загалом клімат Києва належить до сприятливого і для мешканців міста, і для господарської сфери. В українській столиці майже не буває лютих морозів, а також нестерпної спеки. Оптимальною є кількість опадів. Місту властива і невелика швидкість вітру. Нечастими є такі явища, як сильні тумани чи хуртовини [10].

Для Київщини характерний широкий діапазон змін температури. Середня температура літніх місяців – близько $+19^{\circ}\text{C}$, зимових – близько -5°C . Найнижча зафіксована температура -36°C , найвища близько $+40^{\circ}\text{C}$ у тіні. Погода часто мінлива, особливо взимку. Хвилі тепла й холоду тривалістю 3-5 діб (інколи до 15-22 діб) змінюються в середньому 2-5 разів на місяць [11].

Найбільшу повторюваність у місті мають західні і північно-західні вітри, найменшу – вітри зі сходу. Швидкість вітру в столиці порівняно невелика – в середньому за рік 2,5 м/с, улітку – дещо менша, взимку та в березні – більша. Існує тенденція зменшення швидкості вітру, властива більшій частині території України та сусідніх країн.

З температурою і вітровим режимом пов'язаний режим вологості повітря. Найбільшою є абсолютна вологість влітку, найменшою – взимку. Протилежним є перебіг відносної вологості [10].

Відносна вологість нічного повітря взимку становить 80-90%, влітку – близько 65%; удень – відповідно 80-85% та близько 50%. В окремі періоди повітря буває дуже сухим. Відомий випадок, коли вологість знизилася до 12%. Взимку, незважаючи на високу відносну вологість повітря, абсолютна вологість дуже мала (завдяки низьким температурам). Так, при температурі 0° у м^3 повітря може міститися не більше 6 г водяної пари. Надлишок конденсується, оскільки відносна вологість за таких умов наближається до 100%.

У Києві щороку в середньому нараховується 160 діб з опадами [11].

Середня багаторічна кількість опадів у місті становить 618 мм. Найбільше їх випадає у липні, найменше – у січні [10].

Однак у різних районах міста та його околиць в одному й тому ж році вона буває різною. Відхилення від норми становить 30-50% [11].

Урізноманітнюють клімат столиці численні атмосферні явища: туман, гроза, ожеледь, ожеледиця, роса, іній, хуртовина, град та ін. Так, у теплу пору року мало не кожного другого дня в Києві спостерігається роса. Доволі часто – насамперед у листопаді та грудні спостерігається туман. Водночас такі явища, як хуртовина і шквал, трапляються рідко.

Певні особливості має клімат у різних куточках Києва. Мікрокліматичні особливості значною мірою зумовлені рельєфом міста, щільністю забудови, рослинним покривом, близькістю до Дніпра [10].

2.1.3. Рельєф

Поверхня більшої частини Київщини – хвилясто-рівнинна, розчленована річковими долинами, ярами й балками. На сході області простягається Придніпровська низовина, де переважають піщані та піщано-глинисті відклади. На півдні й південному заході Київщини – Придніпровська височина, в її основі залягають тверді кристалічні породи [12].

Розглядаючи рельєф досліджуваного об'єкту варто звернути увагу і на прилеглі території, а саме землі Національного природного парку «Голосіївський», у якому знаходиться дві системи балок – Дідорівська у його північно-західній частині й Китаївська у східній частині. По днищах головних балок протікають струмки, на яких створено каскади ставків [13].

Територія Києва розташована на важливому природному рубежі Східноєвропейської рівнини, на схилах Придніпровської височини з рівнинним рельєфом, на Поліській і Придніпровській низовинах. Більша частина міста лежить на високому правому березі Дніпра – Київському плато, порізаному на окремі височини густою мережею ярів [14].

Абсолютні висоти Київського плато коливаються від 90 до 196 м над рівнем моря. Складність рельєфу правобережного плато проявляється у чергуванні уступів та вимоїн, його перетинає більш ніж 50 глибоких ярів довжиною до 2,5 км [14].

Безпосередньо навчальний корпус №4 НУБіП України розташований на межі пагорбу на висоті приблизно 189 м (Рис 2.3).

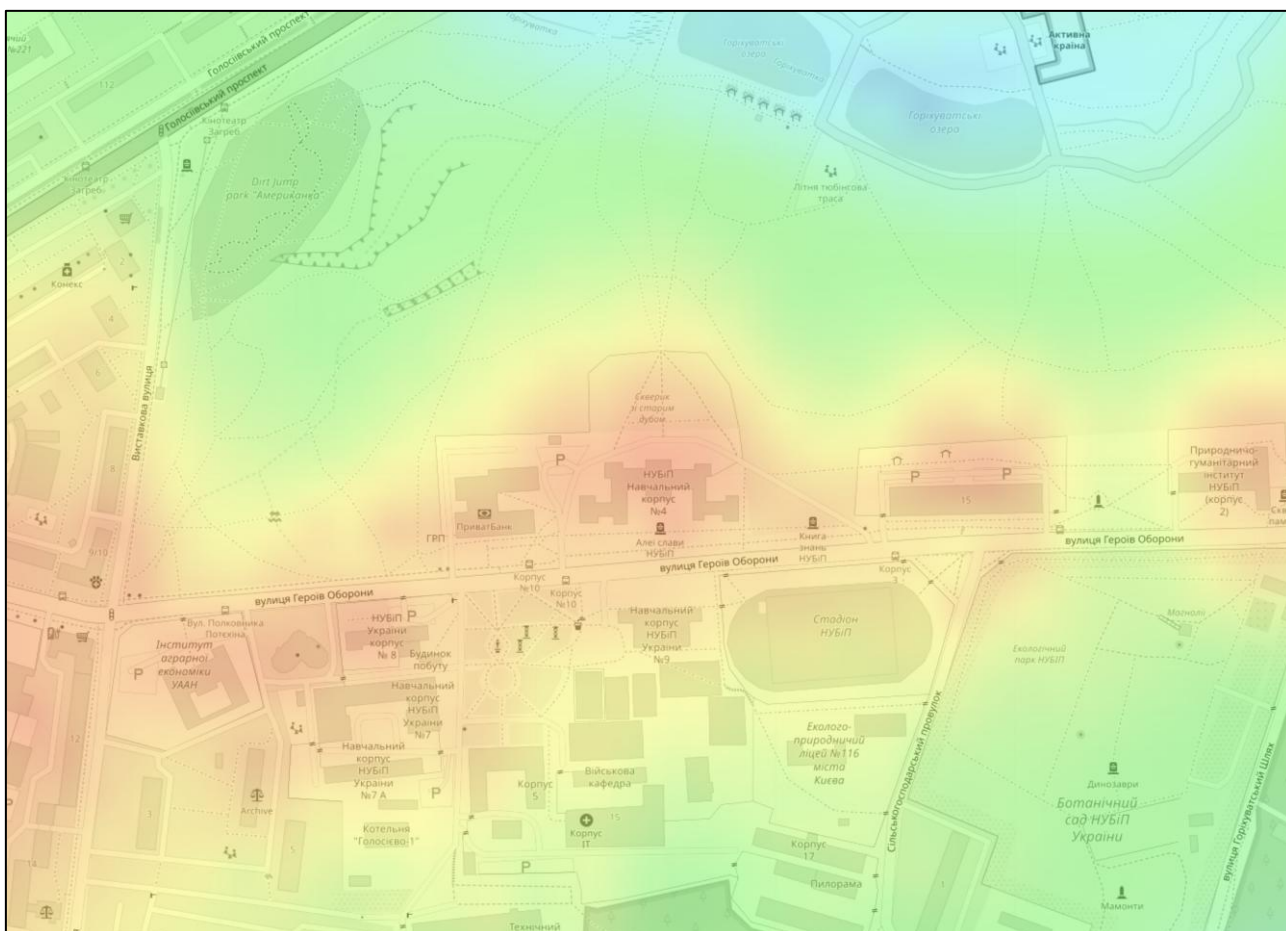


Рис. 2.3. Рельєф території дослідження

Примітка: сформовано за даними сайту <https://uk-ua.topographic-map.com/>
(дата звернення 26.10.2025)

2.1.4. Геологічна будова та ґрунтово-рослинний покрив

Територія Голосіївського парку, в якому знаходиться об'єкт дослідження в більшій частині припадає на надзаплавні тераси Дніпра Північно-Придніпровської фізико-географічної області. Тераси складені потужними

давньоалювіальними пісками. В умовах недостатнього зволоження і відносно низького рівня залягання ґрунтових вод тут сформувалися дерново-слабо – і середньопідзолисті піщані і пілуватопіщані ґрунти. Природна рослинність представлена сухими і свіжими борами. Тут переважають наступні типи урочищ: дрібнохвилясті горбкуваті і вирівнені піщані рівнини, з дерново-слабкопідзолистими піщаними і крупнопилувато-піщанистими зв'язнопіщаними ґрунтами, під сухими і свіжими борами та різнотравно-злаковими формаціями, а також вирівнених понижених, піщаних рівнин, з дерново-слабкопідзолистими крупнопилуватими піщаними ґрунтами під свіжими суборами [15].

У межах Голосіївського лісу переважають ландшафти широколистянолісового типу – це підвищені акумулятивно-денудаційні рівнини на лесових суглинках, з темно-сірими та сірими піщанисто-крупнопилуватими легкосуглинковими ґрунтами під свіжими дібровами. А також схили: відлогі делювіальні з сірими ґрунтами, похилі делювіальні з сірими та ясно-сірими ґрунтами під свіжими та вологими дібровами та судібровами та покаті делювіально-колювіальні суглинкові, з дерновими та сірими лісовими крупнопилуватими і піщанисто-крупнопилуватими легкосуглинковими слабкозмитими ґрунтами під свіжими судібровами. Схили воднольодовикових рівнин – відлогі делювіальні, піщані, з дерново-слабкопідзолистими крупнопилуватими піщаними і зв'язнопіщаними ґрунтами під складними суборами й різнотравно-злаковими формаціями займають. Незначні площі зайняті лучними ландшафтами річкових заплав вирівнені супіщані і суглинкові, з заплавними дерновими глейовими та глеюватими крупнопилуватопіщанистими та крупнопилуватими супіщаними ґрунтами під різнотравно-вологотравними та вологотравно-осоковими луками. А також балками трапецевидними в лесових та валунних суглинках, з дерновими глейовими крупнопилувато-піщанистими супіщаними й легкосуглинковими ґрунтами та западинами в опіскованих суглинках і суглинках з

слабконахиленими схилами, з дерново-підзолистими глейовими та глеюватими ґрунтами під вологими та вогкими дібровами та судібровами [15].

Нижче зображено карту ґрунтового покриву міста Києва (Рис 2.4).

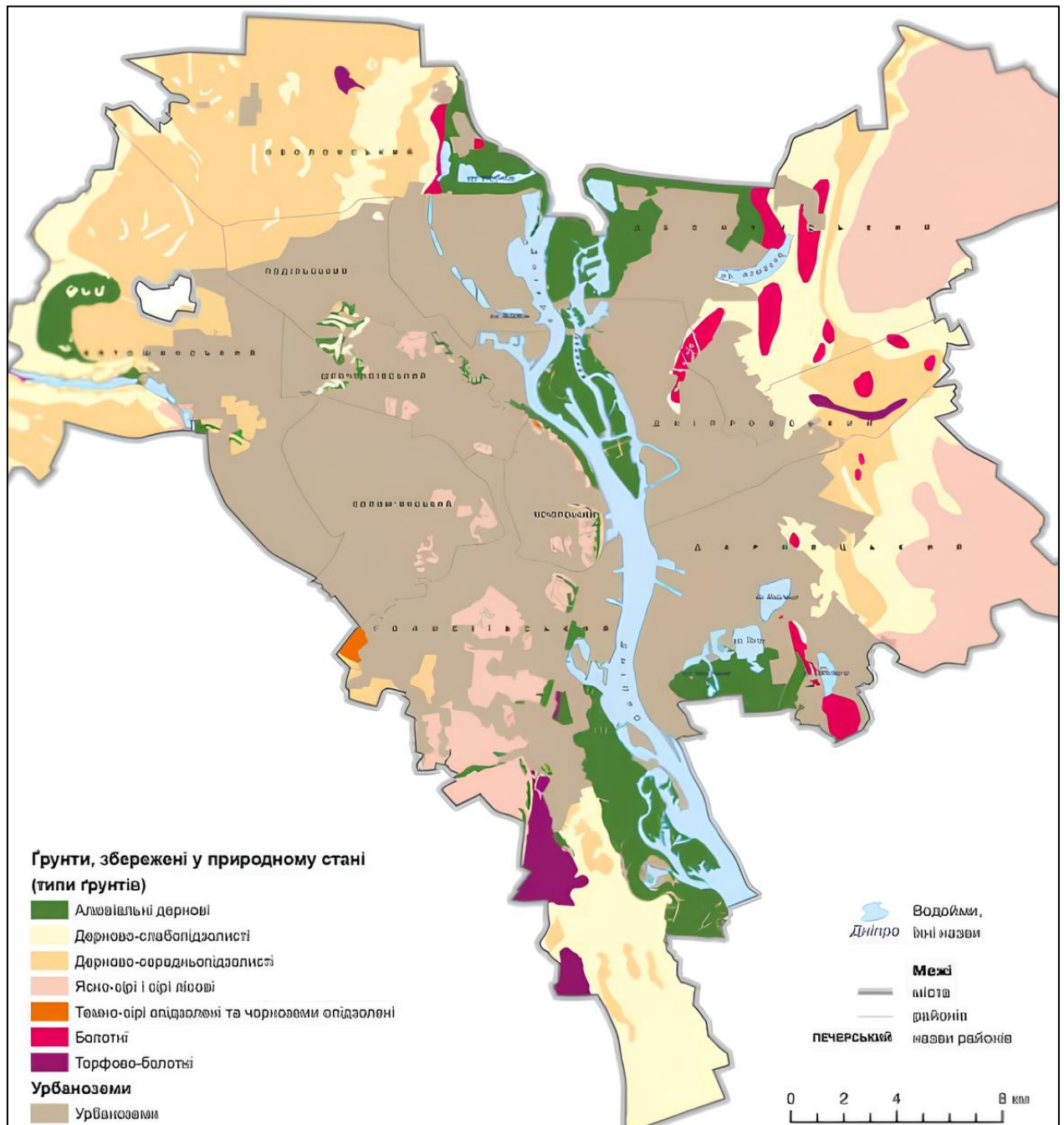


Рис. 2.4. Сучасний ґрунтовий покрив території м. Києва [16]

2.2. Історичний контекст та архітектурно-конструктивні особливості будівлі

2.2.1. Історія будівництва та архітектурні особливості

Корпус № 4, побудований по вул. Героїв Оборони, був найбільшим та претендував стати головним. Стилiстика фасаду близька до корпусу № 2, однак архітектурна композиція має значні відмінності. За даними паспорта архітектуру корпусу виконано у стилі українського модерну з творчим використанням історичних форм українського бароко. Центральний блок - триповерховий. Головний фасад має центральний і два бічні ризаліти (рис 2.5) [17].



Рис 2.5. Центральний ризаліт

Примітка: сформовано за даними сайту

<https://maps.google.com/> (дата звернення 26.10.2025р.)

На висоту двох поверхів фасад прикрашає декоративна аркатура, яка виступає над поверхнею стіни. На рівні третього поверху стіна розчленована пілястрами і відокремлена від другого поверху карнизом. Завершує стіну бароковий карниз, який має невеликий винос. Центральний вхід розміщений по вісі центрального ризаліту та орієнтований до Голосіївського лісопарку. Арочний отвір прикрашений сандриком у вигляді двох валют, що спираються на виступаючі зі стіни капітелі. Центральний ризаліт увінчаний трикутним фронтоном з трьома арочними отворами, над якими розташовані трикутні сандрики. Площина фронтона симетрично прикрашена декоративним орнаментом та архітектурними елементами у вигляді пілястр та сандриків (рис. 2.6) [18].



Рис 2.6. Декоративні елементи на фронтоні

Примітка: сформовано за даними сайту

<https://maps.google.com/> (дата звернення 26.10.2025р.)

На фасаді, який виходить до вул. Героїв Оборони, центральному ризаліту відповідає ніша, увінчана хвилястим фронтоном (рис. 2.7). Бічні крила завершуються масандровим поверхом та арочними вікнами. Кольорове рішення характерне для барокової архітектури – на блакитних площинах стін виділяються білі архітектурні деталі [18].



Рис 2.7. Хвилястий фронтон на задньому фасаді будівлі

Примітка: сформовано за даними сайту

<https://maps.google.com/> (дата звернення 26.10.2025р.)

За даними паспорта третій поверх був добудований після Другої світової війни. Однак інших джерел, які б підтвердили таку інформацію, не виявлено. Також виявлено інформацію, що цокольний поверх бічних крил зі сторони вулиці мав відкриті аркові лоджії, які пізніше були замуrowані [19].

Цокольний поверх бічних крил з боку вулиці початково мав відкриті аркові лоджії (замуrowані). Переkritтя пласкі залізобетонні, у вестибулі та коридорах спираються на підпружні арки. Дахи бляшані, вальмові – над триповерховим корпусом та мансардами, вальмові із заломом й ошатними люкарнами над бічними крилами. Внутрішнє планування однобічне коридорне, пов'язане з парадними тримаршовими сходами по осі головного входу та чотирма двомаршовими сходами з окремими входами у крилах (рис 2.8).

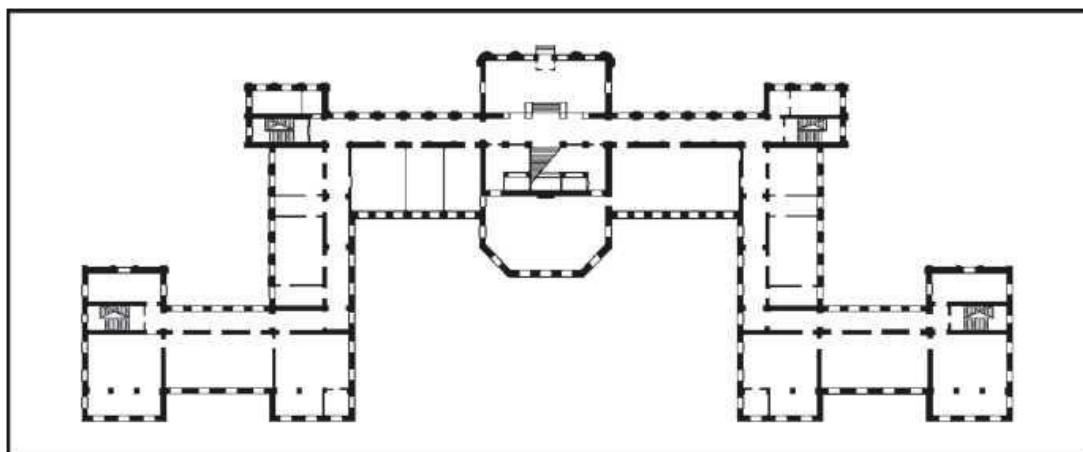


Рис 2.8. План-схема навчального корпусу №4 НУБіП України [20]

Особливістю споруди є розташування чолового фасаду та головного входу не з боку вулиці, а з протилежного, зверненого до лісу, північного боку. У найширше середнє прясло на рівні третього поверху вписано ампірне півкругле тридільне вікно. Фланги фасаду разом із ризалітами розділено проміжним карнизом на два яруси, нижній з яких охоплює перший та другий поверхи. Нижній ярус між ризалітами оздоблено пристінною декоративною аркадою з прогоном на одне вікно. На першому та другому поверхах вікна прямокутні, на третьому – аркові [20].

Аналогічні засоби архітектурного оздоблення застосовано на складних за конфігурацією бічних фасадах. Карнизи під мансардним поверхом відповідають рівню проміжного карниза. Площини між ризалітами оформлено двоповерховою декоративною аркадою. Вікна прямокутні та лучкові (в об'ємах, наближених до вулиці). Арковим вікнам третього поверху відповідають такі самі за формою ритмічно розміщені люкарни. Отвори входів завершено півкруглою перемичкою, з них найближчий до вулиці має схожий з головним входом вінцевий сандрик. Скромніший вигляд має звернений до вулиці південний фасад. Лише його бічні крила під мансардою розкреслено міжвіконними пілястрами, в той час як триповерхова площина в глибині курдонеру гладенька. Западина в її центрі увінчана бароковим за абрисом чотиривіконним фронтоном, перед нею виступає одноповерхове, гранчасте у плані приміщення з арковими отворами (зала чи велика аудиторія). У відповідності з чоловим фасадом вікна третього поверху аркові.

Завдяки застосуванню аркади на квадратних пілонах інтер'єра головних вхідних приміщень надано урочистого характеру. Будинок посідає істотне місце в містобудівному комплексі НУБіП, є цінною пам'яткою архітектури радянського часу [20].

2.2.2. Сучасний стан будівлі і потреба в документації

У 2018 році навчальний корпус №4 НУБіП України набув свого первісного вигляду як яскравий зразок українського необароко авторства Дмитра Дяченка. Позбувшись риштувань, його центральний фасад знову радує око початковими біло-синіми барвами, лиш цоколь – сірий. Щоправда, як основний колір нині використана не архаїчна синька (як це на час його будівництва), а пігментна паста голуба. Замінили на сучасні по всьому корпусу і вікна – загалом 130. Змін зазнав і внутрішній інтер'єр, наприклад хол став гранітним – більш ошатним [21].

Наказом Міністерства культури та стратегічних комунікацій України від 15.03.2024 №201 «Про занесення об'єктів культурної спадщини до Державного реєстру нерухомих пам'яток України» – Комплекс споруд Української сільськогосподарської академії додано до реєстру пам'яток архітектури місцевого значення міста Києва [22].

В нинішніх умовах воєнного стану будь-яка будівля, особливо культурна спадщина перебуває в постійній небезпеці, що є передумовою фіксації всіх архітектурних особливостей фасаду та створення 3D-копії з метою збереження історичної цінності та в разі руйнування мати зразок для реконструкції.

Висновки до розділу 2

Даний розділ описує навчальний корпус № 4 НУБіП України як об'єкт з виразною історико-архітектурною ідентичністю та високою містобудівною значущістю. Будівля, зведена до 1930 р. у стилі українського модерну з творчим використанням форм українського бароко, має складну композицію головного фасаду з центральним і двома бічними ризалітами, двоповерховою декоративною аркатурою, пілястрами, проміжними та вінцевими карнизами, фронтонами й арковими отворами. Особливу увагу привертає нетипова орієнтація – головний вхід спрямований не до вулиці, а в бік лісопарку.

Розташований корпус у межах Голосіївського району м. Києва.

Включення будівлі до Реєстру пам'яток архітектури підсилює мотивацію до створення повної та відтворюваної цифрової копії об'єкта в умовах воєнного стану.

Природне оточення корпусу зумовлене його сусідством із НПП «Голосіївський». Таке розташування підсилює цінність об'єкта в екологічному та культурному значенні.

Нині у будівлі розташований агробіологічний факультет та факультет захисту рослин, біотехнологій та екології, що органічно продовжує його освітньо-дослідницьку функцію.

У сукупності архітектурні особливості навчального корпусу № 4, його історико-функціональна спадкоємність, природний контекст і статус пам'ятки формують підстави для цілісного та вивіреного опису об'єкта дослідження, а також обґрунтовують пріоритетне виконання лазерного 3D-сканування для створення цифрового двійника, фіксації поточного стану і моніторингу.

РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ФАСАДУ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №4 НУБІП УКРАЇНИ І ПОРІВНЯННЯ З РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕХЕОМЕТРИЧНОЇ ЗЙОМКИ

3.1. Прилади та обладнання для виконання дослідження

3.1.1. Лазерний сканер з технологією SLAM: конструктивні особливості і технічні характеристики

Alpha Geo Lixel L2 – це портативний лазерний сканер нового покоління для 3D-реконструкції в реальному часі, що забезпечує діапазон сканування 300 метрів з надвисокою точністю (рис 3.1). Він може миттєво виводити хмару кольорових точок без використання зовнішніх пристроїв, створюючи тонші, чистіші та однорідніші дані. Це призводить до трансформації ефективності та якості 3D-моделювання та захоплення реальності [23].



Рис. 3.1 Зовнішній вигляд лазерного сканеру Alpha Geo Lixel L2

Примітка: сформовано за даними сайту <https://www.alphageo-info.com>

(дата звернення 26.10.2025р.)

Сценарії застосування:

- Землеустрій;
- Інженерні вимірювання;
- Міська реконструкція;
- Гірничі вимірювання;
- Сільське господарство та лісове господарство;
- Аварійні вимірювання.

Різноманітне поєднання датчиків підвищує продуктивність до вищого рівня. Високоінтегрований LIDAR, панорамна камера, високоточний модуль IMU та високопродуктивний обчислювальний блок дозволяють здійснювати 360-градусне панорамне сканування без зовнішнього обладнання.

Відстань вимірювання 120м дозволяє охопити ширший діапазон сканування, що робить роботу більш ефективною.

Хмара точок у справжніх кольорах, відтворення реальної сцени. Генерація хмари точок у справжніх кольорах у режимі реального часу з багатими деталями та делікатним зображенням реального світу.

Базовий алгоритм Multi-SLAM, висока адаптивність до сцен. Вбудовані самостійно розроблені основні алгоритми, поєднання лазерного, візуального та GNSS-модулів, що забезпечує чудову продуктивність у складних/погіршених умовах, таких як відкриті простори, тунелі та багатокomпонентні об'єкти [23].

LixelStudio – універсальне програмне забезпечення для 3D-пост-обробки пропонує широкий спектр функцій, включаючи перегляд хмари точок, редагування та створення моделей.

LixelGo – це мобільний додаток для регулярної роботи зі скануванням, попереднього перегляду результатів сканування та моніторингу стану пристрою на одному екрані [23].

Нижче наведено заявлені виробником технічні характеристики даного мобільного лазерного сканера (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики мобільного лазерного сканеру

Alpha Geo Lixel L2 [23]

Параметр	Значення
Робочий діапазон	0,5м~ 120 м
Клас лазера	1 клас / 905 нм
Поле зору лазера (FOV)	360° × 270°
Режим обробки	У реальному часі / постобробка
Швидкість сканування	320 000 точок/с
Діапазон робочих температур	-20°C ~ +50 °C
Споживана потужність	< 30 Вт
Обсяг пам'яті	1 ТБ
Час роботи	1,5 год
Ступінь захисту	IP54
Горизонтальна точність	≤ 0,015°
Кількість камер	3
Живлення	Швидкознімний акумулятор / зовнішнє живлення
Габарити (основний блок)	138,45 мм (Д) × 90 мм (Ш) × 227,32 мм (В)
Маса	< 1,6 кг
Візуально-асистоване позиціонування	Підтримується
Кольорова хмара точок у реальному часі	Підтримується
5G-передача в реальному часі	Підтримується
Інтеграція з RTK	Підтримується
Продовження сканування з місця переривання	Підтримується

Формат хмари точок	.las
Відносна точність	+1,2 см
Абсолютна точність	≤ 3 см
Повторюваність	≤ 2 см
Ємність акумулятора	46,8 Вт·год

3.1.2 Електронний тахеометр і його характеристики

Alpha Geo Alpha Y – 2-ох секундний тахеометр, завдяки перевагам операційної системи Android, Alpha Y оснащено передовим програмним забезпеченням для геодезичних, топографічних та інженерних робіт – Surpro 6.0. Завдяки нескінченним гвинтам Alpha Y швидко наводиться на ціль, що значно покращує ефективність роботи (рис 3.2) [24].



Рис. 3.2 Зовнішній вигляд тахеометру Alpha Geo Alpha Y

Примітка: сформовано за даними сайту <https://www.alphageo-info.com>

(дата звернення 26.10.2025р.)

Основні переваги:

- Система Android 11 з відкритою платформою та високою масштабованістю, що дозволяє налаштовувати програми відповідно до потреб різних галузей;
- Оснащений чотирьохядерним процесором, архітектурою ARM Cortex-A55, тактова частота якого може сягати 2 ГГц;
- Різноманітні режими зв'язку: Bluetooth, USB-диски, Type-C. GSM;
- 4Гб ОЗП + 32Гб ПЗП, працює плавно і без затримок;
- 720P HD, великий 5,5 дюймовий екран, чітко видимий при яскравому світлі;
- Акумулятор великої ємності та інтелектуальне управління живлення забезпечують тривалий час роботи, а також одно- та двостороннє перемикання дисплея;
- Конструкція системи вимірювання кута на основі ПЗЗ-матриці для ефективного усунення системних помилок [24].

Нижче наведено заявлені виробником технічні характеристики даного тахеометра (табл. 3.2).

Таблица 3.2.

Технічні характеристики тахеометру Alpha Geo Alpha Y [24]

Кутова точність	2"
Компенсатор	Двохосний
Робоча температура	від – 20 до + 50 °С
Діапазон компенсації / Точність	±3' / 1"
Дальність на призму	до 5 000 м
Дальність без відбивача	до 1 000 м
Збільшення	x30
Діапазон фокусування	від 1 м до ∞

Автофокусування зображення	немає
Лазерний цілевказівник	є
Камера	немає
Функція сканування	немає
Дисплей основний	5.5", 1280x720 пікс, кольоровий, сенсорний
Дисплей додатковий	5.5", 1280x720 пікс, кольоровий, сенсорний
Клавіатура	15 клавіш
Центрир	лазерний, точність 1 мм на 1.5 м висоти інструменту
Пам'ять	32 ГБ
Інтерфейси	RS-232, USB Type-C, Bluetooth, Wi-Fi, слот SD
Живлення	Li-ion батарея 7.4 В, 5.2 Ач
Клас захисту від пилу та води	IP55
Час роботи (вимірювання кутів і відстаней кожні 30 с)	до 8 годин
Розширення пам'яті	USB флеш, карта TF

3.2. Планування та виконання польових робіт

3.2.1. Побудова геодезичної основи для зйомки

Перед початком польових робіт варто чітко визначити послідовність дій, адже це мінімізує кількість помилок і забезпечує правильність всього дослідження. Польову частину дослідження доцільно структурувати на три взаємопов'язані кроки: створення геодезичної основи, виконання тахеометричної зйомки та виконання лазерного сканування.

Чітке дотримання цієї послідовності, гарантують коректність подальшого порівняльного аналізу та відтворюваність експерименту (рис 3.3).

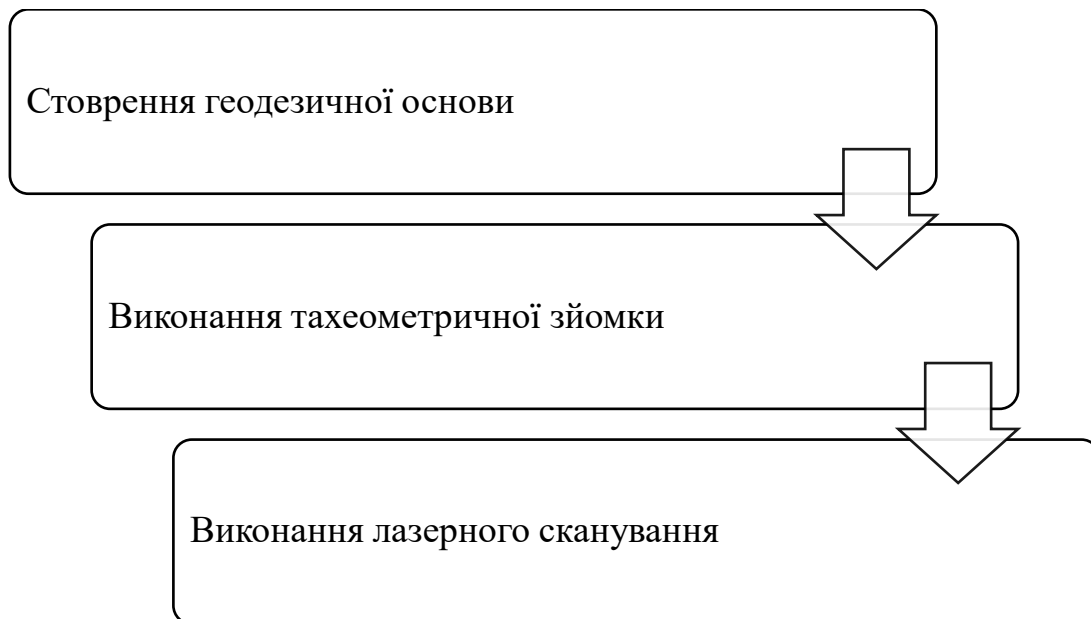


Рис 3.3. Етапи виконання польових робіт

Правильно створена геодезична основа є обов'язковою частиною дослідження, оскільки ця основа є спільною для тахеометричної зйомки та лазерного сканування.

Основною метою є забезпечити єдину систему відліку для обох методів вимірювань – тахеометру та мобільного лазерного SLAM-сканера, що дасть можливість порівняти результати, контролювати точність, гарантувати відтворюваність дослідження.

В рамках дослідження планується сканувати вхідну частину корпусу, отже буде достатньо 4 опорних точок, ця кількість забезпечить повну видимість досліджуваної частини будівлі. Для коректної прив'язки хмари точок при постобробці також необхідно мінімум 4 опорні точки.

Спершу було закладено і знято 4 точки GNSS-приймачем, цей крок не є обов'язковим у дослідженні і робився з метою прив'язки хмари точок до місцевої системи координат і її майбутнього використання.

Наступним кроком методом оберненої засічки було зорієнтовано прилад і презнято всі 4 точки, таким чином між точками зберігається геометрія відстаней. Метод оберненої засічки було обрано через його точність та відсутність похибки за рахунок центрування та визначення висоти приладу.

Отже, в результаті цих всіх кроків, ми отримали 4 точки, які точно пов'язані між собою та дають змогу зорієнтувати прилад в будь-якій частині досліджуваної території (рис 3.4).



Рис. 3.4. Розташування пунктів геодезичної основи

3.2.2. Методика виконання тахеометричної зйомки фасаду

Перед початком зйомки, на фасаді навчального корпусу №4 було розклеєно 8 марок, саме вони будуть використовуватися для подальшого порівняння точності тахеометра та сканера.

Під час зйомки використовувалось 3 станції, кожна марка була знята мінімум 2 рази з різних станцій для контролю точності. Розходження на одній і тій самій марці, але при різних станціях не були більше 1 мм (рис 3.4).






Рис. 3.4. Процес виконання тахеометричної зйомки


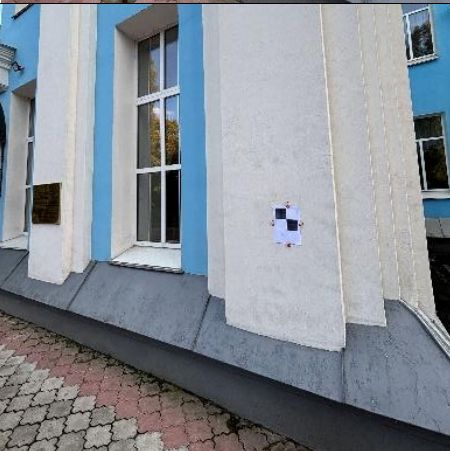


*Примітка: власне фото


У каталозі (табл. 3.3) наведено номери марок, їхнє розміщення на будівлі навчального корпусу №4 НУБіП України, а також їх планове та висотне положення у системі координат МСК-80 за результатами тахеометричного знімання. Марки М1-М3 були прикріплені на лівому крилі будівлі, М4,М5 – у центральній частині (поряд з вхідною групою), М6-М8 – на правому крилі будівлі.

Таблиця 3.3.

Каталог координат марок, отриманих в результаті тахеометричної зйомки та їх розміщення на будівлі навчального корпусу №4 НУБіП України

№ марки	Фото розміщення марки на будівлі навчального корпусу №4 НУБіП України	Координати, м
M1		$X = 5583682.346$ $Y = 299923.262$ $Z = 185.941$
M2		$X = 5583680.974$ $Y = 299911.641$ $Z = 187.283$
M3		$X = 5583677.901$ $Y = 299901.474$ $Z = 187.091$

M4			X = 5583685.558 Y = 299889.934 Z = 187.646
M5			X = 5583685.173 Y = 299873.798 Z = 187.549
M6			X = 5583676.945 Y = 299866.308 Z = 187.584
M7			X = 5583679.408 Y = 299852.454 Z = 187.374

M8		$X = 5583680.235$ $Y = 299841.482$ $Z = 187.069$
----	--	--

3.2.3 Методика проведення лазерного сканування за технологією SLAM

Виконання сканування виконується за допомогою спеціального застосунку LixelGo.

LixelGo – мобільний додаток-супутник для пристроїв Lixel, що забезпечує керування сканером у режимі реального часу, попередній перегляд даних у реальному часі та моніторинг пристроїв для безперебійної роботи в польових умовах [25].

Перед початком польових робіт сканер було під'єднано до застосунку через Wi-Fi, виконано перевірку стану акумулятора, обсягу вільної пам'яті в сканері. У LixelGo обрано режим сканування Outdoor, після початку сесії сканеру потрібно декілька секунд для ініціалізації свого положення, далі можна вільно рухатись і сканувати.

Маршрут зйомки сплановано так, щоб мінімізувати дрейф, забезпечити достатню кількість замикань петель і періодичне стояння сканеру на опорних точках. Основні проходи виконувались паралельно площини фасаду на відстані близько 5-6 метрів із рівномірною швидкістю руху.

Важливим елементом стали фасадні марки, розміщені заздалегідь, маршрут спроектовано так, щоб мішені багаторазово потрапляли в поле зору під різними азимутами і на виході в цих місцях була щільна хмара точок.

У польових умовах періодично здійснювався короткий перегляд попереднього результату в LixelGo: оцінювалися індикатори якості локалізації, щільність покриття та наявність прогалів, після чого за потреби виконувались дознімання. Віддавалась перевага довшим маршрутам з якісними замиканнями, оскільки така стратегія покращує стабільність хмари та зменшує накопичення помилок.

Камеральна обробка виконувалась у програмному застосунку Lixel Studio – це робоча станція для обробки хмар точок для сканерів Lixel.

Має багато різноманітних функцій, таких як:

- Автоматизована обробка даних – усуньте вузькі місця ручної обробки. Перетворіть години складних робочих процесів на хвилини автоматизованої обробки з точністю до сантиметра.

- Інструменти вимірювання та аналізу – отримайте корисну інформацію з даних хмари точок. Здійснюйте точні вимірювання та створюйте детальні аналітичні звіти для впевненого прийняття рішень.

- Професійні робочі процеси – безперебійно підключайтеся до існуючих систем. Отримуйте результати рівня геодезичних досліджень у стандартних для галузі форматах, які інтегруються безпосередньо в робочі процеси BIM, CAD та GIS [26].

Для постобробки хмари точок достатньо завантажити сирі дані сканування та координати опорних пунктів, по яких виконувалось сканування у програмне забезпечення LixelGo – далі програма автоматично урівняє та прив'яже хмару точок (рис 3.5-3.6).

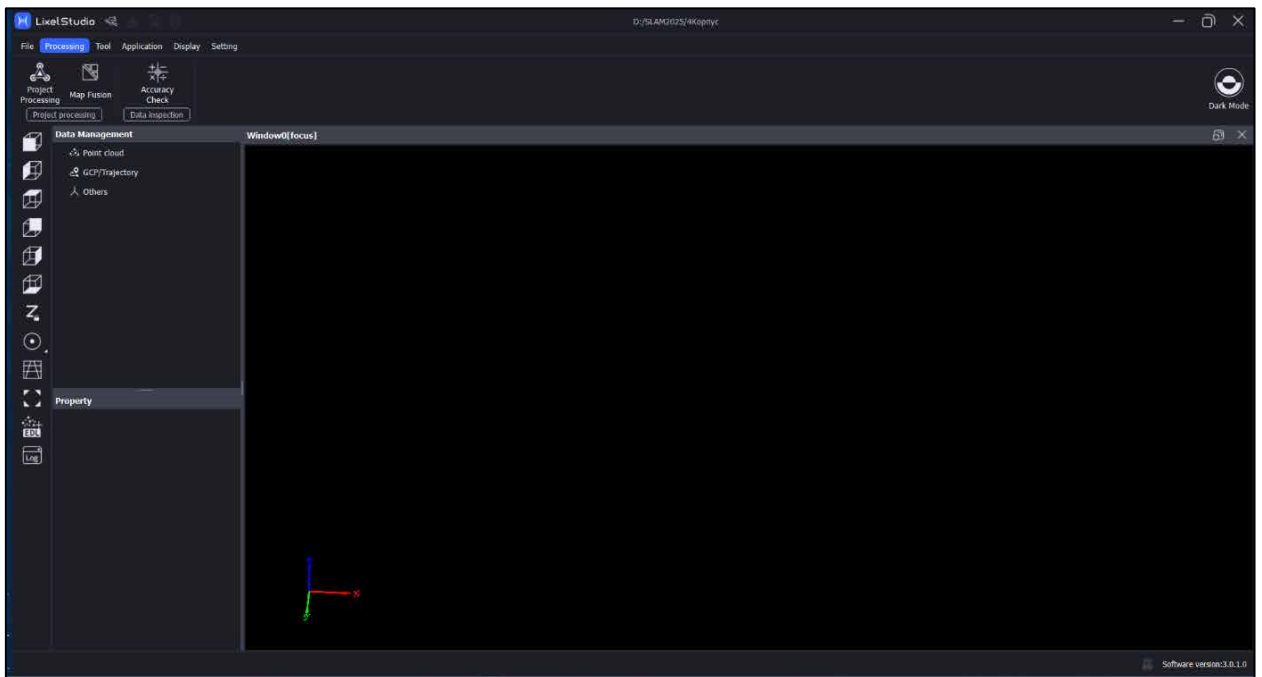


Рис. 3.5. Вигляд робочого простору програми Lixel Studio

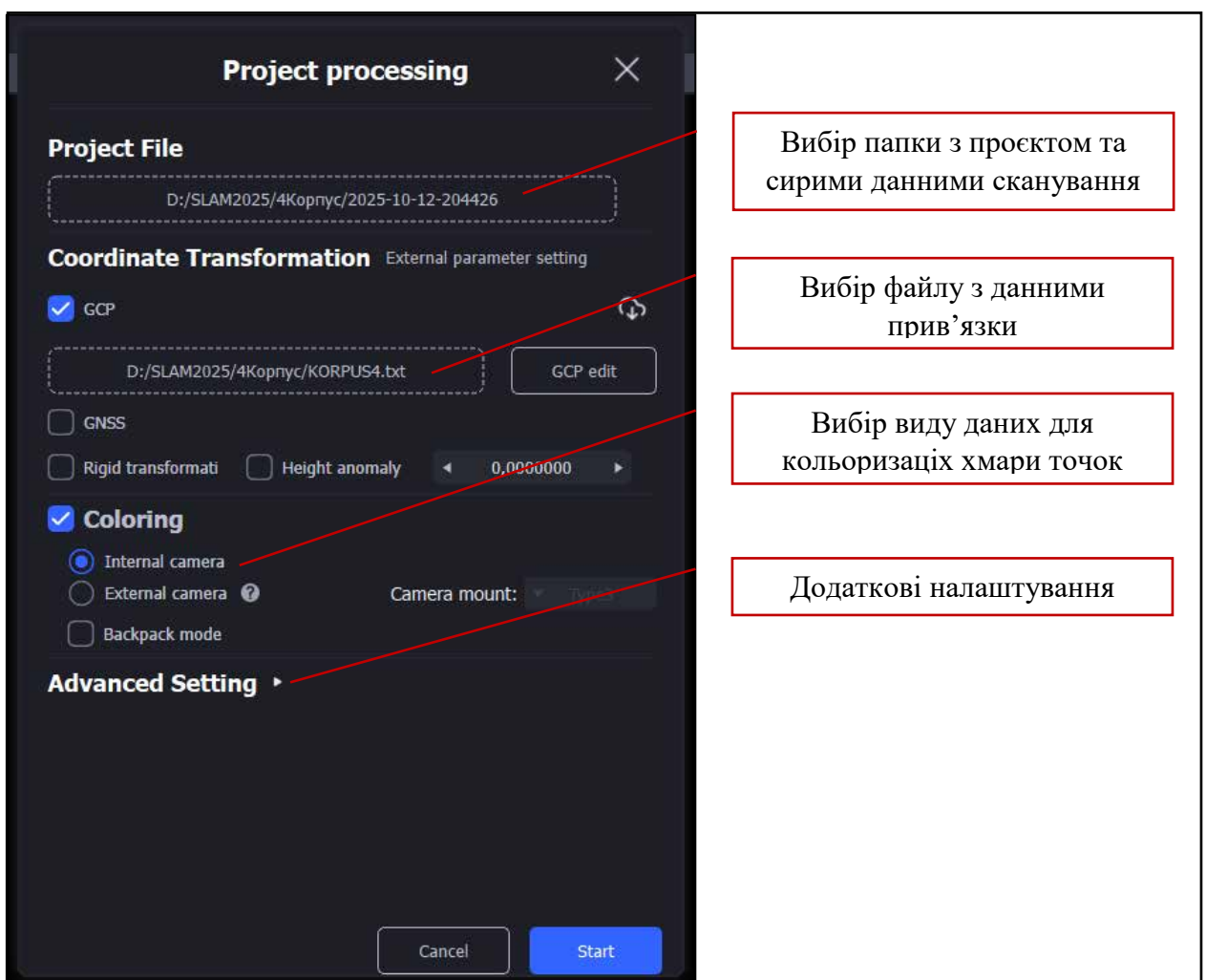


Рис. 3.6. Вікно обробки хмари точок

Також є дуже зручна функція яка допомагає перевірити правильність введення опорних точок (рис 3.7).

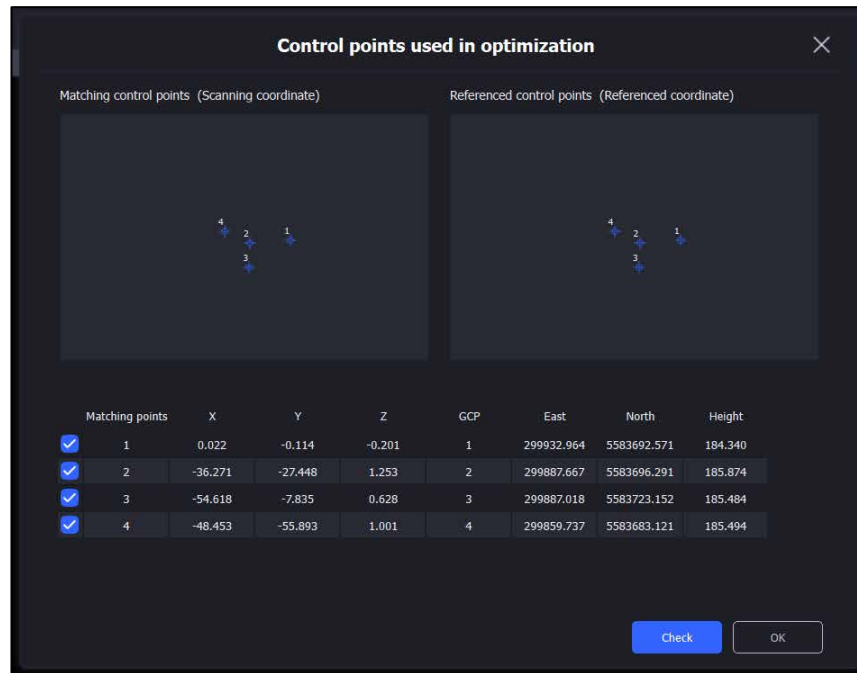


Рис. 3.7. Вікно перевірки опорних точок

Постобробка складається з декількох кроків: (рис 3.8)

- SLAM-картографування;
- Оптимізація;
- Фільтрація;
- Прибирання рухомих об'єктів;
- Кольоризація.



Рис. 3.8. Процес опрацювання хмари точок

В результаті ми отримуємо оптимізовану, прив'язану і кольоризовану хмару точок, яка в собі містить дуже багато геопросторової інформації і яку можна використовувати для багатьох задач (рис 3.9).

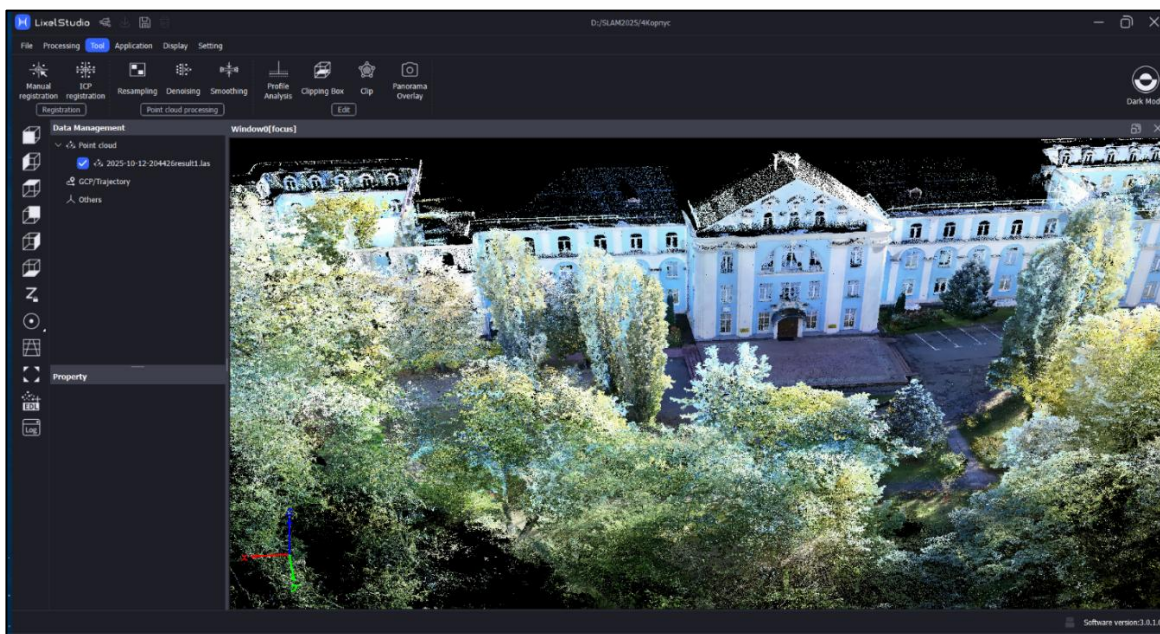


Рис. 3.9. Опрацьована хмара точок

Таким чином отримана хмара точок дає змогу виконувати повний цикл подальших робіт. Прив'язка до опорної мережі забезпечує коректне розміщення даних у системі координат МСК-80, що критично важливо для довгострокового збереження. Отже, опрацьована хмара точок стає базовою просторовою основою для цілей збереження культурної спадщини та моніторингу навчального корпусу № 4 НУБіП України, що особливо актуально в умовах воєнного стану.

3.3. Порівняння результатів SLAM-сканування з тахеометричною зйомкою

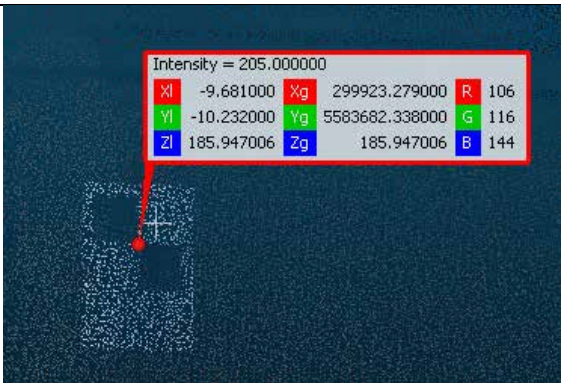
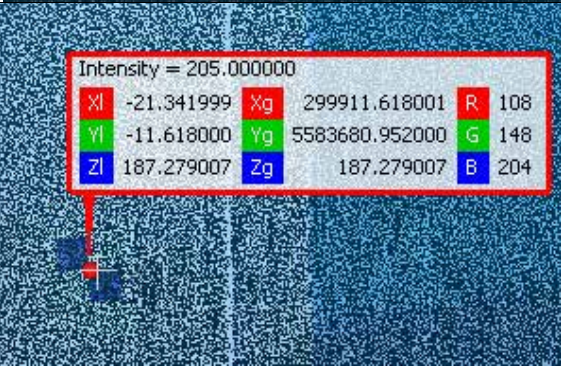
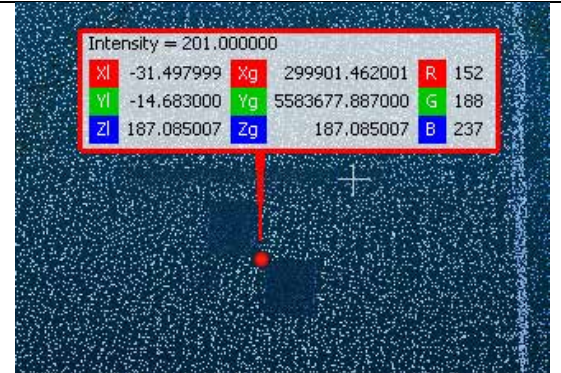
Після обробки хмари точок можна приступати до аналізу її точності. Першочергово необхідно дізнатися координати центрів марок на хмарі точок, для цього було використано безкоштовний застосунок CloudCompare – це програмне забезпечення для обробки 3D-хмар точок. Спочатку воно було розроблене для порівняння двох щільних 3D-хмар точок. Воно базується на спеціальній структурі октодерев, призначеній для цього завдання. Згодом його

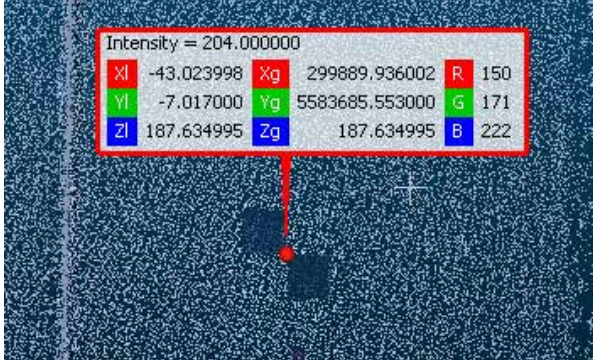
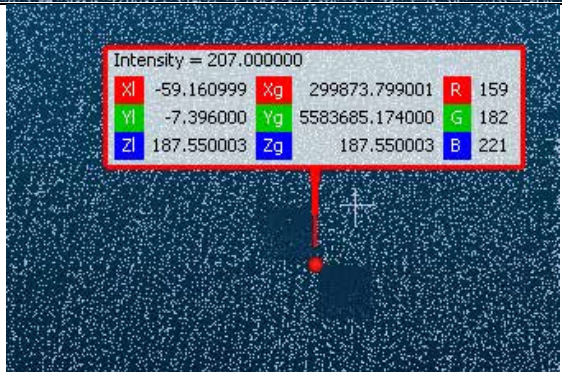
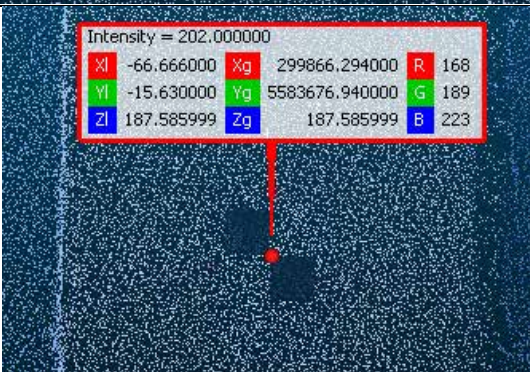
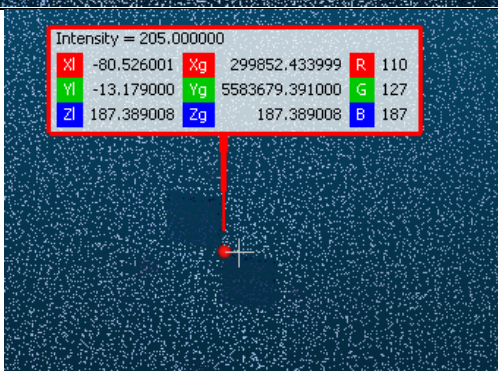
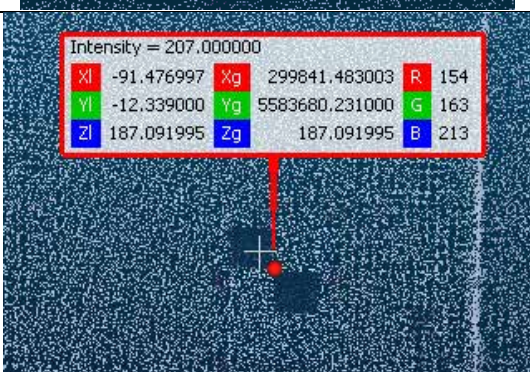
було розширено до більш загального програмного забезпечення для обробки хмар точок, що включає багато вдосконалених алгоритмів [27].

У каталозі (табл. 3.4) наведено номери марок, їхнє розміщення на будівлі навчального корпусу №4 НУБіП України, а також їх планове та висотне положення у системі координат МСК-80 за результатами лазерного сканування.

Таблиця 3.4.

Каталог координат марок, отриманих в результаті лазерного сканування та їх розміщення на будівлі навчального корпусу №4 НУБіП України

№ марки	Фото розміщення марки на будівлі навчального корпусу №4 НУБіП України	Координати, м
M1		X = 5583682.338 Y = 299923.279 Z = 185.947
M2		X = 5583680.952 Y = 299911.618 Z = 187.279
M3		X = 5583677.887 Y = 299901.462 Z = 187.085

M4		<p>X = 5583685.553 Y = 299889.936 Z = 187.635</p>
M5		<p>X = 5583685.174 Y = 299873.799 Z = 187.550</p>
M6		<p>X = 5583676.940 Y = 299866.294 Z = 187.586</p>
M7		<p>X = 5583679.391 Y = 299852.434 Z = 187.389</p>
M8		<p>X = 5583680.231 Y = 299841.483 Z = 187.092</p>

Нижче наведено зведену таблицю з координатами, отриманими внаслідок тахеометричної зйомки та сканування і їх відхилення (табл. 3.5).

Таблиця 3.5.

Відхилення координат центрів марок отриманих за результатами лазерного сканування від значень, отриманих за результатами тахеометричного знімання

№	Координати отримані з тахеометра, м			Координати отримані зі сканера, м			Відхилення, мм		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
M1	5583682.346	299923.262	185.941	5583682.338	299923.279	185.947	+8	-17	-6
M2	5583680.974	299911.641	187.283	5583680.952	299911.618	187.279	+22	+23	+4
M3	5583677.901	299901.474	187.091	5583677.887	299901.462	187.085	+14	+12	+6
M4	5583685.558	299889.934	187.646	5583685.553	299889.936	187.635	+5	-2	+11
M5	5583685.173	299873.798	187.549	5583685.174	299873.799	187.550	-1	-1	-1
M6	5583676.945	299866.308	187.584	5583676.940	299866.294	187.586	+5	+14	-2
M7	5583679.408	299852.454	187.374	5583679.391	299852.434	187.389	+17	+20	-15
M8	5583680.235	299841.482	187.069	5583680.231	299841.483	187.092	+4	-1	-23

Для кращої візуалізації нижче наведено графік відхилень координат центрів марок отриманих за результатами лазерного сканування від значень, отриманих за результатами тахеометричного знімання. (рис 3.10).

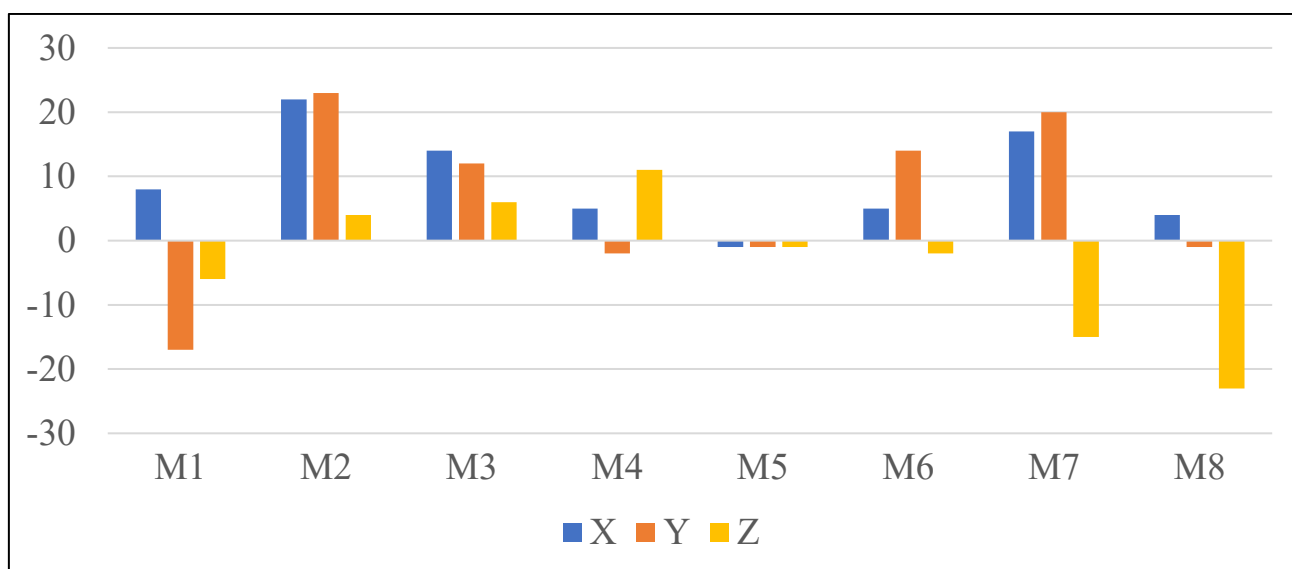


Рис. 3.10 Графік відхилень координат центрів марок зі сканування від тахеометричних значень, мм

Результати порівняння свідчать, що мінімальне відхилення демонструє марка №5, тоді як найбільші відхилення зафіксовано для марок №2 та №7. Ймовірною причиною є різна просторово-геометрична конфігурація їх розташування: ці марки встановлено в іншій площині фасаду.

Також спостерігається тенденція зменшення відхилень ближче до центру сканування.

Наступним кроком необхідно розрахувати середню квадратичну похибку положення кожної марки.

Для цього є наступна формула:

$$m = \sqrt{\sum \Delta_i^2}, \text{ де } \Delta_i \text{ – це різниця між фактичним та істинним значенням.}$$

В результаті отримуємо значення, наведені нижче у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6.

Середня квадратична похибка положення центру кожної марки

Номер марки	СКП, мм
M1	19,7
M2	32,1
M3	19,4
M4	12,2
M5	1,7
M6	15,0
M7	30,2
M8	23,4

Для кращого візуального сприйняття, нижче наведено графік середньої квадратичної похибки положення центру кожної марки (рис. 3.11).

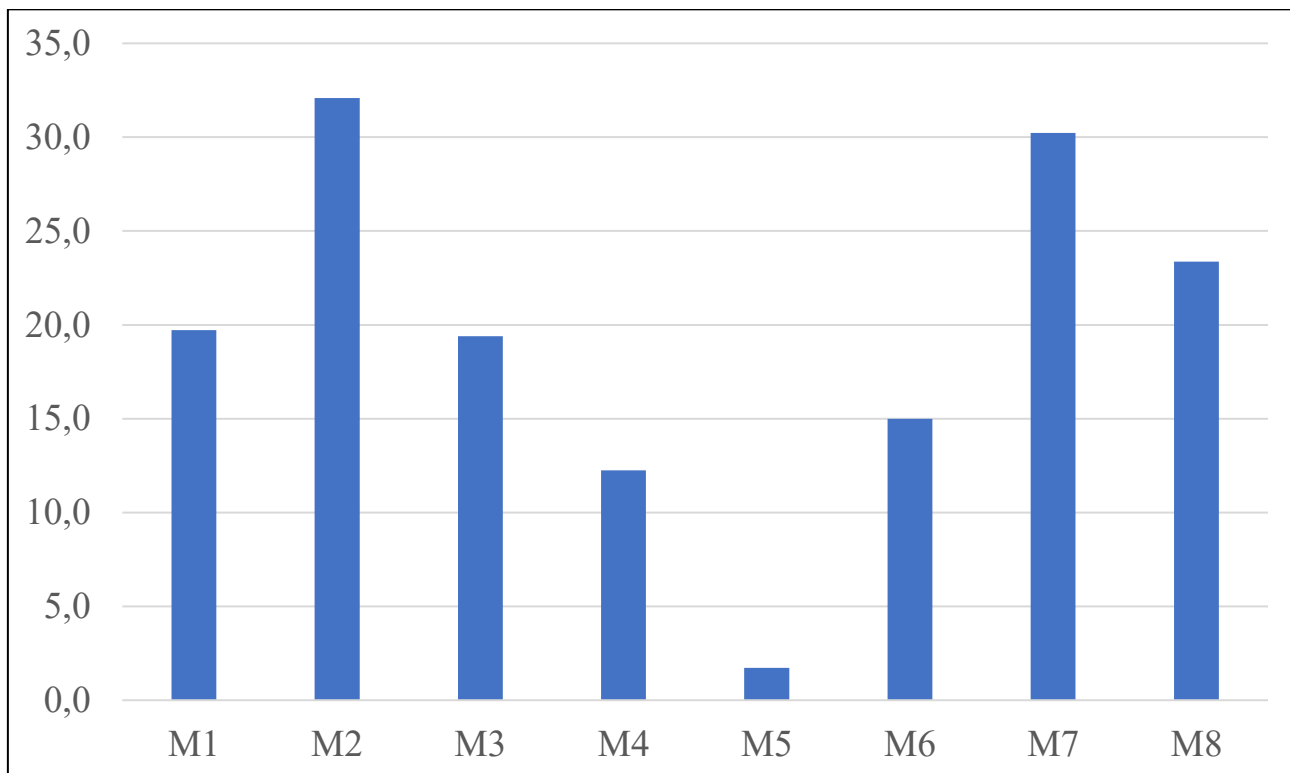


Рис. 3.11. Графік середньої квадратичної похибки положення центру кожної марки, мм

Виробником заявлена абсолютна точність ≤ 3 см, але за результатами дослідження є марка яка має похибку положення 3,2 см. Якщо розглядати тільки відхилення в конкретному напрямку (табл. 3.5), то в такому випадку всі значення попадають в заявлену виробником точність.

3.4. Інтерпретація результатів та оцінка точності створеної 3D-моделі фасаду навчального корпусу №4 НУБіП України

Для створення 3D-моделі було використано програмний застосунок Lixel Cyber Color – це програмне забезпечення для створення 3D-контенту, яке використовує технології Multi-SLAM та 3D Gaussian Splatting для автоматичного створення високореалістичних 3D-моделей із даних 3D-сканування та візуальної зйомки. Воно призначене для обробки результатів сканування, перетворення їх на фотореалістичні та вимірювані 3D-моделі [28].

Gaussian Splatting – це техніка об'ємного рендерингу, яка займається прямим рендерингом об'ємних даних без перетворення даних у поверхневі або лінійні примітиви [29]. Ця техніка була вперше представлена як сплетіння Лі Вестовером на початку 1990-х років [30].

Ця техніка була відроджена і набула великої популярності в 2023 році, коли дослідницька група з Inria запропонувала новаторський 3D Gaussian Splatting, що забезпечує рендеринг поля випромінювання в реальному часі. Як і інші методи поля випромінювання, вона може перетворювати кілька зображень у представлення 3D-простору, а потім використовувати це представлення для створення зображень, які бачаться з нових кутів [31]. Незабаром з'явилося кілька робіт, таких як 3D temporal Gaussian splatting, яке забезпечує динамічний рендеринг сцен в реальному часі [32].

Створення 3D-моделі виконується автоматично, достатньо виконати 3 кроки: (рис 3.11-3.13)

- завантажити файли, отримані в результаті сканування;
- завантажити відео з панорамної камери;
- вибрати бажані параметри якості 3D-моделі.

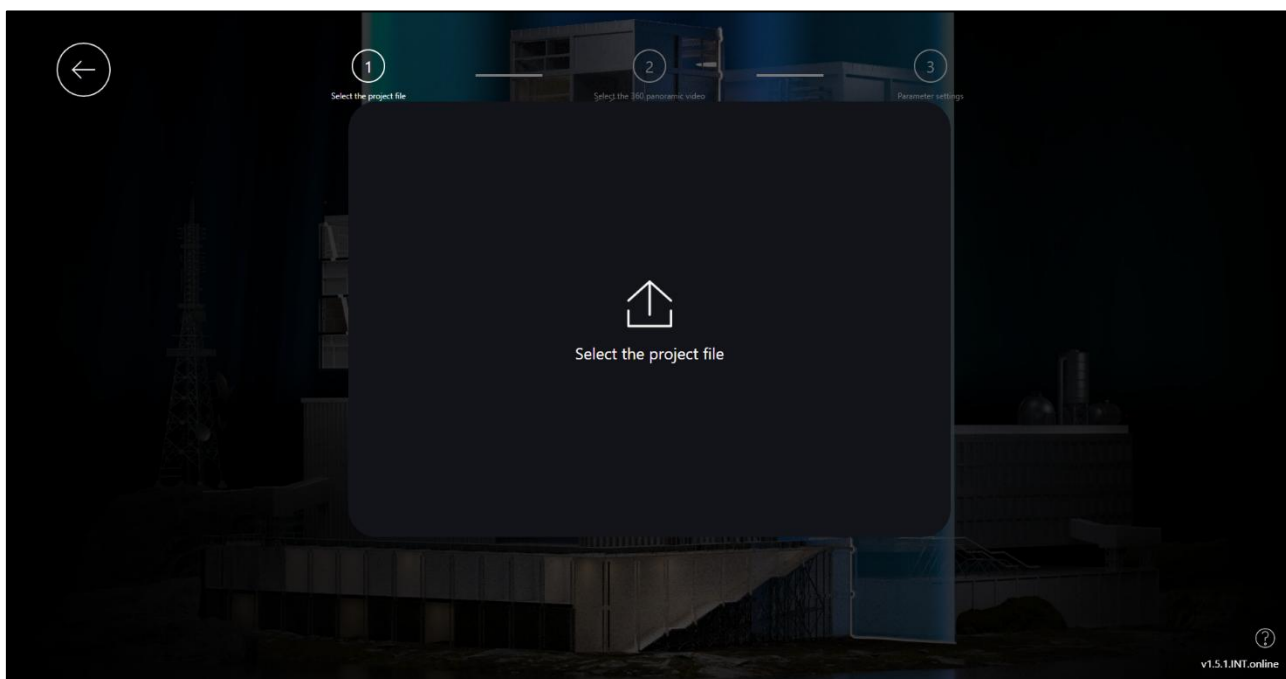


Рис 3.11 Вікно завантаження даних, отриманих в результаті лазерного сканування

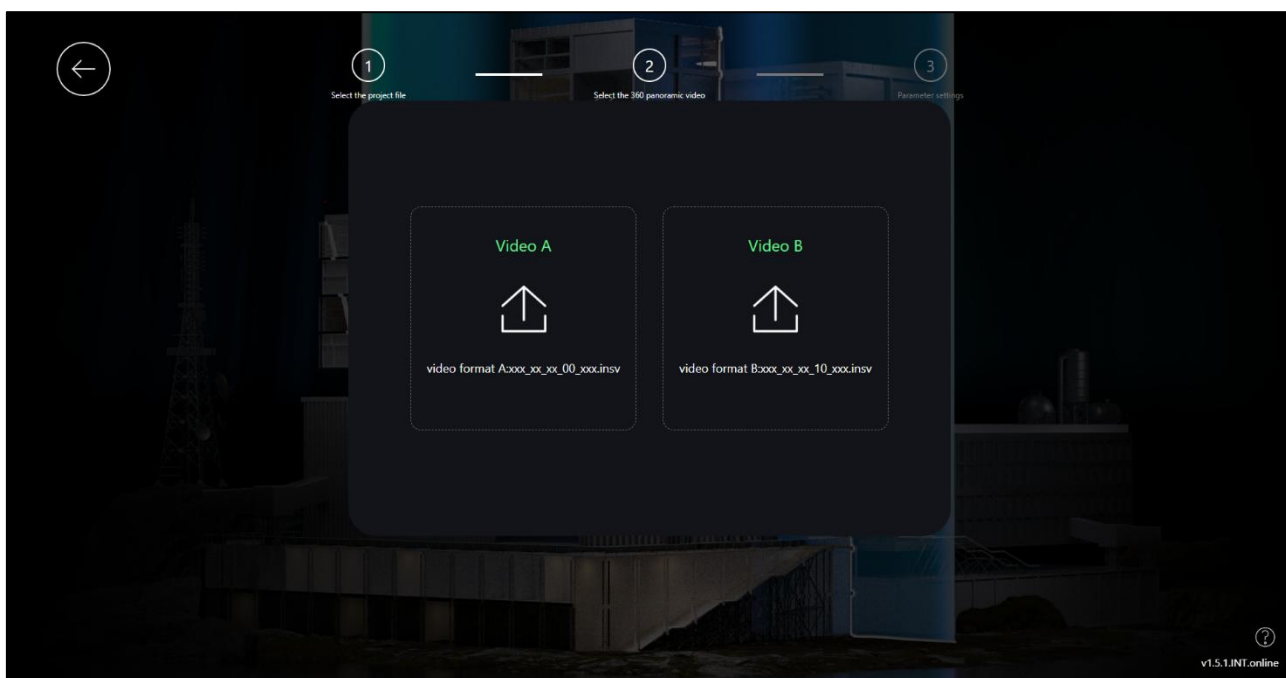


Рис 3.12 Вікно завантаження відео з панорамної камери

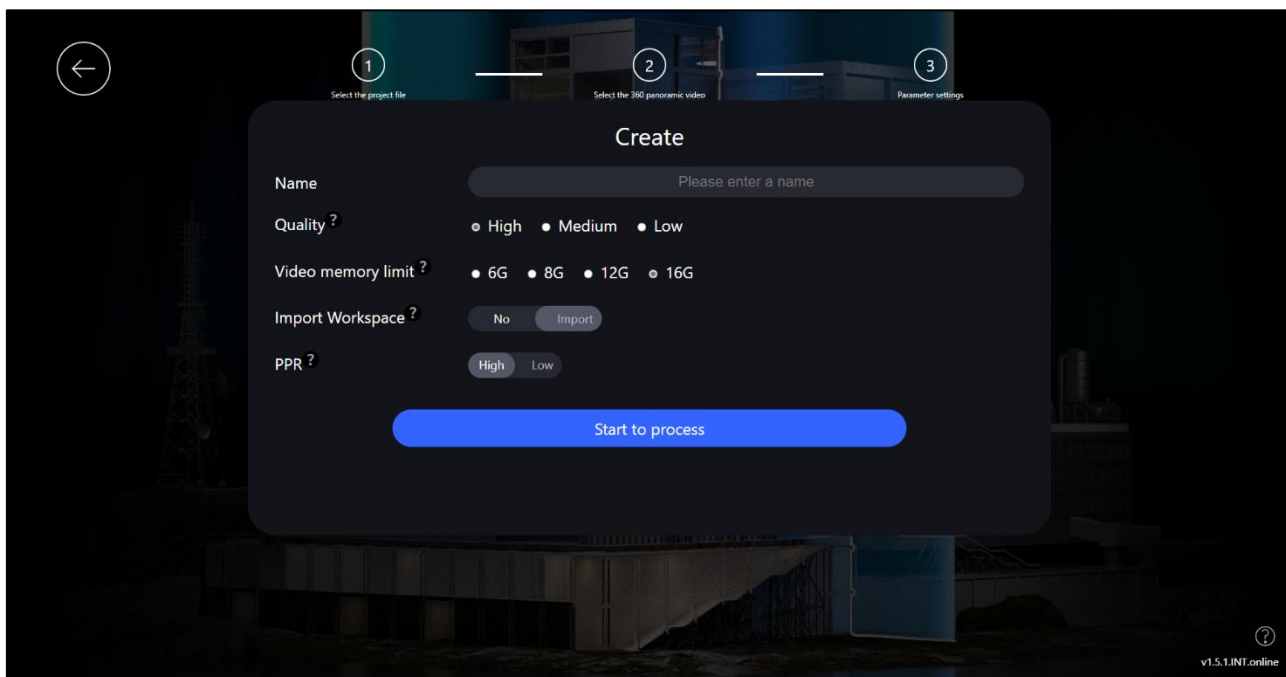


Рис 3.13 Вікно вибору бажаних параметрів якості 3D-моделі

Після обробки ми отримуємо реалістичну 3D-модель, яку можна використовувати для широкого спектру задач, починаючи від 3D-турів та ігрової індустрії закінчуючи проектувальними рішеннями.



Рис 3.14 Вигляд 3D-моделі фасаду навчального корпусу №4 НУБіП
України

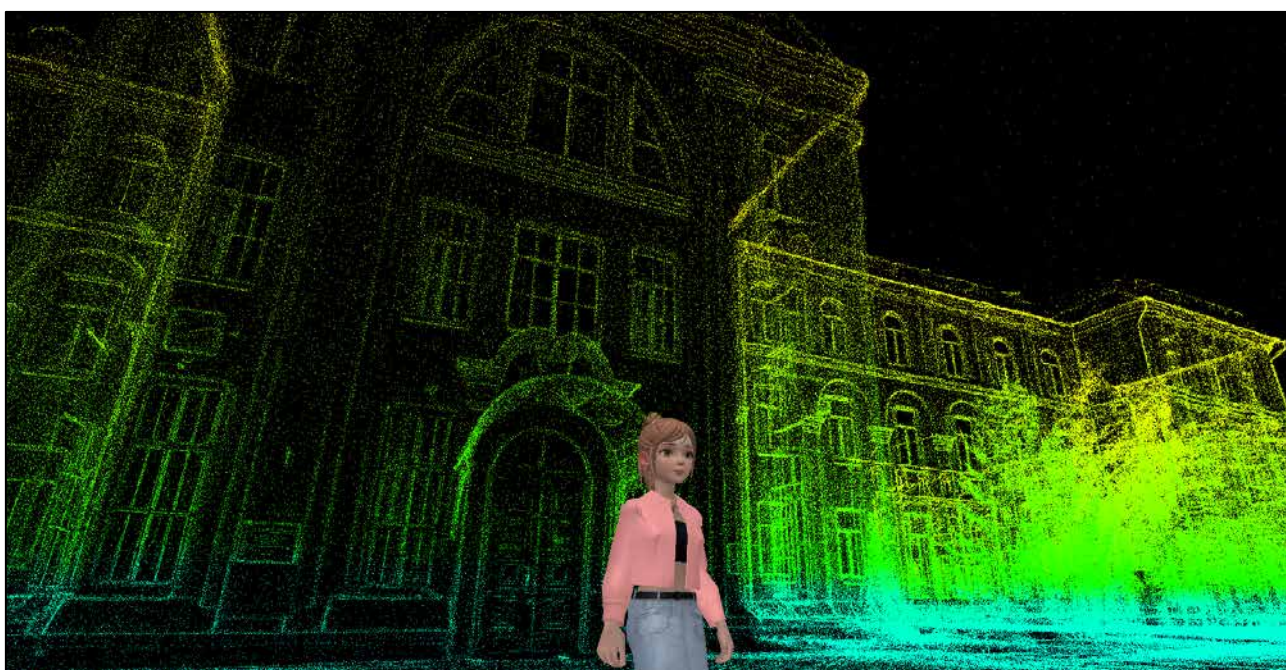


Рис 3.15 Вигляд хмари точок, на основі якої побудована 3D-модель
фасаду навчального корпусу №4 НУБіП України

Для оцінки точності отриманої 3D-моделі було виконано проміри відстаней між марками на безпосередньо самій 3D-моделі та порівняно з відстанями, прорахунок яких здійснювався за результатами лазерного

сканування та тахеометричної зйомки. Отримані результати наведено нижче у табл. 3.7.

Таблиця 3.7.

Порівняльна оцінка точності 3D-моделі відповідно до результатів лазерного сканування та тахеометричної зйомки

Тип даних	Пряма відстань між марками, м						
	M1-8	M1-7	M1-6	M1-5	M1-4	M1-3	M1-2
Тахеометр	81,82	70,88	57,23	49,57	33,53	22,27	11,78
Хмара точок	81,83	70,92	57,26	49,59	33,54	22,30	11,82
3D-модель	81,80	70,89	57,24	49,56	33,53	22,26	11,78

Нижче наведено графік відхилень відстаней між марками, виміряних з 3D-моделі та прорахованих з координат, отриманих в результаті лазерного сканування. За початок відліку прийнято значення дожин, отриманих з тахеометричного знімання (рис. 3.16).

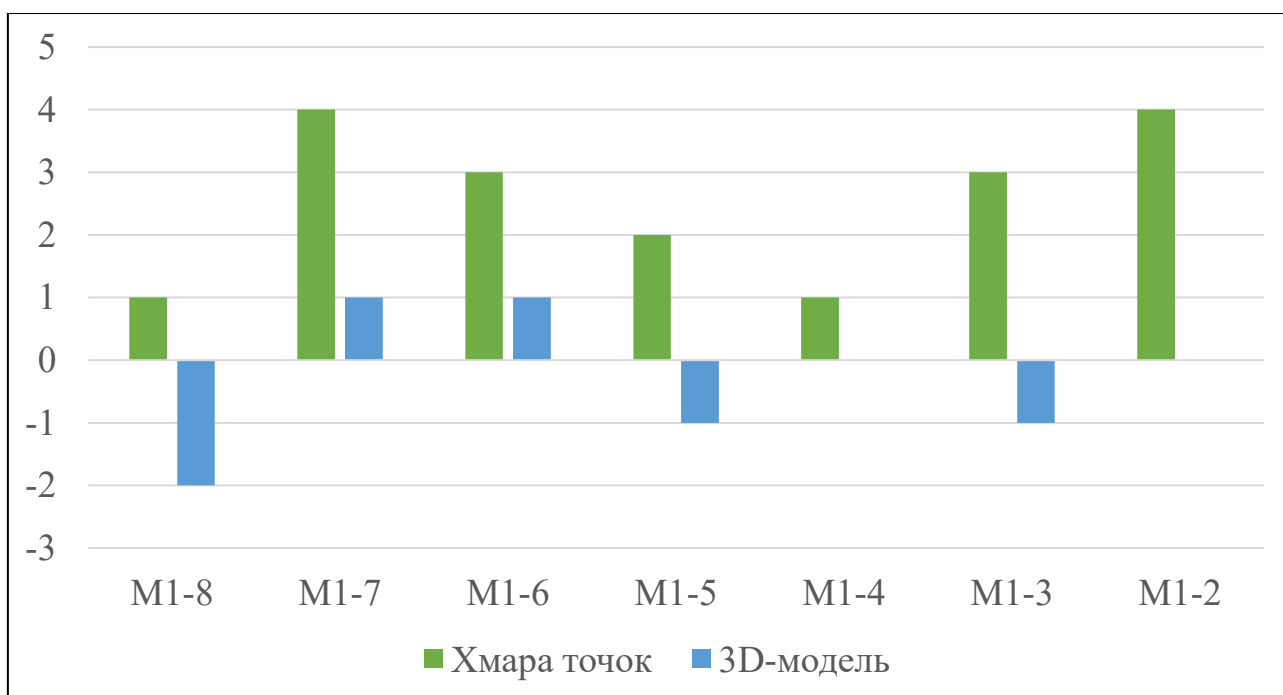


Рис. 3.16. Графік відхилень відстаней між марками, виміряних з 3D-моделі та прорахованих з координат, отриманих в результаті лазерного сканування

З графіку можна побачити, що найбільше відхилення у 3D-моделі має промір M1-8, а саме 2 см, що зумовлюється найбільшою відстанню між марками (81,83м), основна частина вимірів має відхилення 1см (M1-7, M1-6, M1-5 та M1-2), проміри M1-4 та M1-2 виявилися найточнішими та не мають відхилень.

Аналіз результатів лазерного сканування вказує на найбільше відхилення в промірах M1-2 та M1-7, де відхилення становлять 4см, вочевидь це зумовлено тим, що марки M2 та M7 мають найбільшу похибку в планово-просторовому положенні (див. розділ 3.3). Знову спостерігається зменшення відхилень ближче до центральних марок (M4 та M5), що також збігається з результатами, отриманими в розділі 3.3.

Висновки до розділу 3

У розділі представлено повний цикл практичних робіт – від побудови геодезичної основи, тахеометричної зйомки та SLAM-сканування фасаду до камеральної обробки й порівняння отриманих результатів. Застосування мобільного сканера Alpha Geo Lixel L2 у зв'язці з Lixel Go, Lixel Studio та контрольними вимірами тахеометром Alpha Geo Alpha Y забезпечило відтворену методику прив'язки та порівняння даних у єдиній системі координат. Правильне планування маршруту суттєво підвищило однорідність хмари точок, використання попереднього перегляду якості в Lixel Go дозволило оперативно дознімати прогалини.

Порівняльний аналіз за контрольними марками M1-M8 частково підтвердив відповідність результатів заявленому класу точності для більшості випадків: мінімальне значення – 1,7 мм (M5), максимальне – 32,1 мм (M2). Компонентні відхилення ΔX , ΔY , ΔZ по всіх марках залишилися в межах ± 23 мм, перевищення заявленої абсолютної точності 3 см зафіксовано лише в двох випадках, що корелює з менш сприятливою геометрією спостережень – марки поза основною площиною фасаду. Отже, за правильно організованого маршруту та контролю якості SLAM-сканування забезпечує сантиметрову точність,

достатню для топографічних задач масштабу 1:500 та дрібніше, побудови детальних планів фасадів і подальшого аналітичного використання.

Побудована у Lixel Cyber Color 3D-модель на основі кольорової хмари точок та відеопанорам забезпечила фотореалістичне відтворення фасаду й зберегла метричні властивості, придатні для вимірювань та подальшої інтеграції у проектні середовища. Перевірка точності за прямими віддальми між марками, взятими з тахеометричного знімання як еталону, показала: для 3D-моделі максимальне відхилення склало 2 см (M1-8), основна частина промірів має відхилення 1 см або 0 см (зокрема M1-4 та M1-2), в той час як для хмари точок найбільші відхилення спостерігаються на M1-2 та M1-7 – по 4 см. Просторовий розподіл похибок підтверджує тенденцію до їх зменшення в районі центральних марок (M1-4, M1-5). Сукупно це свідчить: поєднання SLAM з 3D Gaussian Splatting у Lixel Cyber Color забезпечує оперативне отримання високореалістичної, стабільної в метриці 3D-моделі з контрольованою сантиметровою точністю. Практичний ефект – швидке збирання даних, мінімальні перешкоди для руху на об'єкті, щільна й кольорова хмара точок, готовність моделі до використання в 3D-турах, візуалізації та проектуванні.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розв'язано складну комплексну задачу у сфері геодезії та землеустрою, що передбачала проведення досліджень пов'язаних із лазерним скануванням фасаду навчального корпусу № 4 НУБіП України із застосуванням технології SLAM, подальшому створенні тривимірної моделі і порівнянні з результатами тахеометричної зйомки. Для досягнення мети використано сучасні геодезичні прилади та обладнання, перевірені методики планово-висотної прив'язки, а також спеціалізоване програмне забезпечення для камеральної обробки та аналізу.

Об'єктом дослідження виступав фасад будівлі навчального корпусу № 4 НУБіП України, що характеризується складною архітектонікою, різноплощинністю та наявністю дрібних декоративних елементів. Такі особливості створюють належні умови для оцінки стабільності SLAM-сканування, повноти відображення фасадної геометрії та порівняння з класичними інструментальними вимірюваннями.

Проаналізовано нормативно-правові засади, які регулюють проведення лазерного сканування об'єктів культурної спадщини, зокрема Закон України «Про охорону культурної спадщини», Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» та Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500», де лазерне сканування визначене як технологія топографічного картографування. Теоретично обґрунтовано переваги SLAM для швидкого, безперервного збору просторових даних у середовищах зі складними умовами, де є ускладненим використання класичних методів знімань, а також показано граничні умови застосовності й доцільність гібридного підходу для задач із високою точністю.

Польовий етап включав створення геодезичної основи з 4 опорних пунктів, незалежну тахеометричну зйомку контрольних марок М1-М8 та мобільне SLAM-сканування за допомогою ручного сканера Alpha Geo Lixel L2.

Камеральну обробку й геоприв'язку виконано у програмному забезпеченні Lixel Studio, координати центрів марок на хмарі точок визначено в застосунку CloudCompare, фотореалістичну 3D-модель сформовано у програмному засобі Lixel Cyber Color.

Кількісні результати підтвердили метрологічну спроможність методики. Компонентні відхилення координат центрів марок між хмарою точок та вимірюваннями з тахеометра свідчать, що мінімальне відхилення демонструє марка №5, тоді як найбільші відхилення зафіксовано для марок №2 та №7, середньоквадратичні похибки за марками становлять від 1,7 мм для марки М5 до 32,1 мм для марки М2, із перевищенням заявленої абсолютної точності 30 мм у двох випадках (М2 – 32,1 мм, М7 – 30,2 мм).

Просторовий розподіл похибок демонструє їх зменшення в центральній частині фасаду, найбільші відхилення фіксувалися на марках, розміщених поза основною площиною фасаду будівлі. Перевірка 3D-моделі за прямими віддалями між марками засвідчила максимальне відхилення 20 мм (М1-8), тоді як більшість промірів дали 0-10 мм, для віддалей, прорахованих з хмари точок, найбільші відхилення сягали 40 мм (М1-2, М1-7).

Отримана тривимірна модель фасаду відтворює геометрію об'єкта з високим рівнем деталізації та фотореалістичності, забезпечує можливість точних лінійних і площинних вимірювань, формування фасадних розгорток і тематичних креслень. З урахуванням воєнного стану в Україні цифрова фіксація фасаду навчального корпусу №4 НУБіП має додаткову цінність як «цифровий двійник» для збереження і можливого відтворення об'єкта.

Застосована методика мобільного лазерного сканування із технологією SLAM довела свою ефективність. Вона може використовуватися на подібних об'єктах із різною складністю архітектури, забезпечуючи швидкість збору, повноту 3D-подання та підтверджену точність за рахунок зовнішнього контролю, що, зрештою, скорочує терміни виконання, знижує трудомісткість і підвищує якість інженерно-геодезичної продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону культурної спадщини: Закон України від 08.06.2000 №1805-III URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14> (дата звернення: 26.10.2025)

2. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: Закон України від 23 груд. 1998 р. №353. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14> (дата звернення: 26.10.2025)

3. Про затвердження Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500: наказ М-ва аграрної політики та продовольства України від 17.04.2025 №1675 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0868-25> (дата звернення: 26.10.2025)

4. Положення про підготовку і захист магістерської кваліфікаційної роботи в Національному університеті біоресурсів і природокористування України. URL: http://nubip.edu.ua/sites/default/files/official/2025-10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D1%83%20%D1%96%20%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%B8%D1%81%D1%82%20%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D1%96%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8_2025_1.pdf

5. Положення про політику використання штучного інтелекту у Національному університеті біоресурсів і природокористування України. URL: <https://qms.nubip.edu.ua/wp-content/uploads/2024/08/%D0%A1%D0%A3-%D0%A1%D0%9C%D0%AF-%D0%9D%D0%A3%D0%91%D1%96%D0%9F-%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8-7.5-021-011.pdf>

6. I. Kovalchuk, T. Ievsiukov, O. Kutsenko, M. Kozhemiako, P. Kozhemiako. Application of laser scanning for modeling cultural heritage objects. URL: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2025/application-laser-scanning-modeling-cultural-heritage-objects>

7. I. Savchyn, K. Tretyak, I. Brusak, V. Lozynskiy, M. Duma. Rapid Fixation and Digitization for Cultural Heritage Preservation in Conflict Zones. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2023/09/GeoTerrace-2023-030.pdf>

8. МКСК. 1528 пам'яток культурної спадщини та 2359 об'єктів культурної інфраструктури постраждали в Україні через російську агресію: веб-сайт. URL: <https://mesc.gov.ua/news/1528-pamyatok-kulturnoyi-spadshhyny-ta-2359-obyektiv-kulturnoyi-infrastruktury-postrazhdaly-v-ukrayini-cherez-rosijsku-agresiyu/> (дата звернення 26.10.2025р.)

9. Голосіївський район: веб-сайт. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D1%96%D1%97%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD&oldid=46141656. (дата звернення 26.10.2025р.)

10. Вишневецький В.І., Доніч О.А., Куций А.В. Клімат Києва та його околиць. Київ: Варто, 2023. 124 с.

11. Масляк П. О., Шищенко П. Г. Хрестоматія з географії України //К.: Генеза. – 1994.

12. Клімат і рельєф Київської області. Історія заселення Київщини: веб-сайт. URL: <https://ukrskr.com.ua/kiyivska/klimat-i-relyef-kiyivskoyi-oblasti-istoriya-zaselennya-kiyivshhini> (дата звернення 26.10.2025р.)

13. Національний природний парк «Голосіївський». Вікіпедія: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%

BF%D0%B0%D1%80%D0%BA_%C2%AB%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%B
E%D1%81%D1%96%D1%97%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D
0%B9%C2%BB (дата звернення 26.10.2025р.)

14. Міністерство культури України, Науково-дослідний інститут пам'яткоохоронних досліджень. Історико-архітектурний опорний план м. Києва з визначенням зон охорони пам'яток та історичних ареалів. Київ, 2015.

15. Ландшафти НПП «Голосіївський»: веб-сайт. URL: <https://nppg.gov.ua/uk/node/43> (дата звернення 26.10.2025р.)

16. Бортник С. Ю. Ґрунтовий покрив території Києва: сучасний стан та закономірності просторової організації / С. Ю. Бортник, Т. М. Лаврук, Л. М. Тимуляк // Фізична географія та геоморфологія. – 2016. – Вип. 4. – С. 44-49. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2016_4_9

17. Олексійченко Н. О., Крачковська М. В. Ретроспективний аналіз формування та сучасний стан благоустрою території національного університету фізичного виховання і спорту України у Києві // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Т. 25. – №. 9. – С. 70-77.

18. Інститут механізації та електрифікації сільського господарства: паспорт пам'ятки архітектури 1929р. [Ізоматеріал] : текст, фото / авт. проекту архітектор: Д. М. Дяченко // Пам'ятки історії та культури УРСР.- К., 1998. – 4 с.

19. Звід пам'яток історії та культури України: Київ: Енциклопедичне видання. Кн. 1, Ч. 3.: С-Я / [Гол. ред. В. Смолій та ін. упоряд.: В. Горбик, В. Даниленко, М. Дьомін та ін.] – К. : Голов. ред. Зводу пам'яток історії та культури при вид-ві “Українська енциклопедія” ім. М. П. Бажана, 2011. – 980 с.

20. Будинок факультетів КСГІ, 1929: веб-сайт. URL: <https://pamyatky.kiev.ua/streets/geroyiv-oboroni/budinok-fakultetiv-ksgi-1929> (дата звернення 26.10.2025р.)

21. Нове обличчя навчального корпусу №4. Національний університет біоресурсів і природокористування України: веб-сайт.

URL: <https://nubip.edu.ua/news/nove-oblychchya-navchalnoho-korpusu-no4> (дата звернення 26.10.2025р.)

22. «Про занесення об'єктів культурної спадщини до Державного реєстру нерухомих пам'яток України»: наказ М-ва культури та стратегічних комунікацій України від 15.03.2024 №201 URL: <https://mcsc.gov.ua/wp-content/uploads/2025/09/m.-kyuyiv-02.09.-2025-1.pdf> (дата звернення: 26.10.2025)

23. Лазерний сканер Lixel L2. Офіційний сайт Alpha Geo: веб-сайт. URL: <https://www.alphageo-info.com/handheld-real-time-3d-reconstruction-laser-scanner-lixel-l2> (дата звернення: 26.10.2025)

24. Електронний тахеометр Alpha Y. Офіційний сайт Alpha Geo: веб-сайт. URL: <https://www.alphageo-info.com/android-total-station-alpha-y-with-surpro-60-onboard-for-engineering-projects> (дата звернення: 26.10.2025)

25. LixelGo. Офіційний сайт XGRIDS: веб-сайт. URL: <https://xgrids.com/support/download?page=LixelGO> (дата звернення: 26.10.2025)

26. LixelStudio. Офіційний сайт XGRIDS: веб-сайт. URL: <https://xgrids.com/lixelstudio> (дата звернення: 26.10.2025)

27. Офіційний сайт CloudCompare: веб-сайт. URL: <https://www.cloudcompare.org/> (дата звернення: 26.10.2025)

28. LixelCyberColor. Офіційний сайт XGRIDS: веб-сайт. URL: <https://xgrids.com/lcc> (дата звернення: 26.10.2025)

29. Westover, Lee Alan (July 1991). "SPLATTING: A Parallel, Feed-Forward Volume Rendering Algorithm" (PDF). Retrieved October 18, 2023. URL: <https://articles.tomasparks.name/publications/Westover1991.pdf>

30. ISO 17123-8:2015. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 8: GNSS field measurements. – Geneva : ISO, 2015.

31. Kerbl, Bernhard; Kopanas, Georgios; Leimkuehler, Thomas; Drettakis, George (2023-07-26). "3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field

Rendering". ACM Transactions on Graphics. 42 (4): 139:1-139:14. URL: <https://doi.org/10.1145%2F3592433>

32. Wu, Guanjun; Yi, Taoran; Fang, Jiemin; Xie, Lingxi; Zhang, Xiaopeng; Wei, Wei; Liu, Wenyu; Tian, Qi; Wang, Xinggang (June 2024). 4D Gaussian Splatting for Real-Time Dynamic Scene Rendering. 2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp. 20310-20320. URL: <https://doi.org/10.1109%2FCVPR52733.2024.01920>

33. Принцип лазерного сканування: веб-сайт. URL: https://ngc.com.ua/ua/info/whats_hds.html (дата звернення: 26.10.2025)

34. EarthScope Consortium. Terrestrial Laser Scanning (TLS): What is it?: веб-сайт. URL: <https://www.earthscope.org/what-is/tls/> (дата звернення: 26.10.2025)

35. Zhang, J.; Singh, S. LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time // Proceedings of Robotics: Science and Systems (RSS). – 2014

36. Leonardo Partnership. Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning (TLS Tutorial) : електрон. ресурс. – 2010

37. RIEGL Laser Measurement Systems. Mobile Laser Scanning – How MLS Works: веб-сайт. URL: <https://www.riegl.com/en-austria/products/segment/mobile-laser-scanning> (дата звернення: 26.10.2025)

38. RIEGL Laser Measurement Systems. VZ-400i Terrestrial Laser Scanner. URL: <https://www.rieglusa.com/wp-content/uploads/vz-400i-datasheet1.pdf> (дата звернення: 26.10.2025)

39. Cadena, C.; Carlone, L.; Carrillo, H.; Latif, Y.; Scaramuzza, D.; Neira, J.; Reid, I.; Leonard, J. J. Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age // IEEE Transactions on Robotics. – 2016. – Vol. 32, № 6.

40. Що таке SLAM і чому це прорив у мобільному картографуванні: веб-сайт. URL: <https://systemnet.com.ua/novini/shcho-take-slam-i-chomu-tse-proryv-u-mobilnomu-kartohrafuvanni/> (дата звернення: 26.10.2025)

41. What is SLAM and how does it Work? : веб-сайт.
URL: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/How-SLAM-works> (дата звернення: 26.10.2025)

42. В. Ковтун, Б. Лиско, О. Куценко, Р. Пилип'юк. Дослідження точності визначення просторового положення об'єктів методом SLAM сканування. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2024». URL: <https://surl.li/jklaye>

43. Durrant-Whyte, H.; Bailey, T. Simultaneous localisation and mapping (SLAM): Part I – The essential algorithms; Part II – State of the art // IEEE Robotics & Automation Magazine. – 2006. – Vol. 13, № 2-3.

44. Shan, T.; Englot, B. LIO-SAM: Tightly-coupled lidar-inertial odometry via smoothing and mapping // Proc. IEEE/RSJ IROS. – 2020.

45. Hess, W.; Kohler, D.; Rapp, H.; Andor, D. Real-time loop closure in 2D LIDAR SLAM (Google Cartographer) // Proc. IEEE ICRA. – 2016.

46. ISO 17123-8:2015. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 8: GNSS field measurements. – Geneva : ISO, 2015.

47. Ye, H.; Chen, Y.; Liu, M. FAST-LIO2: Fast, robust LiDAR-inertial odometry // IEEE Transactions on Robotics. – 2022.

48. Liang, X.; Hyypä, J.; Kaartinen, H.; та ін. Terrestrial laser scanning in forest inventories // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2016. – Vol. 115. – С. 63-77.

49. Cabo, C.; Ordóñez, C.; García-Cortés, S.; Martínez, J. Mobile laser scanning in forests: Performance and challenges // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2018. – Vol. 63.

50. Girardeau-Montaut, D. CloudCompare (Open Source): 3D point cloud and mesh processing software. User manual.

51. Hinks, T.; Carr, H.; Laefer, D. F. Evaluating the accuracy of mobile laser scanning for urban streetscape documentation // The International Archives of the

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – Vol. XL-5/W4. – С. 67-74.

52. Abdullah, A. A. A., Mohd Noor, N., Abdullah, A., Ali, M., & Mustafa, M. H. (2020). 3D GEOSPATIAL TECHNIQUE IN ANALYSING THE MALAY HERITAGE BUILDING STRUCTURES. PLANNING MALAYSIA, 18(12). <https://doi.org/10.21837/pm.v18i12.745>

53. Ahmad Yusri, M. H., Johan, M. A., & Khusaini, N. S. (2022). Preservation of cultural heritage: A comparison study of 3D modelling between laser scanning, depth image, and photogrammetry methods. Journal of Mechanical Engineering, 19(2), 125-145. <https://jmeche.uitm.edu.my/wpcontent/uploads/2022/04/7.%20JMECHE-2021-0043.pdf>

54. Косаревська, Р., & Левченко, О. (2023). Цифровізація історичних пам'яток України в контексті архітектури та містобудування: створення віртуальних музеїв та майданчиків. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (67), 60-71. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.60-71>

55. Надрага В. (2024). Цифровізація культурної спадщини: проблеми та вирішення в контексті публічного управління. <http://doi.org/10.32702/2307-2156.2024.5.19>

56. Баркова О. та Кульчицький І. Європейський та український досвід використання цифрових технологій у сфері культури. Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2019. Т. 2, No 2. С. 193-223. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dpitsca_2019_2_2_10

57. Астаф'єв А. Питання розвитку цифрової культури українського соціуму. URL: <https://www.niss.gov.ua/doslidzhennya/gumanitarniy-rozvitok/pitannya-rozvitku-cifrovoi-kulturi-ukrainskogo-sociumu> (дата звернення: 26.10.2025)

58. Коцюбинська К., Баранський С. 3D-моделювання при відновленні історико-культурних цінностей. Цифрова платформа: інформаційні технології в

соціокультурній сфері, 3(1), 2020. 59-68. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.1.2020.206109>

59. Кулиняк М. Цифрова культурна спадщина як феномен цифрової культури. Культурологічний альманах, 2020. (3), 218-227. DOI: <https://doi.org/10.31392/cult.alm.2022.3.28>

60. Adam P . Spring. A History of Laser Scanning, Part 2: The Later Phase of Industrial and Heritage Applications. 2020. 479-501. DOI: <https://doi.org/10.14358/PERS.86.8.479> \

61. NavVis. The definitive guide to SLAM & mobile mapping: веб-сайт. URL: <https://www.navvis.com/technology/slam> (дата звернення: 26.10.2025)

ДОДАТКИ

Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру

Інформація Державного земельного кадастру
про право власності та речові права на земельну ділянку

Замовник: Юрченко Георгій Вікторович

Час та дата запиту: 02:01 04-11-2025



Відомості про земельну ділянку	
Кадастровий номер земельної ділянки	8000000000:79:301:0006
Цільове призначення	03.02 Для будівництва та обслуговування будівель закладів освіти
Категорія земель	Землі житлової та громадської забудови
Площа земельної ділянки	5.9351
Місце розташування	м.Київ, Голосіївський р-н, вул. Героїв Оборони 11, 13, 15, 17 (діл. № 3)
Відомості про сертифікованого інженера - землевпорядника (ВІДПОВІДАЛЬНА ОСОБА)	
ПІБ інженера – землевпорядника	Інформація відсутня
Номер сертифіката та дата видачі	Інформація відсутня
Місце роботи інженера-землевпорядника	Інформація відсутня
Відомості про сертифікованого інженера - землевпорядника (БЕЗПОСЕРЕДНІЙ ВИКОНАВЕЦЬ)	
ПІБ інженера – землевпорядника	
Номер сертифіката та дата видачі	Інформація відсутня
Місце роботи інженера-землевпорядника	Інформація відсутня
Відомості про суб'єктів права власності на земельну ділянку <small>* інформація про власника (землекористувачів) є довідковою, актуальна інформація міститься у Державному реєстрі речових прав на нерухоме майно</small>	
Найменування юридичної особи	ДЕРЖАВА УКРАЇНА В ОСОБІ КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ
Код ЄДРПОУ юридичної особи	00022527
Дата державної реєстрації права (в державному реєстрі прав)	04.03.2015

Номер запису про право (в державному реєстрі прав)	8996939
Орган, що здійснив державну реєстрацію права (в державному реєстрі прав)	Управління державної реєстрації Головного територіального управління юстиції у м. Києві
Відомості про суб'єкта речового права на земельну ділянку	
Вид речового права	право постійного користування земельною ділянкою
Найменування юридичної особи	НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Код ЄДРПОУ юридичної особи	00493706
Дата державної реєстрації права (в державному реєстрі прав)	04.03.2015
Номер запису про право (в державному реєстрі прав)	9011737
Орган, що здійснив державну реєстрацію права (в державному реєстрі прав)	Управління державної реєстрації Головного територіального управління юстиції у м. Києві
Відомості про суб'єкта речового права на земельну ділянку	
Дата державної реєстрації права (в державному реєстрі прав)	Інформація відсутня
Номер запису про право (в державному реєстрі прав)	Інформація відсутня
Орган, що здійснив державну реєстрацію права (в державному реєстрі прав)	Інформація відсутня