

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет біоресурсів і природокористування України

МЕТОДИКА ТА АЛГОРИТМИ СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ
ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ
монографія

Київ – 2025

УДК 528.8:004.94:711.57

M54

<https://doi.org/10.64165/monografy-maafc3dmocho.2025.978-617-8530-32-7>

Рецензенти:

доктор географічних наук, професор, професор кафедри геодезії та картографії
Е.Л. Бондаренко (Київський національний університет імені Тараса Шевченка)

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри землевпорядного
проектування **А.Г. Мартин** (Національний університет біоресурсів і
природокористування України);

доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри конструктивної географії
та картографії **Є.А.Іванов** (Львівський національний університет імені Івана
Франка)

*Рекомендовано до друку Вченою радою Національного університету біоресурсів і
природокористування України*

Протокол № 8 від 27 лютого 2025 року

**М 54 Методика та алгоритми створення 3D моделей об'єктів культурної
спадщини : монографія** / [Ковальчук І.П., Євсюков Т.О., Шевченко О.В., Опенько
І.А., Колеснік Н.А., Куценко О.О., Рудякевич Д.О., Стрельченко Л.В., Михайлик
К.О., Матвійчук Д.Ю., Юхимюк В.О.]; за науковою редакцією професора
Ковальчука І.П. Київ: ФО-П Білецький Р.Г., 2025. 169 с.

ISBN 978-617-8530-32-7

Висвітлена сутність розробленої авторської методики та обґрунтованих алгоритмів знімання цінних пам'яток історії, культури та архітектури України з використанням геодезичних методів. Розкрито особливості створення 3D моделей пам'яток архітектури та наукових об'єктів (музених експозицій) за допомогою сучасних геодезичних приладів і геоінформаційних технологій.

Важливою складовою досліджень також виступала апробація розробленої методики та алгоритмів створення 3D моделей на прикладах об'єктів культурної спадщини України – пам'яток архітектури загальнодержавного значення.

Для фахівців геодезичного, архітектурного, землевпорядного, геоінформаційного профілю, які цікавляться питаннями створення 3D моделей культурної спадщини.

ISBN 978-617-8530-32-7

© І.П.Ковальчук, Т.О.Євсюков,
О.В.Шевченко, І.А.Опенько,
Н.А.Колеснік, О.О.Куценко,
Д.О.Рудякевич, Л.В.Стрельченко,
К.О. Михайлик, Д.Ю.Матвійчук,
В.О.Юхимюк.
© НУБіП України

ЗМІСТ

Частина 1.

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ	14
1.1. Методичні засади створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини – історико-архітектурних споруд	14
1.2. Алгоритми створення тривимірних моделей об'єктів культурної спадщини з використанням сучасних технологій отримання та опрацювання геоданих	23
1.3. Методика і результати створення 3D моделей історико-культурних об'єктів з використанням смартфона, оснащеного LiDAR-сканером	28
1.4. Інноваційні підходи до створення 3D моделей особливо цінних природоохоронних об'єктів та їх реєстру з використанням технології SLAM і 3D-сканування	40
1.5. Порівняльний аналіз придатності методів лазерного сканування, знімання тахеометром та лідаром у смартфоні для створення 3D моделей історико-архітектурних об'єктів	45
РОЗДІЛ 2. НАУКОВІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД З ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	55
2.1. Вихідні положення стосовно створення 3D моделей місцевості, будівель і споруд з допомогою геодезичних методів і засобів	55
2.2. Характеристика методів дослідження	62
2.3. Нормативно-правове забезпечення робіт зі створення 3D моделей цінних будівель і споруд в Україні із застосуванням геодезичних технологій.	63
РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ ЦІННОГО ІСТОРИКО-АРХІТЕКТУРНОГО ОБ'ЄКТА – БУДІВЛІ КАБІНЕТУ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ	65
3.1. Параметри об'єкту дослідження	65
3.2. Алгоритм і технологія створення 3D моделі фасаду будівлі КМУ	67

3.3. Топографо-геодезичне забезпечення створення 3D моделі фасаду будівлі КМУ	67
3.3.1. Геодезичні роботи на місцевості	69
3.3.2. Опрацювання та аналіз отриманих геодезичних даних	73
3.4. Побудова цифрової моделі будівлі у програмному середовищі «Blender»	75
3.5. Особливості опрацювання цифрової моделі фасаду будівлі в різних програмних засобах для зручнішої подальшої її візуалізації	89
3.6. Функціональне застосування отриманої тривимірної моделі будівлі	90
РОЗДІЛ 4. ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ АПАРАТІВ ПРИ СТВОРЕННІ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬ	96
4.1. Застосування БПЛА для аерофотознімання	96
4.2. Аналіз програмного забезпечення для реалізації проєкту	100
4.2.1. Характеристика програмного середовища Blender	101
4.2.2. Застосування програмного середовища Autodesk 3ds Max	103
4.2.3. Особливості використання програмного середовища Meshmixer	105
4.2.4. Робота з тривимірною моделлю у програмі Autodesk AutoCAD	106
ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 1	109

Частина 2.

РОЗДІЛ 5. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК З ОБ'ЄКТАМИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ	121
5.1. Нормативно-правове і технічне забезпечення процесу інвентаризації земель з об'єктами культурної спадщини в Україні	121
5.2. Поняття, класифікація та охорона об'єктів культурної спадщини	124
5.3. Міжнародний досвід інвентаризації та обліку об'єктів культурної спадщини	132
РОЗДІЛ 6. НАУКОВІ ЗАСАДИ І МЕТОДИКА ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК З ОБ'ЄКТАМИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ	138
6.1. Оцінка стану земельних ділянок з об'єктами культурної спадщини	138

6.2.Геоінформаційні системи в інвентаризації об'єктів культурної спадщини.....	141
РОЗДІЛ 7. ОСОБЛИВОСТІ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК З ОБ'ЄКТАМИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ (НА ПРИКЛАДІ ІСТОРИКО-МЕМОРІАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ “БАБИН ЯР”)	144
7.1.Історико-меморіальний комплекс “Бабин Яр” як об'єкт історико-культурної спадщини.....	144
7.2.Перспективи збереження та відновлення історико-меморіального комплексу “Бабин Яр”	149
ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 2.....	152
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО ЧАСТИНИ 2.....	154

ВСТУП

Актуальність теми. Поява нових інформаційних технологій, їх розвиток та удосконалення, проникнення в усі сфери людської діяльності обумовлюють переосмислення і трансформацію чинних підходів класичної геодезії до вирішення спектру її прикладних задач.

Інтенсивного розвитку та поширення набувають тривимірні графічні моделі. З їх допомогою можна здійснювати проєктувальну діяльність та створювати продукти, які практично неможливо відрізнити від реальних об'єктів. Сучасні інтерактивні технології дозволяють виконувати складні проєкти на основі самої лише ідеї. Це економить матеріальні, часові та інтелектуальні затрати. Актуальним на сьогодні є використання систем тривимірного (3D) комп'ютерного моделювання, за допомогою якого створюють віртуальні об'єкти місцевості та архітектури. Це і зумовлює велику поширеність таких технологій в цих галузях людської діяльності.

Питання створення тривимірних моделей досліджували такі вчені, як Н. Бондар, А. Корнєєва, І. Нищак, О. Райковська, Ю. Фещук. Методи роботи з програмним забезпеченням тривимірного моделювання викладені в працях Д. Банаха, Т. Бордмена, Г. Грехама, М. Джамбруно, Дж. Джонса й ін. Питання тривимірного моделювання також знайшли віддзеркалення в дослідженнях І. Братчикова, Т. Буляниці, В. Гончарова, Т. Коротеєвої, Т. Никитіної, І. Попова, Е. Романичевої та ін. Окремі аспекти тривимірного моделювання, як інструменту вирішення прикладних задач геодезії та наук про Землю, розглядаються в публікаціях О. Боднара, О. Бойчука, В. Даниленка, В. Мироненка.

Загальнотеоретичною базою дослідження стали праці таких учених, як Е. Велихов, Н. Вінер, О. Колмогоров, О. Олександров, Д. Поспелов, Р. Хартлі, К. Чері, К. Шенон та ін., які заклали теоретичні основи розвитку комп'ютерної техніки та можливостей її використання в наукових дослідженнях. Технологічні можливості і проблеми комп'ютерної графіки досліджували Л. Аммерал, Т. Басюк, Д. Кожушко, І. Малякова, В. Осадчий, О. Шевченко та ін.

Моделювання у тривимірному просторі нині стало стандартом різноманітного проєктування та об'єктивною необхідністю при вирішенні різноманітних задач в геодезії, географії, геоекології та

землеустрої. Для успішної інтеграції до своєї розроблюваної конструкції вузлів і деталей, створених іншими виробниками, сучасному конструктору вже недостатньо тільки поглянути на двовимірний ескіз. Для якісного виконання своїх проєктувальних функцій його цікавить об'ємна модель кожної складової частини досліджуваного об'єкта. Успішна інтеграція 3D моделювання при проєктуванні та будівництві різноманітних об'єктів забезпечить у подальшому швидкий і безпомилковий процес вирішення широкого спектру задач як проєктного, так і геодезичного забезпечення у сфері будівництва, реконструкції різноманітних будівель, відновлення цінних історико-архітектурних пам'яток та об'єктів, зруйнованих воєнними діями росії в Україні за умов завчасного створення їхніх тривимірних моделей.

З урахуванням існуючого досвіду досліджень, можна назвати такі риси тривимірного моделювання будівель та їх частин:

1) тривимірне моделювання є ефективним і потужним інструментом прикладних досліджень об'єктів навколишнього світу, воно є важливою складовою сучасної тенденції розвитку геодезії та картографії як наук, які забезпечують процес створення і двовимірних, і тривимірних, і навіть чотиривимірних моделей навколишнього світу;

2) задачі з моделювання виникають у зв'язку з запитами практики, але вони дуже рідко бувають чітко сформульованими; моделюванню, як правило, передує процес чіткої постановки задачі, вирішенню якої сприяє створення 3D моделі;

3) створення моделі завжди починають з ідеалізації об'єкту на основі спрощуючих припущень. З метою глибшого вивчення об'єкта, до створеної попередньої його моделі за результатами додаткових досліджень додають нові суттєві уточнення;

4) центральне місце у роботі з моделлю посідає обчислювальний експеримент, який має на меті дослідити поведінку моделі внаслідок зміни вхідних даних: саме так виявляють особливості перебігу процесу, явища чи змін стану в досліджуваному об'єкті за різних умов;

5) оскільки ніколи не існує повної впевненості в тому, що побудована спрощена модель правильно відображає описуване нею явище, то необхідною вимогою є перевірка моделі на її адекватність досліджуваному об'єкту;

б) заключним етапом у 3D моделюванні будівель є проведення аналізу результатів та формулювання висновків; при цьому треба розуміти, що ці висновки справджуються лише в межах тих припущень, які були прийняті при створенні моделі, тому поширювати їх поза цими межами не можна.

В останні 10 років в усіх сфери суспільного життя входить активне застосування безпілотних літаючих апаратів, лазерних сканерів, різноманітних геодезичних інструментів, які дозволяють створювати високоточні 3D моделі місцевості, рельєфу, господарських, архітектурних, інфраструктурних об'єктів, здійснювати моніторинг їхнього стану, обґрунтовувати рекомендації з їхнього збереження, реконструкції, а у зв'язку з воєнними подіями також створення цифрових моделей об'єктів культурної, історико-архітектурної спадщини для збереження візуальної інформації про них та її відтворення в разі руйнування цих об'єктів. Отримання знімків місцевості та різноманітних об'єктів з повітря, можливість виконувати знімальні роботи там, де раніше це було неможливо, отримання нових ракурсів – все це робить охарактеризовані вище технології дуже затребуваними. Але безпілотні літаючі апарати, електронні тахеометри і 3D лазерні сканери – не лише хобі, а й помічники в різних галузях господарства: сільському, лісовому, водному, видобувній промисловості, будівництві, моніторинзі стану і змін різноманітних об'єктів та споруд, вирішенні широкого спектру завдань геодезії, топографії, енергетики тощо.

Враховуючи ці обставини, а також те, що у квітні 2017 року Європейський парламент прийняв рішення відзначати 2018 рік як рік Культурної Спадщини Європи під гаслом «Наша спадщина: де минуле зустрічається з майбутнім», в Україні існує гостра проблема обліку, документування (в т.ч. зі створенням їх 3D моделей) і збереження об'єктів культурної спадщини, особливо у зв'язку з воєнною агресією росії та масовими руйнуваннями історико-архітектурних комплексів, музеїв, пам'яток культури, об'єктів природно-заповідного фонду тощо.

Для вирішення цих завдань важливим є застосування інноваційних методів і технологій дослідження історико-культурної спадщини в Україні.

Землі, на яких розташовані території та об'єкти історико-культурної спадщини, разом із землями природоохоронного, оздоровчого та рекреаційного призначення становили єдину категорію земель, законодавчо визначену Земельним кодексом УРСР 1990 року. З прийняттям Земельного кодексу України від 25 жовтня 2001р. вони були виокремлені в самостійну категорію з назвою «землі історико-культурного призначення».

Виділення окремої категорії земель історико-культурного призначення як таких, що підлягають особливій охороні, зумовлене доцільністю збереження об'єктів культурної спадщини українського народу, які розташовуються на відповідних землях.

Землями історико-культурного призначення вважаються земельні ділянки, на яких розташовані визначені законом об'єкти, що мають особливі історичну, наукову, архітектурну, мистецьку та культурну цінності; землі, призначені для розміщення, використання та забезпечення правового режиму охорони історико-культурних об'єктів, включених до Державного реєстру нерухомих пам'яток України, а також для забезпечення відповідного режиму охоронюваних територій з археологічними об'єктами та історичних ареалів населених пунктів [1].

Головною рисою земель історико-культурного призначення є розташування на них об'єктів культурної спадщини. Тому визначаючи основні засади правової регламентації охорони об'єктів історико-культурної спадщини, необхідно орієнтуватися передусім на положення законодавства про охорону культурної спадщини.

На офіційному сайті Міністерства культури України можна ознайомитися з Державним реєстром нерухомих пам'яток України [39a]. Він містить коротку інформацію в форматі таблиці про зареєстровані пам'ятки національного та місцевого значення на території України.

Сьогодні проблеми формування Реєстру набули особливої актуальності й гостроти через те, що стали очевидними невтішні результати 15-літньої роботи щодо включення до нього пам'яток. Статистика свідчить, що з наявних в Україні близько 140 тис. пам'яток до Реєстру занесено тільки 8971 пам'ятка, тобто менше 4 %. Якщо, приміром, у 2012 р. до Реєстру було занесено 1439 пам'яток, у 2013 р. – тільки 1122, то за 2015 р. – жодної. Це свідчить не тільки про

адміністративну неспроможність Мінкультури, а й про серйозні проблеми в самій державній системі обліку пам'яток. Особливо ускладнилася ця робота у зв'язку з повномасштабним вторгненням росії в Україну у лютому 2022 року. Масштабне руйнування нерухомих пам'яток під час російських ракетних атак, бомбардувань КАБами, мінометних та артилерійських обстрілів населених пунктів вимагає проведення знімальних робіт з метою створення тривимірних моделей цінних історико-культурних та історико-архітектурних об'єктів для збереження пам'яті про них у вигляді 3D моделей.

Тривимірні моделі використовуються при:

1) моніторинзі змін стану різноманітних об'єктів у часі – це актуально для пам'яток архітектури, монументальної скульптури та інженерних об'єктів, бо дозволяє відстежувати їхній стан і своєчасно проводити реконструкцію, ремонт та відновлення (при їх руйнуванні в період воєнних дій);

2) управлінні станом об'єктів;

3) відновленні втраченої технічної документації на різні об'єкти;

4) інвентаризації та модернізації об'єктів інфраструктури і комунікацій;

5) вирішенні завдань проєктування охоронних заходів і реконструкції об'єктів;

6) створенні документації при будівництві та благоустрої території;

7) розрахунках і контролі обсягів видобування відкладів та корисних копалин, функціонуванні кар'єрів, відвалів і насипів, визначенні об'ємів сипучих матеріалів (у процесі будівництва, розробки кар'єрів, інвентаризації об'єктів);

8) просторовому аналізу в міському плануванні та управлінні розвитком територій, при розрахунках телекомунікаційних мереж;

9) комплексному архітектурному плануванні та проєктуванні розміщення різноманітних будівель і споруд;

10) розрахунках обсягів робіт в землеустрої, маркшейдерії, геодезії.

Для врегулювання використання безпілотних літаючих апаратів використовують такий показник, як «оцінка ризиків, зумовлених використанням БПЛА». Базуючись на цих позиціях, виділяють 3 категорії ризиків:

- 1) низький ризик – авторизація безпілотної не потрібна;
- 2) середній ризик – необхідний дозвіл для використання безпілотної, при цьому є певні обмеження у його використанні;
- 3) високий ризик – безпілотної має бути сертифікованим, а пілот (оператор) обов'язково повинен мати відповідну ліцензію.

Дотримуючись цих вимог, одним з об'єктів наших досліджень було обрано аерофотознімання скульптури “Батьківщина-Мати” з допомогою безпілотної літакового типу DJI Phantom 4 pro. Наведемо його параметри:

1. Вага 1368 грам;
2. Максимальний час польоту 30 хв;
3. Діапазон робочих температур 0-40° С.

Сьогодні є багато програмних продуктів, які пропонують функціонал для опрацювання інформації з БПЛА. Доволі часто 3D моделі створюють за допомогою програмного продукту Pix4D. Цей програмний продукт є одним з лідерів на ринку професійних програм для інтерпретації даних, отриманих з дронів. Переваги роботи в Pix4D – це перш за все можливість ручного контролю процесів на кожному етапі опрацювання даних, що дозволяє досягти більшої точності; можливість обліку особливостей різних спектральних сенсорів; створення радіометричних і геометрично точних індексних карт; наявність додатка для польотів і легкість у використанні. Pix4D надає можливість безкоштовного тестування на 15 днів. Також великою перевагою є те, що для опрацювання даних не обов'язково завантажувати програму на ПК, адже їх опрацювання можна здійснювати на офіційному сайті.

Фотограмметричне опрацювання зображень та генерування 3D моделі монумента у ПЗ Pix4D виконується за таким алгоритмом:

- 1) візуальна оцінка зображень;
- 2) завантаження знімків у проєкт Pix4D;
- 3) генерування цифрової моделі рельєфу;
- 4) генерування ортофотоплану;
- 5) побудова розрідженої хмари точок;
- 6) побудова щільної хмари точок;
- 7) текстурування моделі;
- 8) побудова 3D моделі;

9) збереження та експорт моделі.

Проміжними результатами опрацювання даних у програмі Pix4D є цифрова модель рельєфу та ортофотоплан. Цифрові моделі рельєфу виступають однією з форм документування об'єктів культурної спадщини.

Ортофотоплан – ортогональна проєкція точної тривимірної моделі об'єкта на задану площину. Дана форма фіксації поєднує в собі геометричні властивості об'ємного креслення з образотворчими властивостями фотознімків. Точність ортофотоплану становить 5,15 см на піксель.

Скульптура Батьківщина-Мати – символ нашої столиці. Неодноразово піднімалося питання про знесення скульптури через її небезпечні габарити та складний рельєф місцевості. В період декомунізації гостро стояло питання про демонтаж радянського герба зі щита. Роботи з демонтажу радянського герба зі статуї «Батьківщина-мати» були виконані у кінці липня – серпні 2023 року. Тоді ж він отримав назву «Україна-Мати». Створена цифрова 3D копія зберегла її початковий вигляд, а у випадку руйнації допоможе її реконструювати.

Об'єкт нашого дослідження – процес створення тривимірних моделей цінних історико-архітектурних об'єктів – навчального корпусу № 6 і навчального корпусу № 1 НУБіП України, фасаду будівлі Кабінету Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 та інших об'єктів із застосуванням сучасних геодезично-картографічних технологій.

Предмет дослідження – методологічні, організаційні, методичні прикладні аспекти тривимірного моделювання цінних історико-архітектурних будівель із застосуванням сучасних геодезичних технологій.

Мета роботи – обґрунтування методики та алгоритмів сканування цінних пам'яток історії, культури та архітектури України і розкриття особливостей створення 3D моделей пам'яток архітектури та наукових об'єктів (музеїв) за допомогою сучасних геодезичних технологій.

Завдання роботи – розроблення Методики та алгоритмів створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини.

Важливою складовою проекту також виступала апробація розробленої методики та алгоритмів створення 3D моделей на прикладах різних об'єктів культурної спадщини України.

Висвітленню усіх цих питань присвячена пропонована увазі читачів колективна монографія, підготовлена в рамках теми базового фінансування БФ/39-2021 «Методика та алгоритми створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини», яка виконувалася кафедрою геодезії та картографії факультету землевпорядкування Національного університету біоресурсів і природокористування України у 2024-2025 роках.

РОЗДІЛ 1. МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

1.1. Методичні засади створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини – історико-архітектурних споруд

3D-моделювання – це процес створення тривимірних об'єктів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення [8181]. 3D-моделювання дозволяє не лише фіксувати історичну культурну спадщину, але й ефективно застосовувати цей інструмент для відновлення та реконструкції зруйнованих об'єктів.

Сьогодні світова наукова спільнота продовжує розвивати сучасні технології інформаційного моделювання будівель (BIM), доповнені відповідним програмним забезпеченням для проєктування будівель і споруд. Є багато актуальних сфер, де ці технології широко використовуються. Особливо це стосується відбудови зруйнованих об'єктів культурно-історичної спадщини [8].

За допомогою 3D моделювання архітектори можуть створювати реалістичні візуалізації проєктів, включаючи анімації та віртуальні тури. Це дозволяє краще зрозуміти, як проєкт буде виглядати в реальному середовищі, враховуючи природне освітлення, матеріали і навіть зелені насадження. 3D моделі дозволяють інженерам детально розглянути кожен аспект конструкції, від основних структур до невеликих елементів, таких як віконні рами або кріпильні елементи. Це сприяє виявленню та усуненню потенційних проблем на ранніх стадіях проєктування.

За допомогою 3D моделей можна проводити різноманітні інженерні розрахунки, такі як аналіз навантажень, оцінка енергоефективності та моделювання різних сценаріїв експлуатації будівлі [69].

Найбільш яскравим прикладом практичного використання технології Scan-to-BIM та Points Cloud став випадок із всесвітньо відомою пам'яткою архітектури – собором Нотр Дам в Парижі, де після пожежі та руйнувань було прийнято рішення про реконструкцію первинного вигляду собору і надалі в ході реставрації джерелом для розроблення технічної документації слугувала відсканована у 2015 році істориком та архітектором Андрю Таллоном за допомогою обладнання від компанії Trimble MEP 3D модель собору [75].

Лазерне сканування широко використовується завдяки його здатності збирати дані з об'єктів, поверхонь, структур і ландшафтів з високою точністю та деталізацією. Його основна мета – отримання максимально точних результатів у найкоротший час. Лазерне сканування за принципом розташування сканерів поділяється на наземне, повітряне та мобільне [60].

Для 3D опрацювання об'єкту в даному дослідженні використовується ручний лазерний 3D сканер SLAM R100 — портативний пристрій 3D-побудови моделей в реальному часі, розроблений компанією a-GEO, який поєднує модуль бачення LiDAR, високоточний інерціальний навігаційний модуль і високопродуктивні комп'ютерні модулі. SLAM R100 можна використовувати для отримання хмари точок, яка дублює навколишній простір, створення моделей і реалізації надшвидкої віддаленої співпраці. Результати можна переглядати в режимі реального часу, для уникнення похибок через неправильне збирання даних. Алгоритм опрацювання даних дозволяє легко розрізнити наземні об'єкти та контури, отримуючи хмару точок у кольорі, наближено подібну на відображення реальної ситуації.

Таблиця 1

Технічні характеристики ручного лазерного сканера SLAM R100.

Параметр	Значення
Відносна точність	±1.5 см
Клас лідара	Клас 1
Вага	1.9 кг
Частота хмари точок	320000/640000 точка/с
IP рівень	IP54
Дистанція сканування	120 м
Робота батареї	90 хв
Поле зору	360° × 270°
Повторна точність	<1 см
Допустима температура роботи	-20°C – +50°C
Кількість камер	4
Внутрішня пам'ять	1Tb SSD
Відновлення після паузи	+
Споживання енергії	<30W
Візуальне позиціювання	+
Місткість батареї	46.8 ват/година
Справжній колір XT	+
Живлення	Змінна батарея

Керувати процесом можна і з мобільного телефону. Весь процес активації пристрою, сканування, RTK і контрольних точок можна виконувати в додатку. Хмару точок і процес зйомки можна перемикаати для перегляду в режимі реального часу, щоб уникнути помилок при зніманні.



Рисунок 1. Процес знімання об'єкта і перегляду хмари точок

LixelStudio – це програмне забезпечення для опрацювання 3D-даних, розроблене компанією XGRIDS. Воно надає сервіси для перегляду, редагування та опрацювання хмар точок, створених лазерним скануванням SLAM R100. В даному програмному забезпеченні, відкривши меню попереднього опрацювання, в рядку меню можна скористатися функцією попереднього опрацювання в один клік. Натискання кнопки "Почати" негайно ініціює завдання опрацювання. Після завершення згенерований las файл буде автоматично імпортований до програми. Для кольоризації створеної хмари точок потрібно експортувати панорамне відео, що відповідає хмарі точок, з панорамної камери та опрацювати панорамне відео за допомогою Insta360 Studio, вимкнувши режим стабілізації та при експорті вибрати режим панорамного відео і встановити такі параметри: пропускна здатність 90, роздільна здатність 3840x1920, формат кодування 265. В LixelStudio натиснути кнопку забарвлення хмари точок, імпортувати файл проєкту, оригінальне відео з розширенням invs та опрацьований файл MP4. Вирівнювання хмари точок використовується, коли фасад будівлі в даних хмари точок має значний перекид. LixelStudio – це комплексне програмне забезпечення для опрацювання 3D-хмари точок, що працює на основі алгоритмів просторового інтелекту [10].

Фотограмметричні технології віддавна застосовують для потреб архітектурного моделювання, документування, інвентаризації історичних будівель, пам'яток тощо. Часто такого роду проєкти

виконують для фіксування стану та складання цифрової технічної документації для споруд і будівель, які є частиною культурної та історичної спадщини [73].

Програмне забезпечення швейцарського розробника Pix4D застосовується для оцінювання обсягів земляних робіт, створення NDVI-карт для точного землеробства і видобутку корисних копалин. Опрацювання в Pix4D знаходить застосування для виявлення змін ландшафту, а також для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Сфери застосування ПЗ Pix4D – це будівництво, кадастр, контроль над станом навколишнього середовища, землеробство, аерофотограмметрія, нерухомість [16].

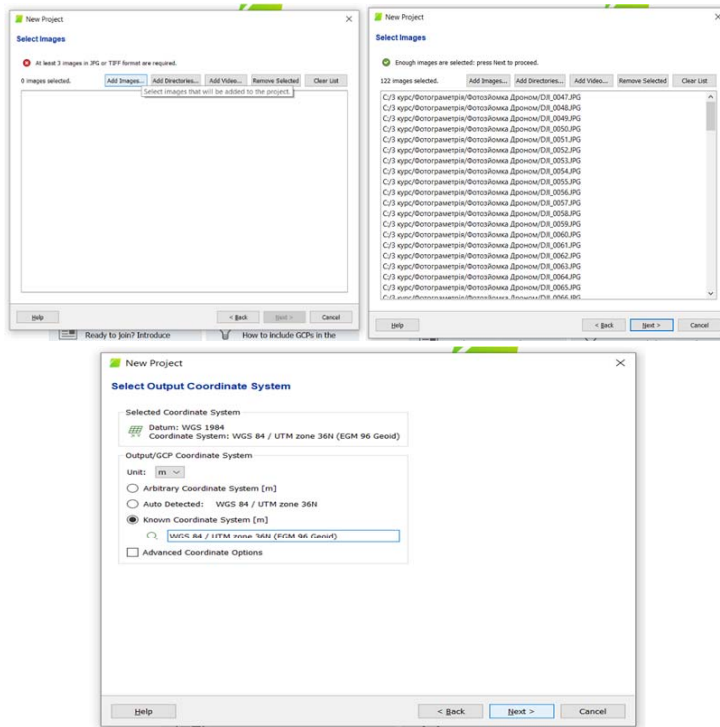
Послідовність опрацювання аерофотозйомки у програмному забезпеченні Pix4D та створення 3D моделі наступна.

Натискаємо «Новий проєкт». Відкриється нове діалогове вікно, в якому потрібно вказати «Назву проєкту» та де потрібно зберегти проєкт. Тоді натискаємо «Далі». Процедура опрацювання хмари відображає рис.2.



Рисунок 2. Процедура опрацювання хмари точок в Pix4D

Завантажуємо аерознімки корпусу № 6 НУБіП України до проєкту та продовжуємо роботу.



Обираємо систему координат – УСК 2000.

В результаті ми повинні отримати візуалізацію об'єкта зйомки з підвантаженими аерознімками (рис. 3).

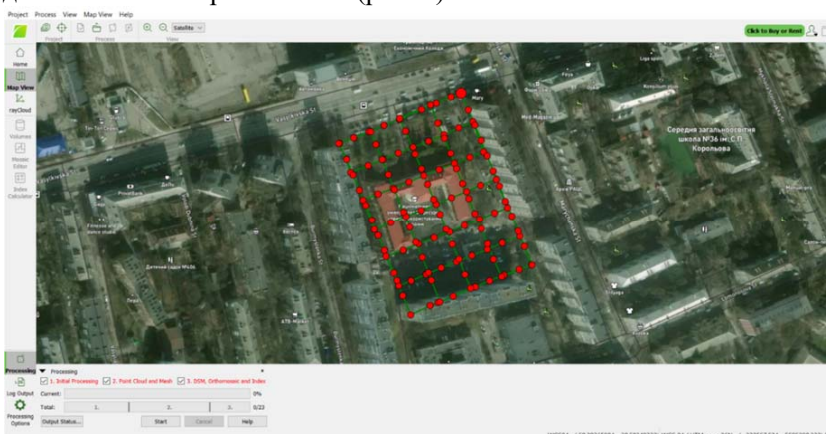
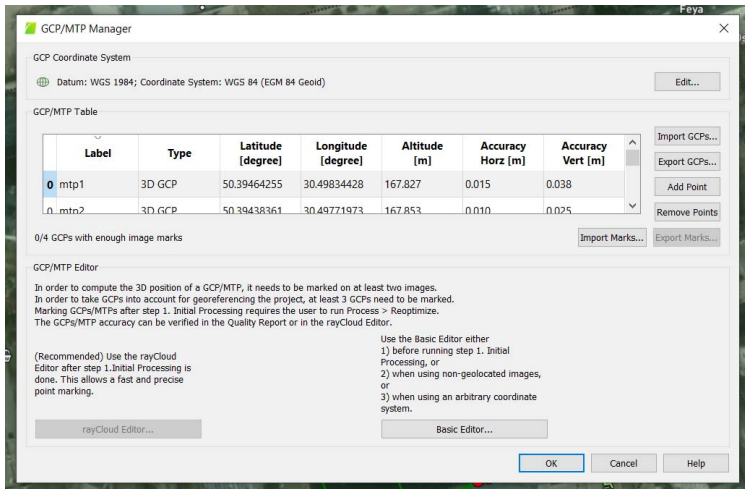
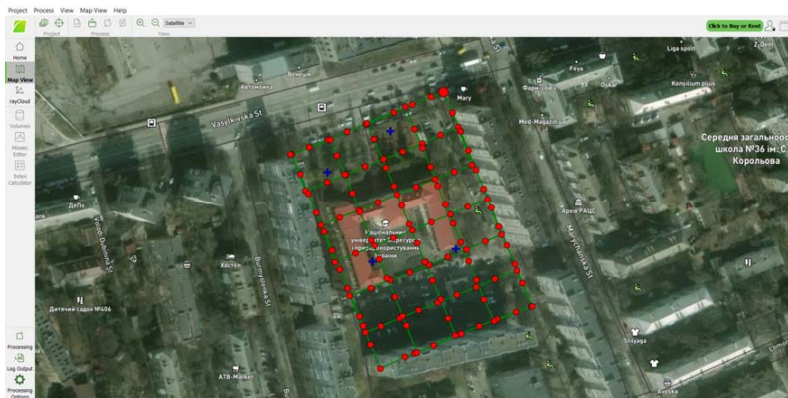


Рисунок 3. Візуалізація об'єкта зйомки з підвантаженими аерознімками

Натискаємо на GPS Manager та вводимо опорні точки – Edit і вибираємо відповідну систему координат.



a)



6)

Рисунок 4. Вибір системи координат (а) та результати первинного опрацювання даних знімання (б)

Закінчивши первинне опрацювання даних, отримуємо модель взаємного орієнтування знімків та хмару точок, визначення яких можна перевірити та проводити коригування.

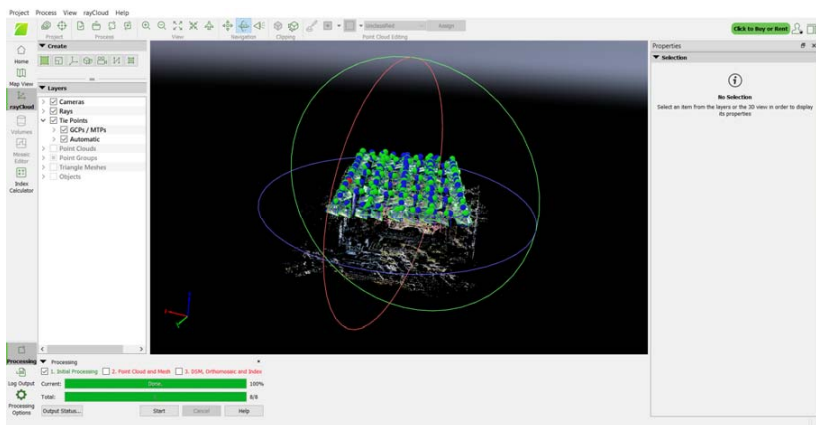


Рисунок 5. Опорні точки на знімках та задання їхніх координат

На даному етапі необхідно чітко розпізнати опорні точки (кут доріжки) на знімках та задати їх координати (X,Y,Z), визначені на місцевості за допомогою геодезичних методів. Для вирішення цього завдання на лівій стороні, у вкладці «Вибір», обираємо «Тип точки» – «Планово-висотна точка». Після цього ми зможемо ввести координати, попередньо визначивши їх за допомогою ГНСС-приймача. Після введення координат натискаємо «Застосувати».

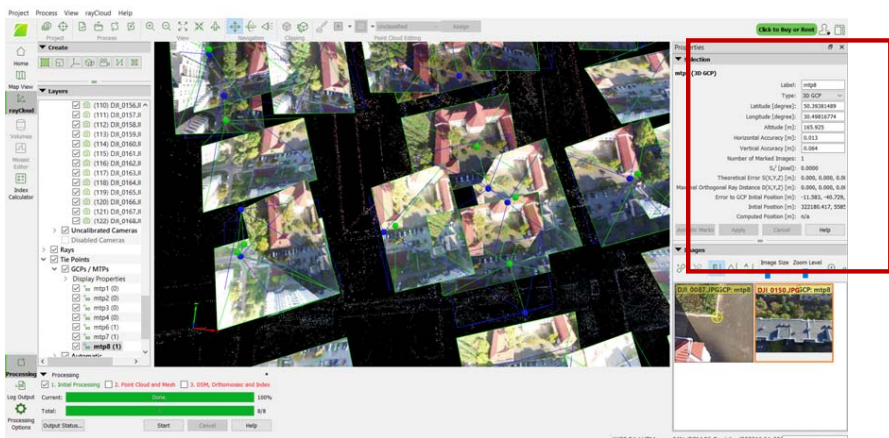


Рисунок 6. Модель взаємного орієнтування знімків досліджуваного об'єкта

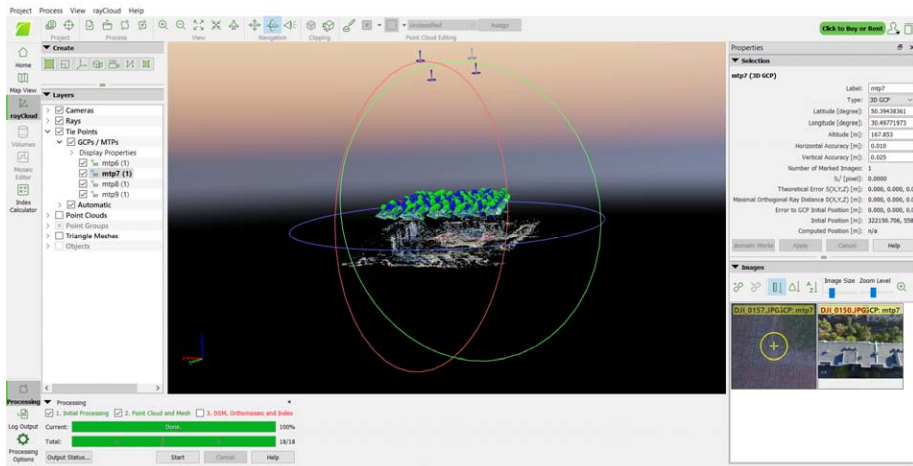
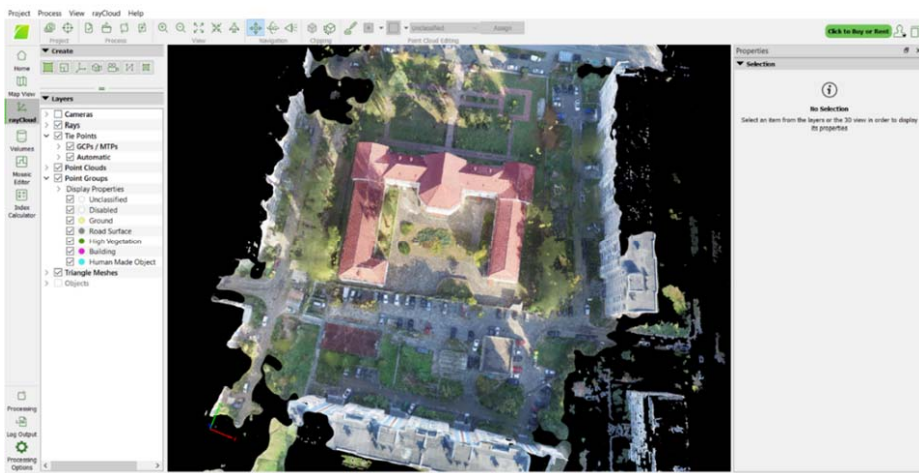
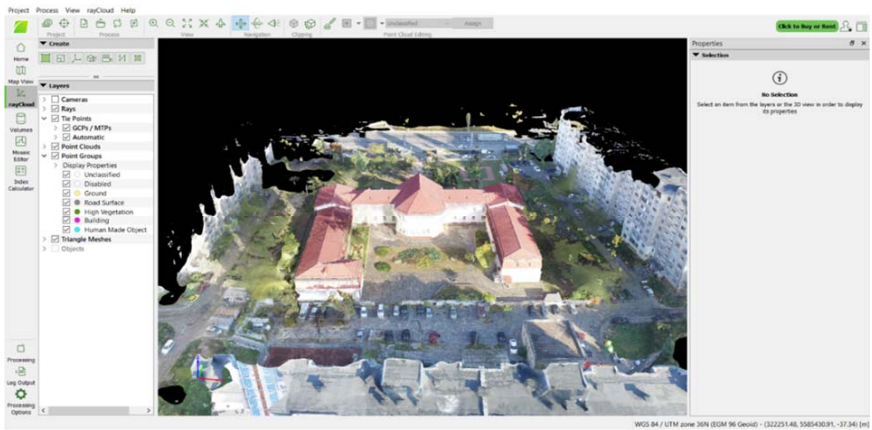


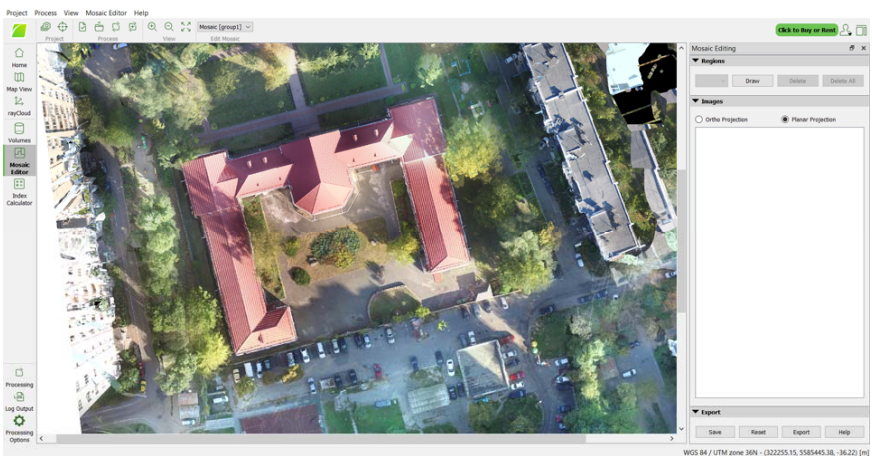
Рисунок 7. Отримання закоординованої хмари точок сканованого об'єкта



a)



б)



в)

Рисунок 8. Завершальні кроки (а, б, в) на шляху створення 3D моделі історико-архітектурного об'єкта – навчального корпусу № 6 НУБіП України за допомогою лазерного сканування 3D сканером SLAM R100.

Як видно з рис. 8, в результаті опрацювання хмари точок досліджуваного історико-архітектурного об'єкта отримуємо достатньо якісну і точну 3D модель навчального корпусу № 6 НУБіП України.

1.2. Алгоритми створення тривимірних моделей об'єктів культурної спадщини з використанням сучасних технологій отримання та опрацювання геоданих

Охарактеризовані в попередньому параграфі методичні засади створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини – історико-архітектурних споруд – спонукали нас до розроблення універсальних алгоритмів, які можна буде використовувати при виконанні подібних робіт в різних регіонах України з урахуванням як специфіки досліджуваних об'єктів, так і наявного дослідницького інструментарію – лазерних сканерів різних типів, електронних тахеометрів, безпілотних літаючих апаратів (БПЛА), LIDAR-сканерів або їх поєднань (комплексування).

В запропонованій нами схемі алгоритму досліджень, спрямованих на сканування досліджуваних цінних архітектурних об'єктів та створення їх 3D моделей, задіяно чотири види операторів прийняття рішень (рис. 9):

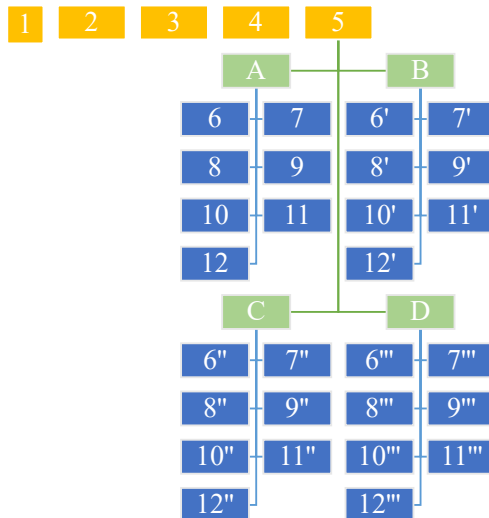


Рисунок 9. Алгоритм створення 3D моделей об'єктів історико-культурної (архітектурної) спадщини України

1. Оператор формулювання мети і завдань дослідження (1);
2. Оператор виконання дослідницьких кроків (2-11);

3. Оператори прийняття рішень про напрямок продовження досліджень (А, В, С, D);

4. Оператори завершення дослідження за обраним напрямком та отримання кінцевого результату (12, 12', 12'', 12''') – 3D моделі історико-архітектурного об'єкта.

Повний спектр дослідницьких операцій за кожним напрямком дослідження нараховує 12 кроків. Перші 5 кроків є спільними для кожного з виділених чотирьох напрямків досліджень (рис. 9):

1 – формулювання мети і завдань дослідження;

2 – вибір об'єкта(ів) детального дослідження для апробації різних методик на його (їхніх) прикладі(ах);

3 – аналіз існуючих методів створення 3D моделей цінних історико-архітектурних об'єктів (ІАО);

4 – вибір оптимальних (найкращих) методів створення 3D моделей цінних історико-архітектурних об'єктів (ІАО);

5 – вибір варіантів технічного (інструментального) забезпечення виконання знімальних робіт за кожним з чотирьох напрямків досліджень.

На наступному етапі у гру вступають Оператори прийняття рішень про вид продовження досліджень (А...D).

Оператор А передбачає, що дослідження виконуватиметься з використанням БПЛА. Вони включатимуть такі кроки (рис. 9):

6 – вибір типу БПЛА та програмного забезпечення для опрацювання результатів зйомки;

7 – виконання знімальних робіт;

8 – вибір програмного забезпечення для опрацювання матеріалів знімання;

9 – опрацювання матеріалів (результатів) знімальних робіт з використанням відповідного програмного забезпечення;

10 – створення 3D моделі досліджуваного об'єкта;

11 – редагування, коректура 3D моделі;

12 – отримання кінцевої продукції – авторської 3D моделі об'єкта дослідження (історико-архітектурної пам'ятки), побудованої з використанням БПЛА.

При виборі напрямку В дослідження проводимуться з використанням ручного лазерного сканера AlphaGeo SLAMR100 і включатимуть такі операції (рис. 9):

6' – вибір типу лазерного сканера з урахуванням необхідної точності і складності досліджуваного об'єкта для проведення знімальних робіт;

7' – виконання знімальних робіт;

8' – вибір програмного забезпечення для опрацювання даних знімання з допомогою обраного типу лазерного сканера;

9' – опрацювання результатів (даних) знімальних робіт в обраному програмному забезпеченні;

10' – створення 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта;

11' – редагування, коректура створеної 3D моделі досліджуваного об'єкта – історико-архітектурної пам'ятки;

12' – отримання кінцевої продукції – 3D моделі історико-архітектурної пам'ятки.

При виборі третього напрямку досліджень (оператор С) дослідження проводяться методами поєднаного використання БПЛА і лазерного 3D сканера. Вони включатимуть наступні кроки:

6" – вибір типів БПЛА та лазерного сканера для поєднаного їх застосування при зніманні об'єкта історико-культурної (архітектурної) спадщини;

7" – виконання знімальних робіт із застосуванням 3D сканера та БПЛА;

8" – вибір програмного забезпечення для опрацювання даних знімання, отриманих з допомогою БПЛА та лазерного 3D сканера;

9" – опрацювання результатів знімальних робіт, отриманих при поєднаному застосуванні БПЛА та лазерного 3D сканера;

10" – створення 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (пам'ятки архітектури);

11" – редагування, коректура створеної 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (пам'ятки архітектури);

12" – отримання кінцевої наукової продукції – 3D моделі досліджуваної пам'ятки архітектури.

При виборі четвертого напрямку досліджень (оператор D) дослідження проводяться методом сканування з допомогою LIDAR-сканера, вмонтованого у смартфон. В цьому випадку вони включатимуть наступні кроки:

6"" – вибір типу апарата з урахуванням необхідної точності і складності досліджуваного об'єкта для проведення знімальних робіт;

7"" - виконання знімальних робіт із застосуванням обраного апарата - LIDAR-сканера, вмонтованого до смартфона;

8"" – вибір програмного забезпечення для опрацювання даних знімання, отриманих з допомогою LIDAR-сканера, вмонтованого у смартфон;

9"" – опрацювання результатів знімальних робіт, отриманих з використанням LIDAR-сканера, вмонтованого у смартфон;

10"" – створення 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (пам'ятки архітектури)

11""– редагування, коректура створеної 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (пам'ятки архітектури)

12"" – отримання кінцевої наукової продукції - 3D моделі досліджуваної пам'ятки архітектури чи окремих її елементів (складових).

Використання у дослідницькому процесі охарактеризованого алгоритму дозволить вирішувати поставлене завдання – створення 3D моделей об'єктів історико-культурної, історико-архітектурної, мистецької, науково-музейної спадщини України з урахуванням їхніх рис та властивостей, а також наявності дослідницького інструментарію та фахівців, здатних виконувати знімальні роботи й опрацьовувати отриману у ході зйомок цифрову інформацію в тому чи іншому програмному забезпеченні та створювати якісні 3D моделі пам'яток історії, культури, архітектури, музеїв і пам'ятників.

Алгоритм виконання робіт, спрямованих на створення 3D моделей історико-культурних об'єктів за допомогою сканера SLAM R100 можна також подати в наступному (загальнішому) вигляді:

1. Підготовка до роботи

1.1 Перевірка обладнання

- Переконайтеся, що сканер SLAM R100 у справному стані, без пошкоджень.

- Перевірте заряд акумулятора. Повністю зарядіть пристрій перед виїздом на об'єкт.
- Підготуйте необхідні аксесуари: підставку для прив'язки, камере Insta 360.

1.2 Огляд об'єкта сканування

- Визначте ключові точки для сканування історико-культурного об'єкта.
- Закладіть опорні точки для прив'язки сканера до системи координат; відстань між опорними точками повинна становити 50-100м.
- Сплануйте маршрут сканування, при цьому уникайте рухомих об'єктів, скляних об'єктів, дзеркал.

1.3 Налаштування програмного забезпечення

- Відкрийте програму для роботи зі сканером (LixelGo) на робочому контролері.
- Налаштуйте з'єднання зі сканером.

2. Процес сканування. Він включає два види дій:

2.1 Калібрування

- Розмістіть сканер на плоскій поверхні серед великої кількості відбивних поверхонь (будівлі, дерева, природні об'єкти).
- Запустіть процес сканування, дочекайте ініціалізації сканера.

2.2 Виконання сканування

- Утримуйте сканер на оптимальній відстані від об'єкта (згідно з інструкцією).
- Почніть сканування, поступово пересуваючись навколо об'єкта. Забезпечте плавні рухи зі сканером в руках для отримання точних даних.
- Виконуйте прив'язку сканера до системи координат на попередньо закладених опорних точках.
- Виконуйте сканування до 20 хв, щоб забезпечити високу точність збору даних; якщо об'єкт складний, то весь процес розбиваємо на декілька сесій сканування.
- Важливо замкнути хід сканування на точці початку сканування.

3. Після завершення сканування виконуються наступні операції:

3.1 Перевірка даних

- Збережіть отримані дані сканування на запам'ятовуючий пристрій.

- Якщо потрібно, виконайте додаткове сканування для заповнення виявлених прогалів.

3.2 Експорт даних

- Експортуємо файли зі сканера, камери Insta 360, яка використовувалась для кольоризації.
- Готуємо файли для опрацювання: за допомогою програмного забезпечення Insta 360 Studio конвертуємо відео з камери в необхідний формат – MP4. Готуємо файл з опорними точками, які будуть використовуватись для прив'язки хмари точок до системи координат.
- Запускаємо програмне забезпечення для постопрацювання даних сканування - LixelStudio.
- Завантажуємо вихідні дані в LixelStudio.
- Запускаємо процес опрацювання.
- Отримуємо хмару точок: оптимізовану, прив'язану до системи координат, очищену від рухомих об'єктів, кольоризовану (за необхідності).

Даний алгоритм роботи зі сканером та опрацювання результатів знімання застосовується лише для сканерів компанії «XDRIDS», «AlphaGeo». Інші бренди можуть використовувати інші методи й етапи опрацювання.

1.3. Методика і результати створення 3D моделей історико-культурних об'єктів з використанням смартфона, оснащеного LiDAR-сканером

Постановка проблеми. Мобільні 3D сканери на сучасному етапі технічного й інформаційного оснащення суспільства знаходять нові галузі застосування при вирішенні як геодезичних, так і землевпорядних та будівельно-реконструкційних задач. Цьому сприяє як удосконалення їхньої технологічної складової, так і введення обмежень на застосування БПЛА при виконанні знімальних робіт в умовах воєнного стану, введеного в Україні у зв'язку з воєнною агресією росії. Необхідність 3D сканування цінних історико-культурних та історико-архітектурних об'єктів і створення їхніх 3D моделей зумовлена існуючим високим ризиком ураження та руйнування під час терористичних атак росії на об'єкти енергетичної, цивільної та культурної і науково-освітньої

інфраструктури в різних регіонах України. З цих позицій застосування 3D сканування різноманітних об'єктів, формування щільної хмари точок, які відображають їхні контури і будову та її опрацювання і створення цифрових 3D моделей є вкрай актуальним завданням геодезії.

Наземне лазерне 3D сканування може виконуватися з використанням широкого спектру геодезичної апаратури, вибір якої залежить від масштабу (розмірів) сканованого об'єкта, мети і призначення створюваної його цифрової 3D моделі [1]. Лазерне сканування широко застосовується при вирішенні завдань консервування пошкоджених і реставрації давніх пам'яток архітектури через його здатність точно зафіксувати як форму, так і розміри та зовнішню і внутрішню структуру об'єкта. У спектрі вирішуваних ним задач найважливішими є: документування стану об'єкта через створення точних 3D моделей пам'яток архітектури, музеїв, пам'ятників тощо; створення інформаційно-аналітичних передумов для реставрації та консервації пошкоджених пам'яток архітектури чи цінних об'єктів іншого типу, для яких існують загрози руйнування чи знищення; вирішення задач підвищення рівня доступності та популяризації інформації про пам'ятки архітектури, музеї і навіть їхні експонати, адже завдяки використанню 3D моделей можна створювати віртуальні експозиції, поширювати інформацію про культурну спадщину серед широких мас населення, зберігати її в цифровому вигляді як історичну пам'ять; використання 3D моделей для дослідження, аналізу та моніторингу змін, які відбуваються в стані чи будові того чи іншого об'єкта [1; 67].

Починаючи з 2020 року, в дослідників появились нові відносно недорогі інструменти, з допомогою яких можна виконувати лазерне 3D сканування різноманітних об'єктів: *iPad Pro ma iPhone 12 Pro/iPhone 12 Pro Max* [1; 67]. Ми спробували апробувати цю технологію для створення 3-D моделі Музею ґрунтів ім. проф. М. М. Годліна, розташованого в навчальному корпусі № 2 НУБіП України (м. Київ).

Отже, лазерне сканування з використанням смартфона може слугувати важливим інструментом забезпечення збереження та дослідження архітектурної спадщини, бо продукує детальну і точну інформацію про об'єкти, яка в подальшому може бути використана для

вирішення широкого спектру завдань – від освітньо-популяризаційних та консерваційно-реконструкційних до збереження історичної пам'яті про важливі історико-архітектурні, музейні та наукові об'єкти нашого минулого.

Аналіз стану досліджень з використанням LIDAR-сканерів. Питанням, пов'язаним зі створенням 3D моделей об'єктів навколишнього світу з допомогою LIDAR-сканерів, присвячено чимало досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Вони відображають спектр способів і прийомів використання цієї технології при скануванні різноманітних невеликих споруд та об'єктів за допомогою iPhone та iPad [1], при реконструкції та відтворенні об'єктів історичних міст і різноманітних споруд [38; 53] та створенні фантомних моделей архітектурних компонентів [76], отриманні цифрових версій об'єктів культури [2], удосконаленні методів створення 3D моделей з використанням креслень і фотографій [9], вирішенні подібних завдань комплексом геодезичних методів [13; 18; 20] .

В Україні є кілька команд та компаній, які здійснюють спеціалізоване сканування та створення 3D моделей об'єктів історико-культурної спадщини, розташованих в різних регіонах нашої держави. До них належать [72, с. 1]:

«SKEIRON. Ця команда оцифровує українську спадщину вже понад вісім років. За цей час компанія оцифрувала палац культури «Енергетик» у Прип'яті, Софійський собор, Золоті ворота, костел святого Миколая, Чернівецький університет, серію архітектурних пам'яток Львова та більшість пам'яток ЮНЕСКО, розташованих в Україні. З них більше 100 об'єктів оцифровано у високому ступеню деталізації;

ГО “Пікселейтід Реалітіз”. Фахівці цієї організації запустили військово-документальний проєкт «Музей Української перемоги», головним завданням якого є збереження культурно-історичної спадщини у вигляді 3D моделей та демонстрація світові боротьби і прагнень українського народу через відображення об'єктів, постраждалих від війни росії проти України, у вигляді віртуальних 3D моделей. “Пікселейтід Реалітіз” вже відсканувала більш як 85 об'єктів, створила 2 скани міст та 175 сканів монументів і статуеток;

AERO3D – українська інженерна компанія, яка спеціалізується на 3D-моделюванні, лазерному скануванні, виконанні геодезичних і фотограмметричних робіт, створенні віртуальних 3D-турів, фото- і відеозніманні цінних об'єктів. Наразі компанією створено моделі 25 об'єктів культурного значення та 16 моделей знищених росією військових і цивільних об'єктів, таких, наприклад, як церкви;

Му Future Heritage – проєкт що займається оцифруванням матеріальної культурної спадщини, створенням тактильних експозицій для незрячих та слабозорих осіб, 3D-скануванням та друком, а також фотограмметрією. За ініціативи команди створено проєкт, в межах якого планується оцифрувати понад 1100 творів Львівської національної галереї мистецтв імені Б.Г. Возницького.

Крім охарактеризованих організацій, функціонуючих у сфері створення цінних для України 3D об'єктів та моделей, також працюють такі компанії, як Town Image Studio, Hemo, MEMORYSAVERS та інші. Ця галузь має значний потенціал та цінність для нашої країни, тому розвиток подібних ініціатив є актуальною задачею.

Сканування і створення 3D пам'яток культурної спадщини є важливим для України з огляду на можливість збереження унікальних об'єктів, які перебувають під загрозою знищення природними і техногенними процесами та російським агресором. Крім того, ці технології дозволяють зробити культурну спадщину доступнішою для громадськості, навіть для тих, хто не може відвідати ці об'єкти фізично. Технологія створення 3D моделей об'єктів дозволяє віртуально досліджувати та вивчати культурні пам'ятки, що відкриває нові можливості для освіти, туризму та популяризації культурної спадщини України як в межах країни, так і за її межами».

Виконаний стислий аналіз свідчить про значні перспективи лазерного сканування історико-культурних об'єктів, в т. ч. з використанням LIDAR-сканера.

Мета дослідження. Метою дослідження є опрацювання методичних засад виконання знімання та створення 3D моделей цінних історико-культурних і наукових об'єктів з використанням смартфона, оснащеного LiDAR-сканером.

Матеріали і методи наукового дослідження. При виконанні наукового дослідження було використано такі методи: польового знімання з використанням смартфона, оснащеного LiDAR-сканером [1]; опрацювання результатів знімання з використанням програми Polycam [17] та Auto CAD, PIX4D, 3D MAX, Blender; верифікації отриманої 3D моделі музейної експозиції; узагальнення отриманих результатів та їх відображення у вигляді 3D моделі.

Результати дослідження та їх обговорення. Сутність технології LiDAR-сканування об'єктів із застосуванням смартфона. LiDAR-датчик в смартфоні представлений невеликим модулем, розташованим на задній панелі пристрою. Він складається з лазерного випромінювача, приймача світла та процесора для опрацювання отриманих даних (рис. 10).



Рисунок 10. Розташування Лідар-сканера на задній панелі смартфона

Лідар дозволяє вимірювати відстані до об'єктів з високою точністю та швидкістю [1; 2; 17]. Це досягається за рахунок використання інфрачервоних променів світла, які не поглинаються атмосферою. LiDAR працює наступним чином (рис. 11):

- датчик LiDAR випромінює короткі імпульси інфрачервоних променів світла;

- інфрачервоні промені світла відбиваються від об'єктів, які ми знімаємо і потрапляють у поле зору датчика у смартфоні;

- датчик вимірює час, за який світло повертається назад;

- на основі цього часу датчик обчислює відстань до об'єкта;

- на основі хмари точок формується образ (3D модель) об'єкта.

Основний принцип дії цієї технології знімання здається простим: датчик випромінює світлові промені та засікає час, необхідний цим променям на рух до об'єкта знімання, відбиття від нього та повернення назад. Цей процес

враховує навіть вплив розсіюючого середовища, що дозволяє досягти високої точності у визначенні відстаней до об'єктів.

У такий спосіб LiDAR бачить та сприймає навколишній світ. Серед мобільних пристроїв вперше технологія LiDAR з'явилася на задніх камерах у 2020 році з випуском iPad Pro та iPhone 12 Pro/iPhone 12 Pro Max [1; 2]. Виходить, що LiDAR-знімання – це метод визначення віддалей від камери до досліджуваних об'єктів з використанням лазерного випромінювання.

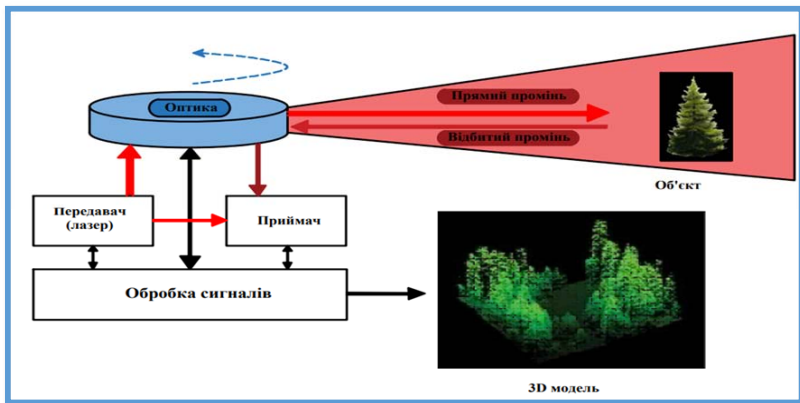


Рисунок 11. Принципова схема виконання знімальних робіт з використанням смартфона з LiDARом

У процесі зйомки ми отримуємо хмару точок, за допомогою яких окреслюються контури досліджуваного об'єкта. Наступне опрацювання цієї хмари точок дозволяє створювати 3D моделі досліджуваних об'єктів.

Створення 3D моделі об'єкта історико-культурної спадщини з застосуванням програмного засобу Polysat у смартфоні. LiDAR можна використовувати для створення точних 3D моделей історико-архітектурних об'єктів та музейних приміщень. Ця технологія може бути корисною для вирішення різних завдань, таких як архітектурне

проектування, знімання цінних пам'яток архітектури і створення їхніх об'ємних зображень, супровід ремонтних робіт, створення віртуальної і доповненої реальності тощо. Реалізація цих завдань особливо важлива в період воєнного стану, коли існує небезпека руйнування російськими агресорами цінних історико-культурних об'єктів, тому завчасне створення їхніх 3D-моделей вкрай важливе для збереження нашої історико-архітектурної, музейної та культурної спадщини.

Загальний принцип створення 3D моделі одного з таких об'єктів – Музею ґрунтів у другому навчальному корпусі НУБіП України – відображено на рис. 12 й охарактеризовано нижче.

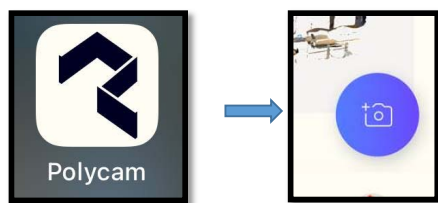


Рисунок 12. Загальний алгоритм створення 3D-моделі Музею ґрунтів у навчальному корпусі № 2 НУБіП України з використанням мобільного додатку Polycam

1. Відкриваємо програму Polycam [17] та натискаємо «створити новий проєкт».

2. Обираємо функцію LiDAR  та починаємо сканувати поверхню досліджуваного об'єкта (рис. 13).

3. Після завершення сканування отримуємо готову полігонометричну модель, яку в подальшому можна експортувати в різні розширення, які підійдуть для подальшого опрацювання в додатковому програмному забезпеченні, такому як Auto CAD, PIX4D, 3D MAX, Blender (рис. 14).

4. Після експорту проєкту в файл з розширенням DXF, відкриваємо його в AutoCAD (рис. 15, 16) та визначаємо точність передачі параметрів експозиції на створеній хмарі точок, яка відображає експонати Музею

грунтів НУБіП України – ґрунтові розрізи з різних природних зон України.

5. Як видно, завантажена хмара точок має не дуже високу щільність, але цього достатньо для визначення точності відображення розмірів ґрунтових монолітів на створюваній 3D моделі експозиції Музею ґрунтів (рис. 17).

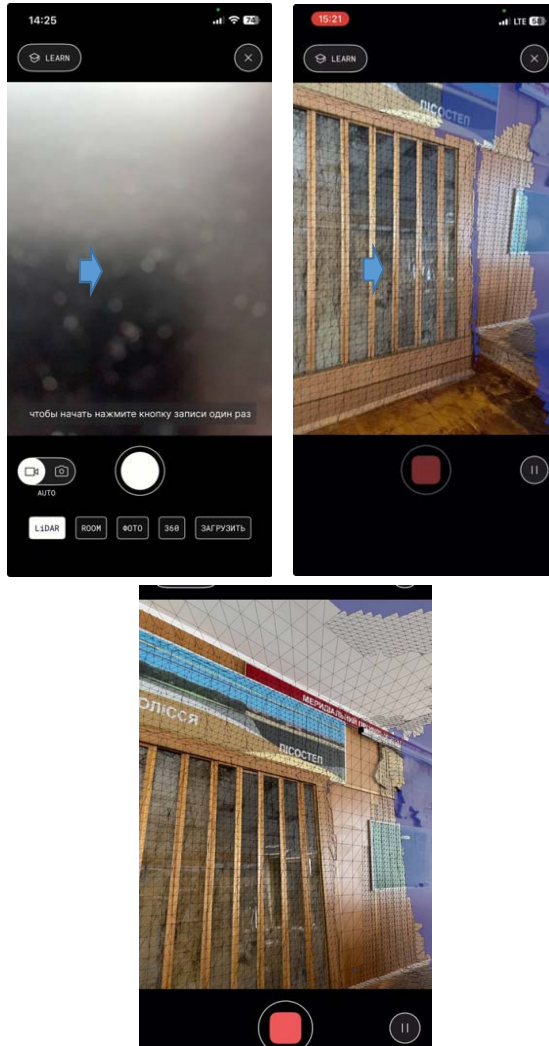


Рисунок 13. Початок процесу сканування експозиції Музею ґрунтів НУБіП України і заскановані її елементи

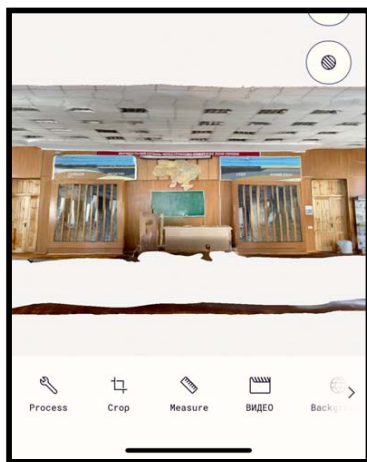
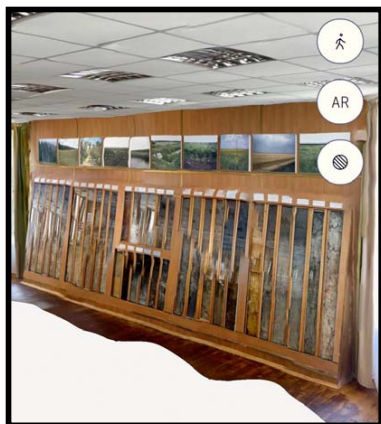


Рисунок 14. Фотографія частини Музею ґрунтів та вигляд засканованого ЛІДАРОМ у смартфоні й частково опрацьованого фрагмента його експозиції



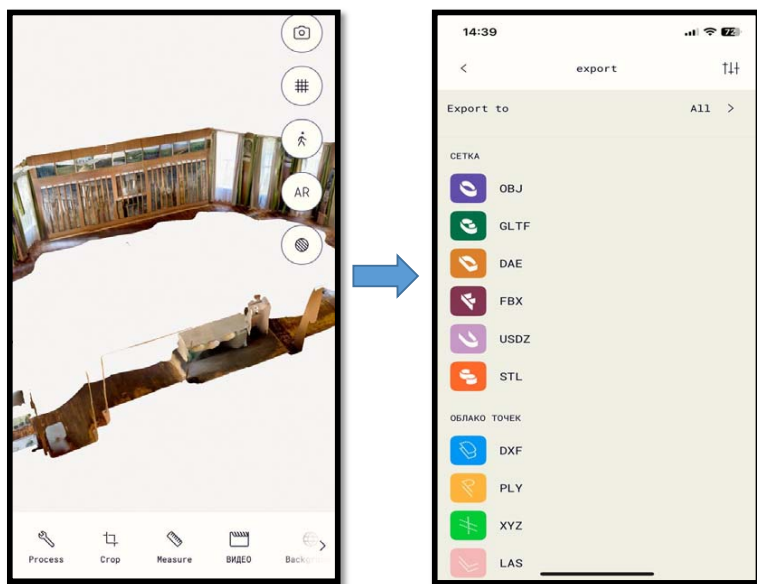


Рисунок 15. Заскановані та опрацьовані частини експозиції ґрунтових розрізів у Музеї ґрунтів НУБіП України та їх експорт у файл з розширенням DXF

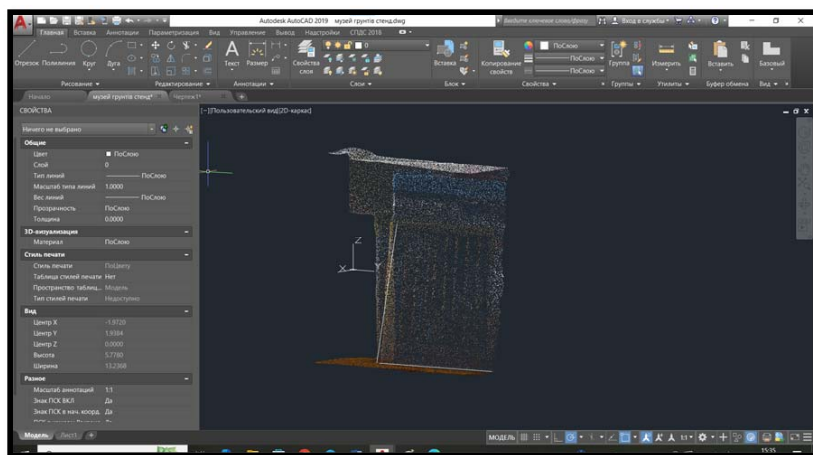


Рисунок 16. Хмара точок, які відображають елементи експозиції Музею ґрунтів

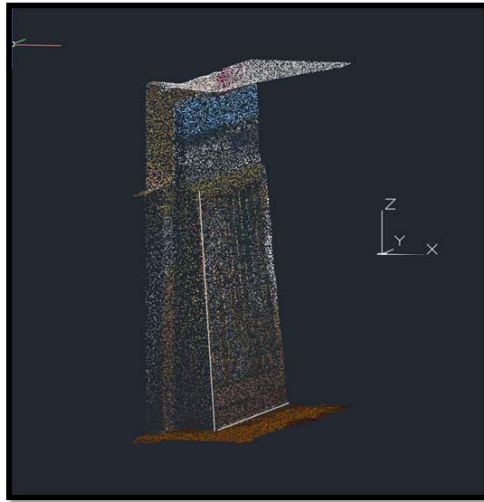


Рисунок 17. Хмара точок, яка відображає параметри стенду ґрунтових розрізів. За сталонне значення беремо довжину експозиційного стенду, виміряну рулеткою. Вона становила 258 см. (рис. 18)



Рисунок 18. Фрагмент експозиції ґрунтових розрізів у Музеї ґрунтів НУБіП України з відображенням їх лінійних розмірів, визначених рулеткою

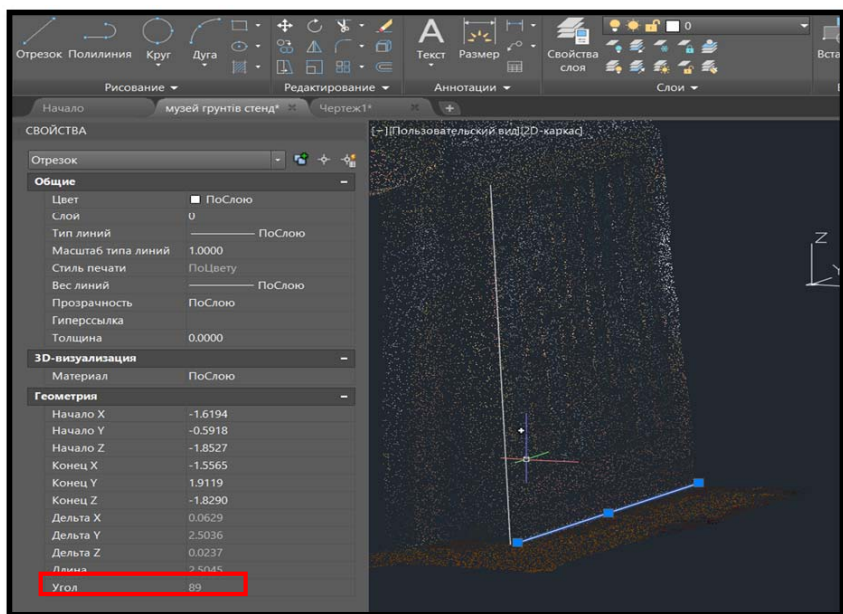


Рисунок 19. Оцінка точності створеної 3D моделі експозиції Музею ґрунтів

6. Для визначення точності вимірювання довжини стенду ґрунтових монолітів можна використати відносну похибку. Формула для її обчислення:

$$\text{Відносна похибка} = \frac{|\text{Еталонне значення} - \text{Виміряне значення}|}{\text{Еталонне значення}} \times 100\%$$

Підставляємо в цю формулу виміряні дані:

- еталонне значення довжини, виміряне рулеткою: 258 см
- виміряне значення з допомогою LiDAR – сканера: 250 см

$$\text{Відносна похибка} = \frac{258-250}{258} \times 100 \% = \frac{8}{258} \times 100 \% \approx 3,10\%$$

Отже, похибка вимірювання лінійних параметрів експозиції за допомогою LiDAR – сканера не перевищує 3,10%, тобто є цілком прийнятною.

На сучасному етапі розвитку нашої держави, коли росія впродовж майже трьох років веде загарбницьку війну на території України, руйнуючи міста і села, знищуючи історико-культурні, архітектурні, наукові цінності, будівлі, складові інженерно-технічної інфраструктури, існує потреба у проведенні знімальних робіт для створення 3D моделей найцінніших об'єктів національної спадщини. У вирішенні цього завдання великим потенціалом володіє геодезія, зокрема такі її дослідницькі технології, як лазерне сканування і знімання з допомогою LiDAR-сканера у смартфоні.

Висновки. Для реалізації завдання створення 3D моделі Музею ґрунтів НУБіП України як об'єкта наукової спадщини спочатку була розроблена принципова схема (алгоритм) виконання знімальних робіт з допомогою смартфона з LiDAR-сканером та опрацювання отриманої хмари точок, які відображають контури сканованих об'єктів. Цей алгоритм покладений в основу обґрунтованої методики створення 3D моделей об'єктів історико-культурної та наукової спадщини України з використанням технологій лазерного сканування досліджуваних об'єктів.

Охарактеризовані результати застосування LiDAR-сканера для створення 3D моделі експозиції ґрунтових розрізів (монолітів), зібраних за більш як 100-річний період в Музеї ґрунтів НУБіП України. Отримана 3D модель експозиції Музею ґрунтів з достатньою точністю передає реальні розміри і властивості його експонатів.

1.4. Інноваційні підходи до створення 3D моделей особливо цінних природоохоронних об'єктів та їх реєстру з використанням технології SLAM і 3D-сканування

Необхідність створення реєстру особливо цінних земель (ОЦЗ) є актуальним завданням. До ОЦЗ, згідно зі статтею 150 Земельного кодексу України [46], включено землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення. Вони характеризуються високою природною цінністю, є базисним компонентом екосфери, екологічним каркасом території, відіграють важливу роль у забезпеченні екологічної рівноваги. В Україні площа територій та об'єктів природно-заповідного

фонду становила 2,8 млн. га, або 4,8 % її території. В той же час, існуючі підходи до створення і ведення реєстру територій та об'єктів природно-заповідного фонду базуються на застарілих технологіях і підходах, і зазвичай представляють собою «сухі» статистичні дані про назву заповідного об'єкта та його місцезнаходження, площу, землекористувача та рішення відповідного органу, згідно з яким створено заповідний об'єкт.

Одним із інноваційних напрямів модернізації і підвищення ефективності охорони територій та об'єктів природно-заповідного фонду автори розглядають використання технологій SLAM і 3D-сканування, що враховують сучасні потреби в управлінні, моніторингу та охорони природних об'єктів і відповідають викликам та міжнародним стандартам охорони навколишнього середовища, зокрема в рамках таких ініціатив, як Європейська екологічна мережа Natura 2000. Насамперед ці технології дозволяють візуалізувати такі природоохоронні об'єкти і території, створювати їхні високоточні тривимірні моделі, інтерактивні платформи, що можуть легко інтегруватися з іншими геоінформаційними системами (Державний земельний кадастр, Геопортал національної інфраструктури геопросторових даних та ін.), сприятимуть залученню ширшого кола учасників до процесу збереження природної спадщини.

В Україні дослідження питань, пов'язаних із створенням реєстру ОЦЗ, малочисельні. Серед останніх наукових досліджень вітчизняних вчених щодо досліджуваної проблеми звертає увагу обґрунтування алгоритму формування інформаційної бази даних про ОЦЗ м. Києва в цілому і, зокрема, на рівні адміністративних районів [62]. Окремі науково-методичні положення щодо формування реєстру ОЦЗ на регіональному рівні розглянуті у працях [44; 45].

З інтенсивним розвитком технологій 3D-моделювання та геодезичного обладнання, мобільне 3D сканування (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping) забезпечує значно якісніше вирішення завдань тривимірного моделювання об'єктів. Здатність швидко і точно збирати дані про рельєф місцевості, архітектурні об'єкти та інфраструктуру в реальному часі на основі автоматизованих і високопродуктивних лазерно-скануючих систем стала основним

поштовхом для наших досліджень [43]. Оскільки технологія SLAM є відносно новою, то можливості її застосування при вирішенні завдань у галузях геодезії та землеустрою є ще недостатньо вивченою.

Важливим варіантом внесення відомостей про новобудови, реконструкції вже наявних споруд, парки, пам'ятки природи, культури і туризму є створення їх 3D моделей за допомогою лазерних сканерів [82; 83].

Критичний аналіз останніх наукових досліджень і публікацій, що стосуються вивчення ОЦЗ, застосування 3D сканування для вирішення задач у сфері геодезії та землеустрою дає змогу констатувати, що в Україні недостатньо опрацьованими залишаються питання, пов'язані з створення Державного реєстру ОЦЗ з використанням 3D сканування та його інтегрування з кадастрово-реєстраційною системою держави (КРС).

Методикою створення реєстру особливо цінних природоохоронних об'єктів передбачено три етапи досліджень. На першому етапі відбувається збір геоданих із використанням мобільного 3D сканера. На другому етапі здійснюється опрацювання даних у спеціалізованому програмному забезпеченні на основі аналізу детальної хмари точок. На завершальному – третьому етапі, на основі опрацьованих даних формується єдиний реєстр, який включає детальні 3D-моделі природоохоронних об'єктів, їхні географічні координати, площу, іншу важливу інформацію. У подальшому такий реєстр має бути інтегрований з іншими державними кадастрами та базами даних.

Законодавчою і нормативно-правовою базою створення реєстру територій та об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) виступають Земельний кодекс України, Закон України "Про природно-заповідний фонд України", Укази Президента України про створення об'єктів ПЗФ. В якості інформаційної бази доцільно розглядати і використовувати проєкти землеустрою щодо організації і встановлення меж територій природно-заповідного фонду та іншого природоохоронного призначення [62] і результати 3D сканування цих об'єктів та побудови їхніх високоточних тривимірних моделей.

Враховуючи охарактеризовані вище обставини, об'єктом наших досліджень обрано Ботанічний сад НУБіП України, який розташований у

м. Києві. Ботанічний сад Національного університету біоресурсів та природокористування України є частиною Голосіївського лісу, яка функціонує в якості навчального підрозділу університету. Загальна площа Ботанічного саду складає 47,5 га. Землі даного об'єкту за всіма існуючими критеріями доцільно віднести до ОЦЗ.

Через те, що територія ботанічного саду є досить великою за площею, при виконанні її досліджень з метою створення 3D моделей, правильним рішенням було використання приладу ALPHAGEO SLAM 100 для сканування усієї території. Ця технологія допомагає набагато легше і швидше вивчати потрібну територію або простір з метою створення 3D моделей [43].

Працівниками ТОВ Геофікс у рамках проєкту з кадастрових робіт було виконано сканування земельної ділянки площею 10 гектарів у лютому місяці 2024 року.

Однією з переваг використання сканера ALPHAGEO SLAM R100 стало значне скорочення часу виконання польових робіт, яке склало близько 50 хвилин (рис. 20), що на порядок швидше виконання того ж обсягу робіт класичним методом із залученням геодезистів та використанням електронного тахеометра, ГНСС приймача та лазерної рулетки.



Рисунок 20. Знімання території ботанічного саду 3D сканером ALPHAGEO SLAM 100

Для прив'язки даних знімання було закладено 6 опорних точок, за якими здійснювалася трансформація плану у просторову систему координат МСК80, яка використовується при геодезичних і топографічних роботах для вирішення задач інженерних пошуків в будівництві та експлуатації будівель і споруд, межуванні земель, веденні кадастрів та інших спеціальних робіт.

Опорні точки були закріплені на горизонтальних площинах, закоординованих з допомогою ГНСС приймача. Камеральне опрацювання виконувалося в програмному забезпеченні LIXEL STUDIO. Час камерального опрацювання даних становив 1 годину 45 хвилин. За результатами опрацювання отримано детальну хмару точок у форматі LAS з RGB з її відповідним розфарбуванням (рис. 21, 22).



Рисунок 21. Хмара точок RGB одного з об'єктів Ботанічного саду НУБіП України.

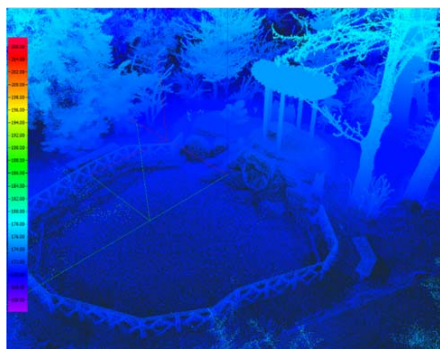


Рисунок 22. Хмара точок, яка відображає висотні параметри об'єктів Ботанічного саду.

Розроблення Державного реєстру ОЦЗ необхідно віднести до числа важливих і превентивних заходів, що забезпечуватимуть охорону цінного земельного фонду та безпечне його використання в умовах постійно зростаючого антропогенного навантаження на земельні ресурси. За таких обставин збереження цінних продуктивних земель разом з розташованими на них важливими об'єктами є пріоритетним напрямком діяльності держави. Для збору інформації про ОЦЗ доцільно застосувати метод мобільного 3D сканування. Перевагою використання технології SLAM є зменшення часу та забезпечення необхідної детальності і точності знімальних робіт.

Отримана хмара точок визначена з достатньою щільністю і точністю щоб слугувати для створення топографічного плану масштабу 1:500 з дотриманням нормативних вимог до точності створюваних картографічних документів.

1.5. Порівняльний аналіз придатності методів лазерного сканування, знімання тахеометром та лідаром у смартфоні для створення 3D моделей історико-архітектурних об'єктів

Геодезичні дослідження фасадів цінних в історико-архітектурному плані будівель є основоположними для збереження об'єктів культурної спадщини та забезпечення ефективного містобудування. Сучасні методи, такі як лазерне сканування, тахеометричне знімання та мобільна лідарна технологія, надають широкі можливості для детального вивчення фасадів історико-архітектурних об'єктів. Проте відсутність комплексного порівняльного аналізу придатності цих методів за критеріями точності, економічної ефективності та продуктивності для вирішення цих завдань обмежує обґрунтований вибір оптимальної технології для вирішення конкретних геодезично-картографічних задач [4; 5; 7; 9; 11].

Представлене дослідження відображає детальний аналіз зазначених методів геодезичних досліджень фасадів історико-архітектурних об'єктів, фокусуючись на порівняльній оцінці їхніх методологічних засад і технічних характеристик. Мета дослідження – визначити сильні та слабкі сторони кожного методу аби надати фахівцям і дослідникам об'єктивну основу для вибору оптимального підходу до вирішення

конкретних геодезичних завдань, пов'язаних зі створенням 3D моделей цінних історико-культурних (історико-архітектурних) об'єктів України [15; 19].

Враховуючи технічне завдання теми БФ-39-2021 факультету землевпорядкування базового фінансування на 2024 рік, нами проведено порівняльний аналіз геодезичних даних, отриманих різними методами під час дослідження 6-го навчального корпусу НУБіП України. Систематична оцінка точності вимірювань, матеріальних і часових затрат на збирання та опрацювання даних дозволила визначити оптимальні геодезично-знімальні технології для вирішення конкретних задач геодезичного моніторингу цього історико-архітектурного об'єкта.

Приступаючи до вирішення окреслених завдань, проаналізуємо досвід таких досліджень. Аналіз літературних джерел свідчить, що значний внесок у розвиток методів геодезичних досліджень фасадів зробили такі видатні вчені, як М. Верма та М. Ядав [24], які у своїх роботах детально досліджували застосування лазерного сканування для збереження архітектурної спадщини. Автори цих досліджень підкреслюють високу точність та детальність даних, отриманих за допомогою лазерного сканування, що дозволяє створювати детальні 3D-моделі фасадів будівель та проводити точні вимірювання їхніх лінійних параметрів.

Паралельно з розвитком лазерного сканування, значний інтерес викликають дослідження можливостей використання лідарних датчиків, інтегрованих в сучасні смартфони. Так, Нік Ажан Хакім [4; 5] провів порівняльний аналіз точності та ефективності використання датчиків iPhone LiDAR для геодезичних робіт та показав їхній потенціал для швидкого збору даних про місцевість і її об'єкти. Ці дослідження свідчать про те, що лідарні датчики смартфонів можуть стати доступним та ефективним інструментом для виконання геодезичних робіт, особливо на невеликих об'єктах та швидких обмірів їхніх контурів [12; 21].

Роботи згаданих вчених свідчать про значний прогрес у галузі геодезичних досліджень фасадів будівель. Використання лазерного сканування та лідарних датчиків смартфонів відкриває нові можливості для отримання детальної і точної інформації про цей тип об'єктів дослідження.

Спираючись на фундаментальні дослідження вчених [22; 23], наша робота дає комплексну оцінку сучасних методів геодезичного дослідження фасадів історико-архітектурних будівель. Отримані результати дозволяють сформулювати практичні рекомендації для фахівців, які займаються збереженням та реставрацією історичних будівель, а також для здійснення моніторингу стану сучасних споруд.

Вибір фасаду навчального корпусу як об'єкта дослідження був обумовлений його доступністю та репрезентативністю стосовно широкого спектру геометричних форм і матеріалів, характерних для фасадів історичних будівель. Комплексність геометрії фасаду дозволила повною мірою оцінити можливості кожного з досліджуваних методів та визначити їхні сильні та слабкі сторони [15; 19].

Для забезпечення високої точності та надійності результатів геодезичних досліджень, на фасаді будівлі було створено мережу контрольних точок. Ці контрольні точки діяли як еталонні маркери, дозволяючи проводити точну оцінку даних, зібраних цим методом дослідження. Ретельний вибір місця розміщення контрольних точок полегшив оцінку похибок вимірювань і калібрувальних розбіжностей між різними інструментами, використовуваними у процесі проведення цього виду досліджень.

Для отримання детальної інформації про фасад історико-архітектурної будівлі 6 корпусу НУБіП України використано 3 геодезичні методи [15; 19]. Охарактеризуємо дещо детальніше риси кожного з цих методів.

1. Лазерне сканування. Для отримання детальної 3D-моделі фасаду було використано лазерний сканер Leica ScanStation C10, який відзначається високою швидкістю сканування і точністю вимірювань. Сканер встановлювався на кількох станціях навколо будівлі, що дозволило створити тривимірне відображення досліджуваного будинка – історико-архітектурної споруди. Для забезпечення точної реєстрації сканів використовувалися контрольні точки, а також програмне забезпечення для автоматичного опрацювання даних.

Отримана в результаті виконання знімальних робіт хмара точок (рис. 23) відображає детальну геометрію фасаду, включаючи всі чітко виражені в ньому архітектурні елементи.

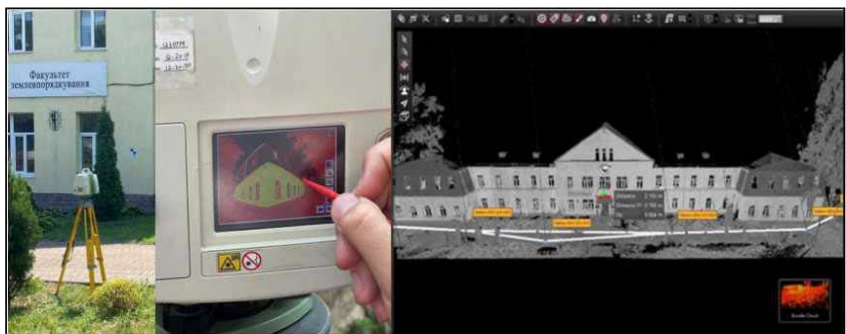


Рисунок 23. Лазерне сканування фасаду будівлі навчального корпусу № 6

2. Знімання за допомогою тахеометра (рис. 24). Для створення детальної 2D-моделі фасаду використовувався тахеометр GEOMAX ZOOM 10 (2"), який працював в парі з приймачем GNSS Leica GS16. Знімання проводилося з точністю вимірювання кутів $\pm 2''$ і відстаней ± 2 мм + 2 ppm. Отримані дані опрацьовувалися у програмному забезпеченні AutoCAD, що дозволило побудувати точне 2D-зображення фасаду та визначити його геометричні параметри. Порівняння з результатами лазерного сканування показало високу точність тахеометричного знімання у випадку вимірювання лінійних розмірів історико-архітектурного об'єкта.

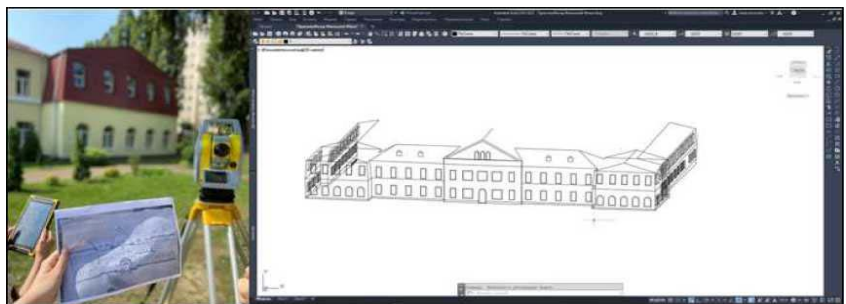


Рисунок 24. Станційне знімання фасаду будівлі навчального корпусу № 6

3. *Лідарне дослідження* (рис. 25): Для швидкого збору даних про геометрію фасаду був використаний смартфон iPhone 13Pro, оснащений технологією LiDAR. Смартфон був використаний для збору даних хмари точок фасаду будівлі. Сам процес знімання виявився економічно ефективною та доступною альтернативою традиційним системам лідарів.

Після польових досліджень отримані дані були опрацьовані за допомогою спеціалізованих програмних засобів: PIX4Dcatch, Pix4Dmapper – це програмне забезпечення полегшило опрацювання даних лідарної зйомки, отриманих за допомогою iPhone 13Pro. Такий підхід допоміг перетворити неопрацьовані дані хмари точок у зручне і точне 2D представлення фасаду будівлі. При цьому AutoCAD використовувався для опрацювання даних, зібраних за допомогою тахеометра. Програмне забезпечення дозволило створити точний двовимірний контур фасаду будівлі, який можна порівняти з результатами інших методів [15; 19].

Одним із завдань дослідження був порівняльний аналіз точності, детальності, швидкості та вартості лазерного сканування, зйомки тахеометром та лідарної зйомки з використанням iPhone 13Pro для оцінки геометричних параметрів фасадів будівель. Очікувалося, що результати дослідження дозволять визначити оптимальний метод для різних типів об'єктів та завдань,

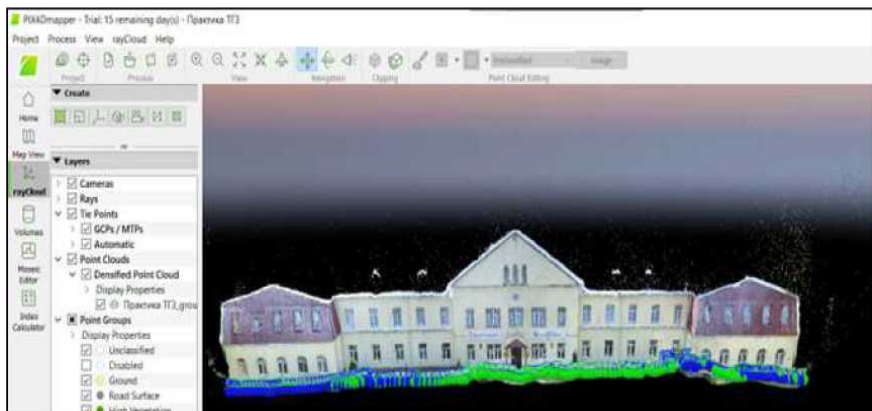


Рисунок 25. Лідарне знімання фасаду будівлі навчального корпусу № 6 за допомогою смартфона iPhone 13Pro

а також оцінити потенціал використання смартфонів в геодезичних дослідженнях об'єктів історико-архітектурної спадщини. Отримані результати [15; 19] мають важливе значення для розроблення нових технологій фіксування зовнішнього вигляду об'єктів історико-культурної спадщини, оптимізації процесів проєктування та будівництва, а також для створення цифрових моделей міських поселень.

Важливим напрямом дослідження була оцінка точності геодезичних методів вимірювання ліній між контрольними точками на фасаді 6-го навчального корпусу Національного університету біоресурсів і природокористування України в Києві. Виміряні відстані порівнювали з даними контрольних вимірювань, на основі яких оцінювалася точність трьох різних методів зйомки: лазерного сканування (Leica ScanStation C10), лідар із використанням iPhone 13 Pro і тахеометр (GEOMAX ZOOM 10 (2")) (рис. 26, табл. 2).



Рисунок 26. Зйомка відстаней між контрольними точками:
а) лазерне сканування; в) лідар iPhone 13 Pro; с) зйомка тахеометром.

Результати порівняльного аналізу чітко демонструють різницю в точності досліджуваних методів. Методи лазерного сканування (Leica ScanStation C10) і зйомка тахеометром (GEOMAX ZOOM) продемонстрували вищу точність порівняно з лідаром на iPhone 13 Pro [15; 19].

Метод зйомки тахеометром продемонстрував найвищу точність із середньоквадратичною похибкою (СКП) 0,0135 метра. Хоча цей метод вимагав більше часу для виконання зйомки, але висока точність робить його добре придатним для виконання тих робіт, в яких точність має першорядне значення [15; 19].

Лазерне сканування (Leica ScanStation C10) також продемонструвало високу точність із середньоквадратичною похибкою

0,0205 метра. Цей метод має перевагу за швидкістю, охопленням великої кількості точкових даних і створенням детальних 3D-моделей історико-архітектурних об'єктів. Однак варто зазначити, що Leica ScanStation C10 має вищу вартість, що може обмежити її доступність для виконання невеликих проєктів.

Другий етап дослідження був спрямований на визначення економічної ефективності різних методів вимірювання параметрів будівель. Цей етап мав на меті визначити економічні переваги та недоліки, пов'язані з використанням різних методів вимірювання лінійних розмірів будівель (табл. 3) [9]. Ці результати є дуже важливими як з позицій визначення параметрів точності геодезичних робіт так і економічної доцільності застосування того чи іншого методу чи інструменту.

Таблиця 2

Порівняння точності використаних методів вимірювання лінійних показників

Назви ліній між точками контрольної стіни	Рулетка (контрольні виміри), м	Лазерне сканування (Leica ScanStation C10), м	dL, м	Лідар (iPhone 13 Pro), м	dL, м	Тахеометр (GEOMAX ZOOM 10 (2")), м	dL, м
1-2	10,4300	10,4427	-0,0127	10,3967	0,0333	10,4399	- 0,0099
4-5	16,4700	16,4593	0,0107	16,5503	-0,0803	16,4840	- 0,0140
7-8	12,7700	12,8014	-0,0314	13,0502	-0,2802	12,7860	- 0,0160
		Всього	-0,0334	Всього	-0,3272	Всього	- 0,0399
		Середній	-0,0111	Середній	-0,1091	Середній	- 0,0133
		СКП	0,0205	СКП	0,1694	СКП	0,0135

Таблиця 3

Економічна оцінка вартості геодезичних вишукувань з використанням різних методів дослідження

Індикатори		Лазерне сканування (Leica ScanStation C10)	Тахеометр (GEOMAX ZOOM 10 (2"))	Лідар (iPhone 13 Pro)
СКП (середньоквадратична похибка), м		0,0205	0,0135	0,1694
Термін виконання, год.	польові вимірювання, год.	3	48	1
	камеральна обробка, год.	24	24	72
	Всього, год.	27	72	73
Чисельність працівників, осіб		1	1	1
Середня зарплата по Україні, €/год.		1.26	1.26	1.26
Орендна плата за необхідне геодезичне обладнання, €/год.		4.05	1.01	0,11
Плата за використання спеціального програмного забезпечення, €/год.		0,24	0,30	0,39
Загальна сума вимірювання, €		149,85	185,04	128,48

Джерело: власні розрахунки на основі даних: Державна служба статистики України, офіційний дистриб'ютор геодезичного обладнання System Solutions

Лідарне дослідження з використанням iPhone 13 Pro продемонструвало найменшу точність серед трьох методів із середньоквадратичною похибкою 0,1694 метра [15; 19]. Незважаючи на це, технологія LiDAR на смартфоні пропонує перевагу швидкого виконання, що робить її придатною для сценаріїв, які вимагають швидкого збору даних. Крім того, його точність залишається прийнятною для різних завдань, таких, наприклад, як оцінка кількості будівельних матеріалів.

Отримані результати засвідчили, що метод зйомки тахеометром GEOMAX ZOOM 10 (2") виявився найдорожчим серед методів вимірювання параметрів досліджуваної будівлі – вартість становила 185,04 євро за зйомку обстежуваного фасаду 6-го навчального корпусу НУБіП України, який має три поверхи. Однак він продемонстрував найвищу точність вимірювання – 0,0135 м. На відміну від цього, лазерне сканування фасаду 6-го навчального корпусу НУБіП

України з використанням Leica ScanStation C10 коштувало 149,85 євро (точність – 0,0205 м). Метод Lidar з використанням iPhone 13 Pro, хоча і був третім за ціною (128,48 євро), продемонстрував порівняно нижчу точність – 0,1694 м [15; 19].

Таким чином, рішення про те, який метод використовувати, має враховувати конкретні вимоги та обмеження проєкту з метою досягнення оптимального балансу між економічною ефективністю і точністю вимірювань.

Дослідження виявило тісний зв'язок між точністю вимірювання та вартістю, де вища точність, як правило, пов'язана зі збільшенням витрат. Коефіцієнт кореляції для цього співвідношення становив -0,81, що вказує на сильну від'ємну кореляцію між точністю методів вимірювання та відповідними затратами на їх виконання. Крім того, спостерігалася стійка кореляція між значеннями середньо-квадратичної похибки (СКП) і затратами, пов'язаними з програмним забезпеченням для опрацювання результатів вимірювань (коефіцієнт кореляції становив 0,90). Це вказує на суттєвий додатній зв'язок та означає, що вищі витрати на програмне забезпечення супроводжуються підвищеною точністю результатів вимірювань. Крім того, був виявлений помітний коефіцієнт кореляції (0,64) між середньо-квадратичною похибкою та вартістю оренди обладнання. Ця кореляція свідчить про додатній зв'язок, який означає, що затрати на оренду обладнання пов'язані з точністю методів вимірювання – вищі витрати на оренду корелюють із більшою точністю вимірювань.

Цінова доступність методу LiDAR позиціонує його як явну альтернативу, особливо у випадках, коли фінансові міркування є першочерговими. Ця технологія доводить перевагу в сценаріях, де баланс між точністю та економічною ефективністю є вирішальним, наприклад, геодезичні дослідження для збереження культурної спадщини. Економічна ефективність LiDAR робить його привабливим варіантом для проєктів з обмеженим бюджетом, без суттєвої шкоди для точності, необхідної для виконання оцінкових робіт та прийняття управлінських рішень.

Результати дослідження підтверджують, що вибір методу геодезичної зйомки залежить від конкретних вимог до точності,

швидкості та деталізації результатів. Тахеометр забезпечує найвищу точність, але вимагає більше часу. Лазерне сканування дозволяє отримати детальні 3D-моделі, але має високу вартість. Лідар на смартфоні є доступним і швидким інструментом, але його точність нижча. Результати дослідження сприяють прийняттю обґрунтованих рішень у сфері геодезичної зйомки, пропонуючи цінну інформацію для професіоналів у сфері збереження архітектури, міського планування та будівництва.

РОЗДІЛ 2. НАУКОВІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД З ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

2.1. Вихідні положення стосовно створення 3D моделей місцевості, будівель і споруд з допомогою геодезичних методів і засобів

Вже зараз багато програм самі підказують варіанти з чого потрібно будувати ту чи іншу частину будівлі. Такі компанії, як Autodesk і Bentley MicroStation, об'єднавши в собі максимальну сумісність і зручність моделювання процесів і комплекс актуальної документації, максимально наблизилися до реалізації цього глобального проєкту.

3D моделювання, крім привабливої візуалізації графічного об'єкта, дозволяє розмістити і зафіксувати об'єкт в будь-якій системі координат з масштабною адаптацією. Можливість отримання просторових координат будь-якого вузла за допомогою цифрової моделі проєкту на екрані монітора в поєднанні з застосуванням високо технологічного геодезичного обладнання багаторазово спрощує процес виносу проєктної моделі в натуру.

При будівництві споруди і прокладці комунікацій можна зіткнутися з видами робіт, при виконанні яких доцільна цифрова (об'ємна) модель ділянки, яка включає в себе крім рельєфу ще й будівлі та комунікації (як підземні, так і наземні споруди).

Тривимірні моделі використовуються при:

- 1) моніторинзі в часі – це актуально для пам'яток архітектури, монументальної скульптури та інженерних об'єктів, бо дозволяє відстежувати їх стан і своєчасно проводити реконструкцію та ремонтні роботи;
- 2) управлінні функціонуючими об'єктами;
- 3) відновленні технічної документації на різні об'єкти, що особливо актуально в період війни і повоєнної їх відбудови;
- 4) інвентаризації та модернізації трубопроводів і комунікацій;
- 5) вирішенні широкого спектру завдань з проєктування;
- 6) супроводі будівництва різних видів об'єктів;
- 7) благоустрої території;

8) розрахунку і контролі обсягів видобування ґрунтів з кар'єрів, відвалів і насипів, вимірі обсягів сипучих матеріалів (будівництво, розробка кар'єрів, інвентаризація);

9) для просторового аналізу в міському плануванні та управлінні розвитком територій, при розрахунках телекомунікаційних та інших мереж;

10) при комплексному архітектурному плануванні та проєктуванні будинків і споруд;

11) розрахунках обсягів робіт в землеустрої, маркшейдерії, геодезії.

При розробці тривимірної моделі фасаду будівлі Кабінету Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 було використано наступний базовий набір функціоналу сучасної геодезії для отримання очікуваної 3D моделі:

- безпілотний літаючий апарат (скорочено БПЛА або дрон);
- програмний продукт від Blender Foundation під назвою Blender для опрацювання матеріалів, отриманих з БПЛА та безпосереднього створення тривимірної моделі фасаду будівлі.

Безпілотний літаючий апарат (скорочено БПЛА, дрон) – загалом це літаючий апарат, який виконує політ та посадку без фізичної присутності пілота на його борту.

Для врегулювання використання безпілотних літаючих апаратів використовують такий показник, як «оцінка ризиків, що від них походять». Виділяють 3 категорії ризиків:

- 1) низький ризик. В цьому випадку авторизація безпілота не потрібна;
- 2) середній ризик. Він вимагає мати необхідний дозвіл для використання безпілота, є певні обмеження у використанні БПЛА під час воєнного стану;
- 3) високий ризик. В цій ситуації безпілотник має бути сертифікованим, а пілот (оператор) обов'язково повинен мати відповідну ліцензію.

Аерофотознімання будівлі Кабінету Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 було виконано безпілотником літакового типу DJI Phantom 4 pro з наступними його параметрами:

- 1) вага 1368 грам;
- 2) максимальний час польоту 30 хв;
- 3) діапазон робочих температур 0-40° С.

Сьогодні є багато програмних продуктів, які пропонують функціонал для опрацювання інформації з БПЛА. Наша 3D модель створена за допомогою програмного продукту Blender.

Blender — пакет для створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає засоби моделювання, анімації, вимальовування, післяопрацювання відео, а також створення відеоігор.

Особливостями пакету є малий розмір, висока швидкість вимальовування, наявність версій для багатьох операційних систем — FreeBSD, GNU/Linux, Mac OS X, SGI Irix 6.5, Sun Solaris 2.8 (sparc), Microsoft Windows, SkyOS, MorphOS та Pocket PC. Пакет має такі функції, як динаміка твердих тіл, рідин та м'яких тіл, систему гарячих клавіш, велику кількість легко доступних розширень, написаних мовою Python.

Характерними особливостями пакету Blender є його невеликий розмір та підтримка багатьох популярних операційних систем.

Функції пакету:

- підтримка різноманітних геометричних примітивів, включаючи полігональні моделі, систему швидкого моделювання в режимі subdivision surface, криві Безьє, NURBS surfaces, metaballs, відсікання полігонів та векторні шрифти;
- універсальні вбудовані механізми вимальовування та інтеграція з YafRay;
- інструменти анімації, серед яких inverse kinematics, арматурна (скелетна) та сіткова деформація, ключові кадри, нелінійна анімація, timeline, vertex weighting, constraints, динаміка м'яких тіл, включаючи визначення колізій форми об'єктів при взаємодії, динаміка рідин, Bullet динаміка твердих тіл, система волосся на основі частинок та система частинок при визначенні колізій об'єктів;
- python використовується як засіб створення інструментів і прототипів, системи логіки в іграх, як засіб імпорту/експорту файлів (наприклад COLLADA), автоматизації завдань;

- Основа системи нелінійного редагування відео та роботи з музикою;

- Game Blender – підпроект Blender, який надає інтерактивні функції: визначення колізій, рушій динаміки та програмована логіка. Також він дозволяє створювати окремі real-time додатки, починаючи від архітектурної візуалізації до відеоігор.

Проміжними результатами опрацювання даних у програмі Blender є цифрова модель будівлі.

Охарактеризуємо також історичні передумови розвитку технологій тривимірного моделювання.

Використання 3D моделювання під час реставрації споруд є необхідною мірою, використання якої сприяє забезпеченню успішного виконання робіт. На 3D моделі ми можемо побачити ергономіку об'єкту, його сильні та слабкі сторони.

Стосовно архітектурного моделювання, то існують такі його напрямки:

- 1) створення нової архітектурної моделі;
- 2) детальне відтворення на 3D моделі існуючої будівлі;
- 3) висотна графічна експертиза будівлі в існуючому містобудівному середовищі.

При виконанні нашого завдання використовувалися перший та другий спосіб. Ознайомимося з цими напрямками моделювання [34].

Створення нової архітектурної моделі. Перш ніж братися за інструмент, потрібно виконати попередні роботи для визначення загального задуму, характеру, обсягу, планового рішення та архітектурного вигляду будівлі. Все це буде покладено в основу проєкту. Концептуальне моделювання не вимагає детального опрацювання елементів. Це дозволяє економити час і створювати безліч ескізних варіантів. В ході проєктування ці ескізи уточнюються і розробляються більш детально.

На першому етапі відшукується об'ємно-просторове рішення, уточнюються габарити і об'єм будинку, конфігурація даху, архітектоніка фасадів з показом прорізів. На цьому етапі не потрібно детальне опрацювання елементів фасаду, малюнка віконних і дверних заповнень та т.д., адже майже напевно вона приведе до неефективних затрат часу і

сил. Створену на першому етапі модель будівлі або кілька її варіантів необхідно зберегти цілком також у вигляді окремих основних її частин (дах, фасади) для подальшого використання на наступному етапі.

На другому етапі модель доповнюється архітектурними деталями (карнизи, пілястри, фризи, елементи ордера і т. п.), опрацюванням фасадів без дрібного прорисовування рисунком віконних і дверних заповнень. Після остаточного доопрацювання другого етапу можна зайнятися кропіткою роботою по моделюванню окремих деталей, накладанню зібраного матеріалу, встановленню освітлення та доведення моделі до потрібного рівня візуалізації.

Модель з частковою деталізацією може включати не деталізовані віконні та дверні прорізи, великі елементи декору і т. д. Її можна успішно використовувати для створення відеокліпу, щоб дати уявлення про об'ємно-просторове рішення або зробити серію нерухомих ракурсних зображень. Остаточний варіант моделі, безумовно, вимагає детального опрацювання елементів фасаду. Добре пропрацьована модель – це реальний прообраз 3D моделі майбутньої будівлі.

Детальне відтворення рис існуючої будівлі. Завдання об'ємного відтворення будівлі відрізняється від створення архітектурної моделі і вирішується, в основному, при новій забудові в існуючому міському середовищі або при побудові моделі будівлі, що має історико-архітектурну цінність. Для детального відтворення фасадів робиться детальна фотофіксація будівлі, яка після опрацюванні в растровому графічному пакеті (наприклад, в Blender) використовується в якості текстур. При такому методі можна досягти високого рівня достовірності моделі [74].

Фотофіксація фасадів, на перший погляд, здається операцією досить простою, яка не вимагає особливої майстерності. Помилки і прорахунки в виконаній роботі виявлятимуться у процесі опрацювання і монтажу текстур в графічному редакторі. Треба пам'ятати, що ви робите не просто красиві картинки з вдалого ракурсу, а створюєте робочий матеріал для майбутніх текстур. Безумовно, багато похибок можна виправити у процесі опрацювання фотографій у графічному редакторі, але, по-перше, на це буде витрачатися час, по-друге, може постраждати якість текстур.

Щоб уникнути зайвої роботи, не варто, наприклад, робити зйомку при сонячній погоді. Тіні, які лягають на фасад, будуть псувати текстуру. Бажано вибрати час, коли найменше створюється "фотосміття" у вигляді прохожих людей, машин і т. д. Варто також, по можливості, уникати при фотофіксації спотворень площини фасаду перспективою [3].

Для отримання кінцевої моделі будівлі існує багато геодезичних прийомів як класичної, так і сучасної геодезії. Але швидкий та якісний шлях – це застосування сучасних методів. Численні методи вимірювання в сучасній геодезії можна розділити на дві великі категорії: 1) методи, які застосовуються на місці проведення робіт з використанням приймачів ГНСС, тахеометрів або нівелірів; 2) методи дистанційного зондування з використанням лазерних сканерів (НЛС) або аерофотозйомки (БПЛА). НЛС та аерофотозйомка з БПЛА широко застосовуються для багатьох проєктів. Точність, щільність точок, час зйомки, час опрацювання та інші витрати є важливими критеріями для оцінювання продуктивності цієї стадії виконання завдання [25].

В нашій роботі був використаний метод аерофотозйомки з допомогою БПЛА. Аналіз та порівняння НЛС та аерофотознімання з БПЛА яскраво проілюстровано в досліді наших західних колег. Ними була обрана певна ділянка земної поверхні, яку засканували обома способами. В якості дослідної ділянки був обраний гравійний кар'єр площею 4 га в районі Олтенії в північно-західній частині Швейцарії (рис. 27). У таких зонах щільні хмари точок дозволяють користувачам розраховувати значення нахилів і об'ємів, визначати знижені і підняті елементи ландшафту та проводити ізолінії. Глибина кар'єру близько 40 м виявилася проблемою для зйомки з БПЛА через оклюдовані області, що призводило до інтерполяції і зниження точності. Для прив'язки станцій НЛС та оцінювання точності польотів БПЛА було встановлено дев'ять наземних опорних точок, координати яких визначалися з використанням приймача GNSS Trimble R10 [38].



Рисунок 27. *Ділянка проекту (*Фото взяте з веб ресурсу: <https://3dmaster/uroki/hardware-for-3d-graphics-designer>)

Для проведення НЛС використовувався лазерний сканер Trimble SX10. Зйомка на базі БПЛА проводилася з використанням senseFly eBee Plus RTK / РРК. Результати дослідження розглянемо у графічно відображеному вигляді (рис. 28) та у підсумковій порівняльній таблиці (табл. 4).



Рисунок 28. *Цифрові моделі місцевості, отримані за допомогою НЛС (зліва) і виключно при зйомці з БПЛА (висота польоту 100 м);(*Фото запозичене з веб ресурсу: <https://3dmaster/uroki/hardware-for-3d-graphics-designer>)

Таблиця 4

Зіставлення критеріїв ефективності, включаючи час, необхідний для отримання даних на місці і для опрацювання їх в офісі (*Складено за інформацією веб ресурсу: <https://3dmaster/uroki/hardware-for-3d-graphics-designer>)

Критерії	НЛС	БПЛА [100 м]
Точки / м ²	741	37
Час, хв	225	20
Витрати, євро	70,000	26,000

Можна зробити висновок, що обидва методи мають свої плюси та мінуси, але зважаючи на поставлені задачі, а саме технічне завдання, отримане перед виконанням робіт, нами був обраний саме метод аерофотознімання з БПЛА через свою достатню якість і забезпечення точності проведення знімання, а також оперативний проміжок часу на виконання та відносно невелику вартість робіт в цьому випадку.

2.2. Характеристика методів дослідження

Під час виконання науково-дослідної роботи були використані наступні методи дослідження:

- порівняння як метод дослідження. Його сутність полягає в зіставленні отриманих результатів дослідження з наміченими цілями. У процесі дослідження отримані результати порівнюють не тільки з цілями, а й зі станом об'єкта до початку дослідження, що дає змогу простежити динаміку стану досліджуваного явища або об'єкта [59];

- узагальнення зібраної інформації. Цей метод за своєю сутністю виступає логічною операцією, в результаті якої відбувається перехід від одиничного до загального, від менш загального до більш загального судження, знання, оцінки;

- математичні і статистичні методи. Вони застосовують у геодезії для опрацювання одержаних методами спостережень, вимірювань й експериментів даних, а також для встановлення кількісних залежностей між досліджуваними феноменами.

Сутність математичних методів полягає в описі досліджуваних об'єктів та явищ за допомогою кількісних характеристик, використанні кібернетичних моделей для визначення оптимальних умов управління процесом. Застосування їх для відображення геодезичних явищ можливе за умови масовості, типовості, вимірюваності об'єктів і процесів;

- моделювання. Сутністю цього методу є створення й дослідження різноманітних моделей (геодезичних, картографічних, графічних) – сутнісно представленої і матеріально реалізованої системи, яка адекватно відображає предмет дослідження. В нашому випадку моделювання спрямовувалося на створення 3D моделей цінних історико-архітектурних споруд.

2.3. Нормативно-правове забезпечення робіт зі створення 3-D моделей цінних будівель і споруд в Україні із застосуванням геодезичних технологій.

В законодавстві України поки що немає чітко закріпленої регламентації з проведення робіт, спрямованих на створення тривимірних моделей будівель.

Разом з тим, Міністерство культури та інформаційної політики подало до МОН України пропозицію щодо включення до списку пріоритетних напрямків досліджень у 2024 р. таку тему: «Застосування геоінформаційних технологій у збереженні нерухомих об'єктів культурної спадщини, традиційного характеру середовища та історичних ареалів населених місць». Нею передбачене «Розроблення методики застосування технічних засобів неінвазійного (без втручання в автентичну матеріальну структуру) дослідження стану збереження об'єктів культурної спадщини, пошкоджених внаслідок військових дій».

Враховуючи ці обставини, кафедрою геодезії та картографії у 2024 р. виконується тема базового фінансування БФ-39-2021 «Методика та алгоритми створення тривимірних моделей об'єктів культурної спадщини» з використанням сучасних технологій отримання та опрацювання геоданих.

При її виконанні також використовувалася інструкція з топографічного знімання масштабу 1:500. Базуючись на її вимогах, нами проводилися такі вишукування в м. Київ, на вул. М. Грушевського, 12/2.

Ця інструкція слугувала основною нормативно-правовою базою для виконання досліджень і створення 3D моделі цінного історико-архітектурного об'єкта. Щодо точності самої тривимірної моделі, то вона задавалася згідно з вимогами, сформованими у технічному завданні на виконання цієї роботи.

Також виконувалися подібні дослідження на прикладах навчальних корпусів НУБіП України № 1, 2, 6, більшість з яких мають статус пам'яток архітектури загальнодержавного значення. Необхідність створення їхніх 3D моделей зумовлена загрозами руйнування цих пам'яток шахедно-ракетними обстрілами території України, в т.ч. й міста Кисва, російськими військами.

РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ ЦІННОГО ІСТОРИКО-АРХІТЕКТУРНОГО ОБ'ЄКТА – БУДІВЛІ КАБІНЕТУ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ

3.1. Параметри об'єкту дослідження

Будинок Уряду України (рис. 29) – 10-поверховий історичний хмарочос і найбільший в Києві адміністративний будинок, розташований по вул. Грушевського, 12/2, пам'ятка архітектури. Зведений у 1936-1938 роках, став першим об'єктом нового адміністративного комплексу на Липках. З 1990 року тут розміщується Кабінет Міністрів УРСР, а з 1991р. – Кабінет Міністрів України. Після підриву Хмарочоса Гінзбурга, з 1941 по 1954 рік споруда була найвищим хмарочосом Києва. З 2015 у Будинку Уряду діє Музей історії урядів України. Експозиція Музею розповідає про діяльність урядів, що діяли на території сучасної України від 1917 року до наших днів.

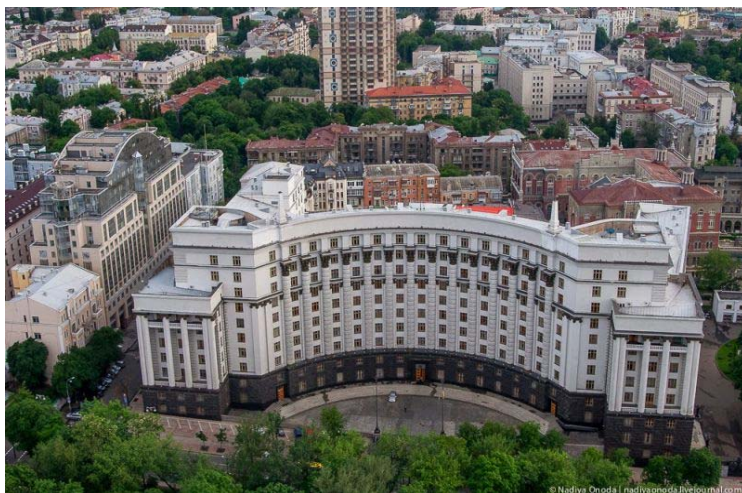


Рисунок 29. *Будинок Уряду України (*Фото взяте з веб ресурсу: <https://nadiyaonoda.livejournal.com/>)

Історія будівлі. Будинок Ради Народних Комісарів УРСР став першим об'єктом нового республіканського адміністративного центру на Липках, формування якого було пов'язане з перенесенням у 1934 році

столиці України з Харкова до Києва. Проект будівлі розроблений архітекторами І. О. Фоміним і П. В. Абросімовим у 1935 році.

Будинок спочатку призначався для Народного комісаріату внутрішніх справ (НКВС), а Рада Народних Комісарів (Раднарком) мала розміщуватись у будівлі, яку нині займає Міністерство закордонних справ України на Михайлівській площі. Проте, коли плани будівництва урядового центру змінилися і відмовилися від його розміщення у Верхньому місті, під розміщення Раднаркому передали щойно завершену будівлю НКВС, будинок для Верховної Ради збудували навпроти, а під будинок ЦК КПУ переобладнали будівлі штабу Київського військового округу.

Після закінчення будівництва тут знаходився найвищий виконавчий і розпорядчий орган державної влади УРСР – Рада Народних Комісарів, з 25 березня 1946 — Рада Міністрів УРСР. У 1990 році будівлю обійняв Кабінет Міністрів УРСР, а з 1991 – Кабінет Міністрів України і вона отримала нову назву — Будинок Уряду України [35].

Будинок Уряду, Будинок Національного банку і Клуб Кабміну утворюють спільний двір. Крім того, обізнані люди кажуть, що цей комплекс був пов'язаний підземними ходами з будинком Верховної Ради, з будинком, в якому розміщувався ЦК КПУ.

Архітектура. Головний напівкруглий фасад будівлі розгорнутий у бік вул. Грушевського і Маріїнського парку. Одне з двох крил простягається вздовж вул. Садової, друге — у глибину кварталу. Центральний корпус налічує десять поверхів, бічні крила – семи-, восьмиповерхові.

Будівля є яскравим прикладом використання принципів класичної архітектури. При оформленні головного фасаду застосовано модернізовані ордерні композиції — іонічні поодинокі і спарені колони та пілястри, а також високі напівколони, поділені на численні кам'яні брили й увінчані модернізованими корінфськими капітелями. Бази колон і капітелії (висота — 2,5 м) відлиті з чавуну. Нижні поверхи будинку облицьовані великими необробленими блоками тульчинського лабрадориту, цоколь, пояски і портали – полірованим головинським гранітом. У 1997 році верхні поверхи пофарбовано у світлий колір.

Внутрішня система планування коридорна, з двобічним розміщенням робочих приміщень. Інтер'єри будинку майже позбавлені декоративно-художнього оздоблення.

Литі металеві флагштоки й ажурну браму виготовлено у 1947 році [36].

3.2 Алгоритм і технологія створення 3-D моделі фасаду будівлі КМУ

Для реалізації проєкту створення тривимірної моделі фасаду будівлі Кабінету Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 дослідницькі роботи виконувалися за наступним алгоритмом:

- 1) створення топографічного плану в масштабі 1:500;
- 2) виконання аерофотознімання досліджуваного об'єкту з БПЛА;
- 3) опрацювання матеріалів знімання, отриманих з БПЛА та побудова на їх основі 3D моделі фасаду будівлі у програмному середовищі «Blender»;
- 4) опрацювання створеної 3D моделі в наступних програмних засобах: Autodesk 3ds Max, Meshmixer, Autodesk AutoCAD;
- 5) характеристика послідовності здійснення робіт щодо подальшого функціонального використання створеної 3D моделі фасаду будівлі.

Зауважимо, що готовий та погоджений з усіма службами комунікацій топографічний план було здано в Департамент містобудування та архітектури міста Києва [40].

3.3 Топографо-геодезичне забезпечення створення 3-D моделі фасаду будівлі КМУ

Для створення тривимірної моделі фасаду будівлі за допомогою дронів і безпілотників необхідна така вихідна інформація: детальний план місцевості, топокарти, дані, отримані в результаті зйомки з безпілотника, космічні знімки надвисокої роздільної здатності. На початку вирішення цієї задачі було виконане топографічне знімання місцевості у масштабі 1:500 (рис. 30).



Рисунок 30. *Фрагмент топографічного плану м. Києва по вул. Михайла Грушевського, 12/2 (М1:500) (*Скріншот зроблений з власних досліджень)

Топографічне знімання місцевості – це один з видів геодезичних вишукувань, результатом яких є складання плану місцевості, топографічної карти. Під час наземного топографічного знімання було проведене вимірювання перевищень земної поверхні, відстаней, поворотних кутів тощо.

Топографічне знімання місцевості може виконуватися в різних масштабах, однак найбільш поширеним є зйомка у масштабі 1:500. Такий масштаб часто використовують при проектуванні, реконструкції, розробленні генеральних планів населених пунктів та в інших випадках. В масштабі 1:500 є можливим позначення інженерних комунікацій та погодження їх з відповідними експлуатуючими організаціями [47; 70].

Топографічне знімання досліджуваного об'єкта виконувалося в декілька етапів (стадій):

- стадія польових робіт;
- стадія камеральних робіт;
- стадія складання технічного звіту.

На стадії польових робіт ми здійснили дослідження місцевості, її знімання за допомогою електронного тахеометра, визначення

розміщення та обстеження підземних комунікацій. Результати знімання прив'язувалися до пунктів Державної геодезичної мережі України.

В ході камеральних робіт ми використовували отримані геодезистами результати для розробки плану з нанесенням на нього усіх визначених в ході топографічної зйомки об'єктів, розташованих на земельній ділянці.

Складання технічного звіту є завершальною стадією топографо-геодезичних робіт. Тут ми зазначимо лише те, що такий звіт потрібен органам містобудування та архітектури. Після погодження органами містобудування та архітектури результатів топографічної зйомки, остання може використовуватись для розробки проєктів будівництва чи реконструкції.

Також варто зазначити, що всі геодезичні роботи виконані згідно з інструкцією з топографічного знімання у М 1:500 [64; 65; 68].

3.3.1. Геодезичні роботи на місцевості

Топографо-геодезичні вишукування були виконані по об'єкту «Кабінет Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 у Печерському районі м. Києва»

Топографо-геодезична зйомка в масштабі 1:500 виконана згідно з Технічним завданням.

Загальна площа топографо-геодезичних вишукувань складала 4,2 га.

Робота виконана в місцевій системі координат, Балтійській системі висот та у відповідності до вимог ДБН А.2.1-1-2008 р. «Інженерні вишукування для будівництва», затверджених Мінрегіонбудом, з урахуванням вимог «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 «ГКНТА-2.04-02-98», затвердженої Наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру за № 56 від 09.04.1998 р. зі змінами і доповненням, внесеними Головним управлінням геодезії, картографії та кадастру України 27 липня 1999 р. відповідно до Наказу № 90 (zareestrovano Міністерством юстиції України 28.09.1999р. за №53/3946), а також з використанням «Умовних знаків для топографічних планів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500»,

затверджених Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України за №295 від 03.08.2001р.

В межах території, на якій виконувалася топографічна зйомка, виявлено пункти полігонометрії № 16129, 4474, 1025, 7095.

Загальний опис мережі. Знімальна геодезична мережа для топографо-геодезичного знімання у масштабі 1:500 створена шляхом визначення просторових координат за допомогою технології GPS (Global Position System) та з використанням спеціального GPS обладнання – GNSS-приймача Leica CS-08 (серійний № 1732246) з контролером CS10 3.5G та GSM модемом (виробництво «Leica Geosystems», Швейцарія).

Визначення даних координат відбувалося через застосування супутникових радіонавігаційних систем GPS та ГЛОНАСС. Кожна з цих систем при повному розгортанні складається з 24 супутників, що обертаються на орбітах з висотою близько 20 тис. км. Супутники безперервно передають сигнали, що містять інформацію про їх розташування і точний час, а також далекомірні коди, що дозволяють виміряти відстані.

В якості координатної основи при виконанні цих робіт використані дані базових станцій ПАТ «Систем Солюшнс». Мережа станцій включає базові станції, оснащені GNSS-приймачами, які дають змогу отримувати та опрацьовувати сигнали Глобальних навігаційних супутникових систем (надалі ГНСС).

GNSS-приймачі, розміщені на базових станціях мережі, сертифіковані в установленому порядку і мають метрологічні атестати. Положення базових станцій визначені в системі координат УСК-2000 і мають жорсткі зв'язки з пунктами УПМ ГНСС.

Спостереження та визначення координат проводилось в режимі RTK (Real Time Kinematic) з використанням перманентних базових станцій мережі System.NET. Цей метод дозволяє отримати планові та висотні координати місцевості з точністю, яка відповідає «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 «ГКНТА-2.04-02-98».

Перелік станцій можна відстежити за наступною інтернет-адресою: <http://www.systemnet.com.ua/ua/coverage-ukr/stantsiji-merezhi>

RTK-мережа System.NET (ПАТ «Систем Солюшнс») забезпечує технічну можливість цілодобового доступу до мережі референтних GNSS-станцій з метою отримання корегуючої поправки для визначення місцеположення в реальному часі на території України (Договір із постачальником послуг № 212 від 24.11.2014р.).

Доступ до серверу мережі здійснювався через мобільний Інтернет-з'язок по стандарту GSM/GPSRS. Оператор послуг мобільного зв'язку - МТС.

Інтернет-адреса серверу мережі: 193.107.25.166 порт: 2113.

Поправки від мережі передаються у стандартизованому форматі RTCM v3.x (формат повідомлення, версія).

Для формування коригувальних поправок застосована технологія мережевого RTK Master Auxiliary Corrections (MAX), що має відкритий алгоритм і прийнята комітетом RTCM 104 як стандарт для GNSS-мереж. Технологія передбачає формування поправок в режимі реального часу одночасно від кількох базових станцій, одна з яких – головна (Master), а інші - допоміжні (Auxiliary). Головна та допоміжні станції визначаються автоматично, залежно від положення приймача. Розрахунок RTK-поправок виконується програмним комплексом Leica GNSS Spider v4.3, встановленим на сервері мережі [54].

Максимальна довжина базової лінії (відстань до базової станції) – 14 км. Кількість вихідних пунктів знімальної геодезичної мережі становила 4 шт. (Табл. 5).

Ці точки закріплені на місцевості металевими штирями та помічені фарбою.

Таблиця 5

*Опис координат вихідних пунктів (м)

*Складено за даними власних досліджень

№ п/п	Назва пункту	X	Y	H	Примітки
1.	GPS1	52357.442	24676.877	141.42	-
2.	GPS2	52811.2884	24634.9345	156.57	-
3.	GPS3	53123.36	24637.771	169.81	-
4.	GPS4	53433.9393	24688.1011	171.61	-

Горизонтально-вертикальна зйомка виконувалась електронним тахеометром Sokkia SET 630 RK (рис. 31), заводський номер №151735.

Sokkia SET 630 RK – це електронний тахеометр серії 30RK, створений для вирішення широкого кола завдань в будівництві, землевпорядкуванні, топографії і при проведенні топографо-геодезичних досліджень. Наявність потужного безвідбивачевого далекоміра робить їх незамінними помічниками на фасадних зйомках і вимірюваннях, пов'язаних з дослідженнями важкодоступних об'єктів.

Планове положення підземних комунікацій визначалось шляхом координування кабельних сторожків.

Висотне положення підземних комунікацій визначалось шляхом технічного нівелювання по обичайках люків.

У процесі обстеження встановлювалися призначення інженерних мереж з подальшим визначенням глибин залягання, діаметрів трубопроводів та інших параметрів цих мереж.

Виконання геодезичних робіт на досліджуваному об'єкті з використанням охарактеризованих геодезичних інструментів та дотриманням вимог методики дозволило створити якісну 3D модель будинку Кабінету Міністрів України по вул. Михайла Грушевського12/2.



Рисунок 31. Електронний тахеометр Sokkia SET 630 RK (Фото з песуippy: <https://geo-service.com.ua/shop/taheometry/taheometr-sokkia-set-630rk/>)

3.3.2. Опрацювання та аналіз отриманих геодезичних даних

При виконанні камерального опрацювання результатів геодезичних вимірювань і створенні інженерно-топографічного плану місцевості, використовувались програмні засоби, які підвищують точність виконання польових робіт та прискорюють виконання камерального опрацювання, а саме такі програми, як AutoCAD, Credo DAT, GeoniCS та ін. [50; 51; 52; 54; 55].

Розглянемо детальніше вище перераховане програмне забезпечення.

Система CREDO є одним з найстаріших продуктів для опрацювання матеріалів геодезичних вишукувань та автоматизованого проєктування. Ядром системи є програмне забезпечення CREDO DAT, призначене для опрацювання матеріалів польових вишукувань та створення цифрових планів і карт (рис. 32).

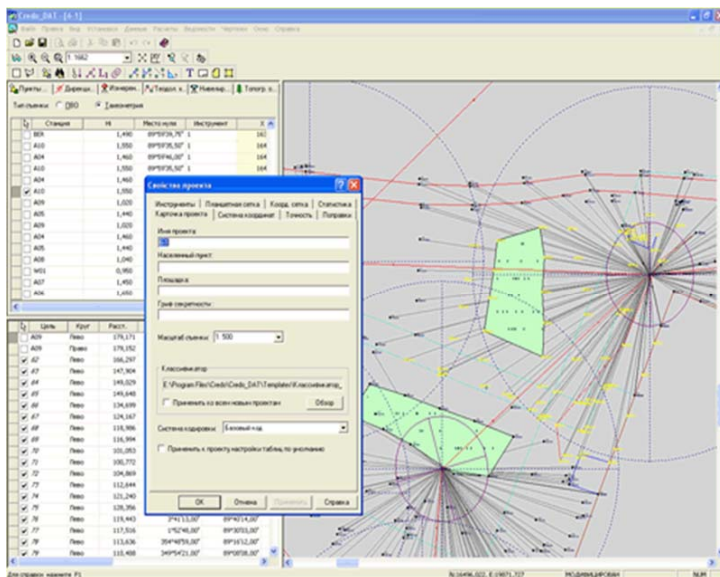


Рисунок 32. Опрацювання геодезичних знімків в CREDO_DAT (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

Вихідними даними для програми CREDO DAT є растрові файли картографічних матеріалів, файли даних електронних тахеометрів (виміри й/або координати), GNSS-систем (координати й/або вектори), рукописні журнали вимірів кутів, ліній і перевищень, координати й висоти вихідних точок, робочі схеми мереж і розрахунків.

Результатом роботи програми є: креслення й планшети планів масштабу 1:500 - 1:5000 із зарамковим оформленням, векторні плани у форматах CREDO (CDX), DXF, MIF/MID (MapInfo), Shape-file (ArcView), текстові файли у форматах, що настраюються користувачем, каталоги й відомості вимірів, координат й оцінок.

AutoCAD – програмний засіб, який полегшує рутинну роботу і прискорює процес опрацювання геодезичних вимірювань, від підготовки вихідних даних для роботи в полі, польових геодезичних вимірювань, до створення готового результату в AutoCAD у вигляді топографічного плану, виконавчої схеми або креслення, розрахунку обсягів робіт, контролю геометричних параметрів [54, 55].

Основними інструментами, які входять до головного функціоналу пересічного інженера-геодезиста, виступають:

- інструменти роботи з примітивами креслення (полілінія, 3d-полілінія, відтинки ліній, точки, блоки і т. п.);
- інструменти автоматизації операцій імпорту-експорту об'єктів креслення в зовнішні формати (текстові файли, таблиці, файли геодезичних приладів);
- інструменти опрацювання результатів геодезичних вимірювань (розрахунки площ, обсягів, відхилень геометричних параметрів від проєктних, побудови профілів і перетинів);
- інструменти оформлення результатів геодезичних вимірювань (картограма обсягів земляних робіт, відхилення розмірів, підготовки листів креслень, вставляння стандартних форматів аркушів і заповнення штампів тощо).

Зауважимо, що тут показані лише деякі приклади використання інструментів AutoCAD і завдань, які вирішуються за його допомогою. Насправді, їх є набагато більше і вони різноманітніші.

Результатом виконаних топографо-геодезичних вишукувань є виготовлений топоплан – оригінал кальки М1:500.

3.4. Побудова цифрової моделі будівлі у програмному середовищі «Blender»

Для початку роботи у програмному середовищі «Blender» необхідні наступні вихідні дані:

- фотографії з повітря, як правило, представлені в форматі JPG;
- дані про центри фотографування.

Варіанти представлення даних можуть бути різними, від файлу в стандарті CSV або TXT, в якому перераховані ім'я файлу, широта, довгота, висота, до даних про кути зйомки, отримані від польотного контролера дрона [48].

Потрібно відразу зробити ремарку про використовувану для проєкту систему координат. У більшості випадків використовується або глобальна система координат WGS84, або місцева система координат МСК для міста Київ. Перед початком опрацювання даних рекомендується привести координати центрів фотографування і

координати розпізнавальних знаків в систему координат, яка використовуватиметься для подальшого опрацювання. У нашому проєкті в якості системи координат слугує місцева система координат, зона 3. Варто зазначити, що на момент зйомки в Києві діяла місцева система координат МСК-80, яка прийшла на заміну попередній [41].

В алгоритмі процесу опрацювання даних у Blender виділяємо такі кроки:

- завантаження фотографій в Blender;
- огляд завантажених зображень і видалення непотрібних кадрів;
- вирівнювання фотографій;
- побудова щільної хмари точок;
- побудова тривимірної полігональної моделі;
- текстурування об'єкта;
- побудова цифрової моделі фасаду будівлі;
- експорт результатів.

Зупинимося детальніше на характеристиці кожного кроку цього алгоритму. Крок перший – завантаження фотографій у Blender:

- запустити Blender, в розділі Проєкт додайте фотографії до блоку (рис. 33);

- після додавання фотознімків у проєкт необхідно вказати координати (широту, довготу, висоту або XYZ в разі локальних координат).

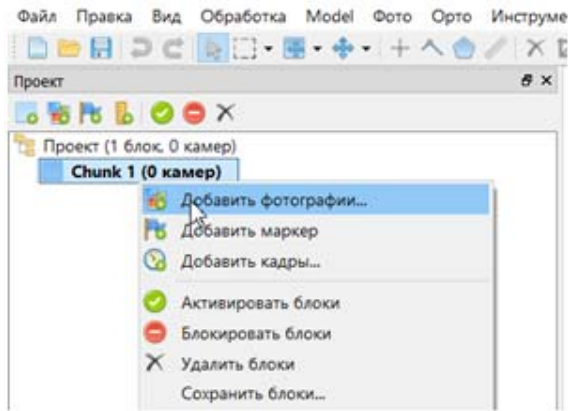


Рисунок 33. Додавання фотографій у проєкт Blender. (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

Також можна додати дані про кути положення камери в момент зйомки, якщо вони є.

Прив'язка координат до конкретного фотознімку відбувається при збігу імені файлу з полем «Назва» у вікні Імпорту CSV. Процедура імпорту файлу з координатами і точністю розпізнавальних знаків виглядає точно так само, за винятком того, що ім'я розпізнавального знака повинно бути унікальним, не збігатися з іменем іншого розпізнавального знаку або файлу фотографії (рис. 34).

Другий крок. Огляд завантажених зображень і видалення непотрібних кадрів [58].

На даному етапі ви можете подивитися і виключити знімки, які мають низьку якість у зв'язку з недостатньою довжиною витримки (розмиті знімки). Для визначення кадрів з низькою якістю рекомендується провести процедуру «Оцінити якість зображень» і, використовуючи параметр якості, виключити розмиті і нечіткі знімки (високий параметр «Якість» відповідає високій чіткості зображень) (рис. 35).

Импорт CSV

Система координат: Local Coordinates (m)

Угли поворота: Курс, тангаж, крен

☐ Ignore labels

Threshold (m): 0.1

Разделитель: ☒ Табуляция

☐ Точка с запятой

☐ Запятая

☐ Пробел

☐ Другой:

☐ Объединить последовательные разделители

Столбцы:

Название: 1 Точность

X: 3 5

Y: 2 6

Z: 4 8

☐ Угли

☐ Точность

Курс: 5 5

Тангаж: 6 6

Крен: 7 8

☐ Отметка о включении: 10

Начать импорт со строки: 2

Элементы: Все

Название	Y	X	Z	X Точность	Y Точность	Z Точность
Name	X (m)	Y (m)	Alt(V)	Accuracy X (m)	Accuracy Y (m)	Accuracy H (m)
mark_1	2209237.541	527902.704	114.983	0.008	0.008	0.017
mark_2	2209171.662	527933.901	113.258	0.010	0.010	0.020
mark_3	2209081.702	528024.542	112.473	0.011	0.010	0.021
mark_4	2209019.514	528100.615	115.011	0.012	0.012	0.021
mark_5	2208967.490	528239.524	120.199	0.012	0.011	0.022
mark_6	2209048.495	528281.401	133.609	0.012	0.009	0.019
mark_7	2208888.930	528195.707	113.061	0.015	0.010	0.028
mark_8	2208809.338	528325.439	112.881	0.010	0.008	0.019
mark_9	2208858.862	528392.477	115.298	0.011	0.008	0.021
mark_10	2208951.622	528460.487	120.809	0.011	0.008	0.022

OK Отмена

Рисунок 34. Додавання розпізнавальних знаків з текстового файлу.
(*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

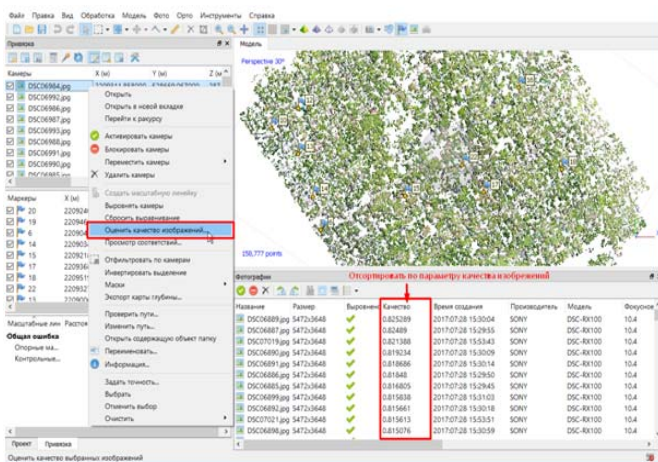


Рисунок 35. Оцінка якості зображень (*Скріншот з власних досліджень)

У розділі Прив'язка можна відсортувати зображення з урахуванням кута нахилу (при наявності цих даних). При зйомці з дронів найбільше відхилення відбувається при нахилі апарату, а значить і нерухомо закріпленої камери. Залежно від моделі об'єктива камери, рекомендується виключати знімки, зроблені з нахилом більше 20-30 градусів (як в позитивну, так і в від'ємну сторони) (рис. 36).

Привязка								
Камеры	X (м)	Y (м)	Z (м)	Точность (м)	Ошибка	Курс (°)	Тангаж (°)	Крен (°)
☒ DSC03283.jpg	38.562980	55.821082	294.320000	10.000000		20.010	-6.240	-53.500
☒ DSC04790.jpg	38.570946	55.817622	284.530000	10.000000		57.230	2.240	-51.950
☒ DSC03226.jpg	38.561312	55.821910	284.010000	10.000000		5.410	-1.320	-50.450
☒ DSC03500.jpg	38.567670	55.818993	298.680000	10.000000		17.920	-0.620	-50.350
☒ DSC04789.jpg	38.570353	55.817567	284.920000	10.000000		103.580	1.520	-49.130
☒ DSC03420.jpg	38.565628	55.819487	284.700000	10.000000		51.460	-3.320	-48.990
☒ DSC03349.jpg	38.564347	55.820031	279.640000	10.000000		26.820	-3.070	-48.970
☒ DSC03173.jpg	38.559471	55.822320	302.700000	10.000000		56.640	-2.830	-48.730
☒ DSC04791.jpg	38.571347	55.817848	284.030000	10.000000		10.090	2.270	-48.420

Рисунок 36. Сортуння камер залежно від кута нахилу в момент зйомки. (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

Визначити межі зйомки можна за допомогою накладання полігону з зовнішнього файлу .shp, kml і .dxf і потім виключити камери, що далеко виходять за межі кордонів. Цим ми скорочуємо обсяг обчислень для виконання завдання (рис. 37).

Третій крок. Вирівнювання знімків.

Виконується за допомогою пункту Меню - Опрацювання - Вирівняти фотографії. На цьому етапі проводиться пошук характерних спільних точок на фотографіях, за якими в подальшому буде розраховуватися карта глибин (рис. 38).

Параметри вирівнювання впливають на результати опрацювання і можуть бути змінені. Висока точність дозволяє отримати найбільш достовірне положення камери, низька точність зменшує час опрацювання.

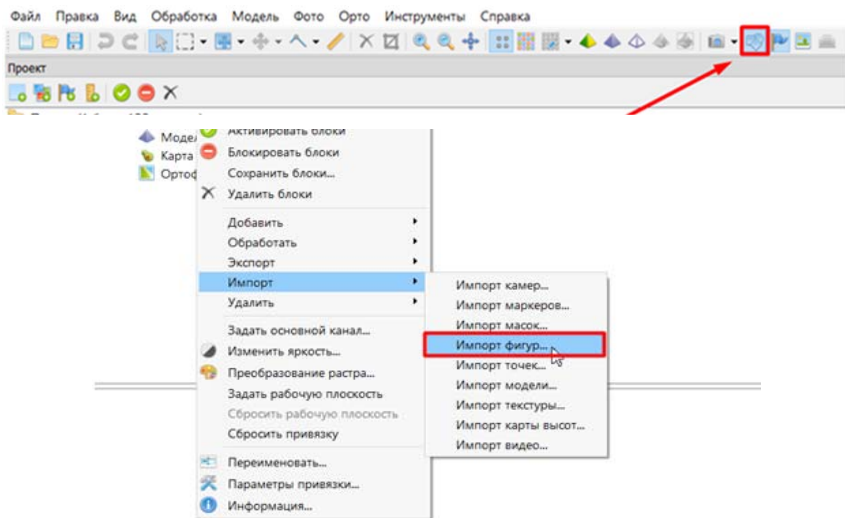


Рисунок 37. Імпорт кордонів (фігур) із зовнішнього файлу.
(*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

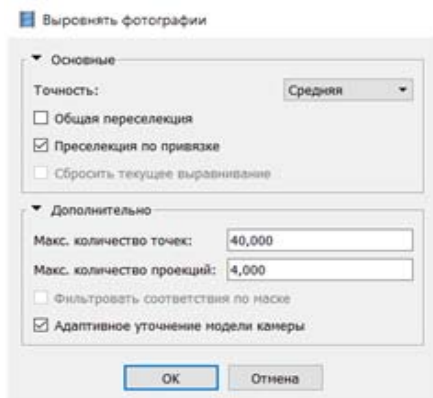


Рисунок 38. Вікно процедури «Вирівняти фотографії». (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

Для вирішення практичних завдань рекомендується використовувати середню точність; для завдань, які потребують високої точності вихідних даних (наприклад, для завдань сільського, лісового господарства), - високу; для задач, пов'язаних з мінімальними похибками (наприклад, для геодезичних задач, для побудови карт, топопланів малого масштабу) – середню. В нашому дослідженні ми обрали середню точність.

Преселекція пар. Пошук відповідностей (спільних точок) на зображеннях. Для проєкту з відомими даними про центрах фотографування оптимально використовувати преселекцію знімків по прив'язці. Це виключить надлишкові обчислення «порівняння всіх з усіма». Для даних зйомки з дронів рекомендується задати значення параметра. Рівень землі (середня висота поверхні землі на ділянці зйомки) в діалоговому вікні Параметри прив'язки на вкладці Прив'язка. Для підвищення ефективності процедури преселекції дані про рівень землі повинні супроводжуватися даними за параметрами курсу, тангажу і ролу в відповідних полях на вкладці «прив'язка».

Для вихідних даних досить встановити середню або високу точність, поставивши галочку на пункті «Преселекція пар», як на зображенні вище.

Крок четвертий. Додавання маркерів (розпізнавальних знаків) у проєкт.

Після вирівнювання необхідно провести розстановку розпізнавальних знаків на фотознімках. Для цього виберемо перший розпізнавальний знак і за допомогою правої кнопки миші відфільтруємо знімки, на які «потрапляє» даний розпізнавальний знак (рис. 39).

Потім, після фільтрації зображень, за координатами опознака вказуємо з максимальною точністю його центр на кожному знімку зі списку відфільтрованих по маркеру. Виконуємо процедуру прив'язки кожного з розставлених на ділянці місцевості розпізнавальних знаків. На даному етапі виявляються всі огріхи, пов'язані з розміщенням, видимістю, однозначним розумінням положення опізнавального знака. Визначаємо, чи неточно зазначене положення одного опізнавального знака впливає на точність всього проєкту. Треба пам'ятати про це під час польових робіт при установці розпізнавальних знаків.

Крок п'ятий. Оптимізація вирівнювання камер.

Після додавання маркерів необхідно провести оптимізацію положення камер за допомогою кнопки «Оптимізація камер» (рис. 40). На цьому кроці Blender розраховує параметри зовнішнього і внутрішнього орієнтування камер і в результаті хмара точок (зазначена на поточному кроці) прив'язується до точно розставлених на землі опізнавальних знаків. Процес займає деякий час.

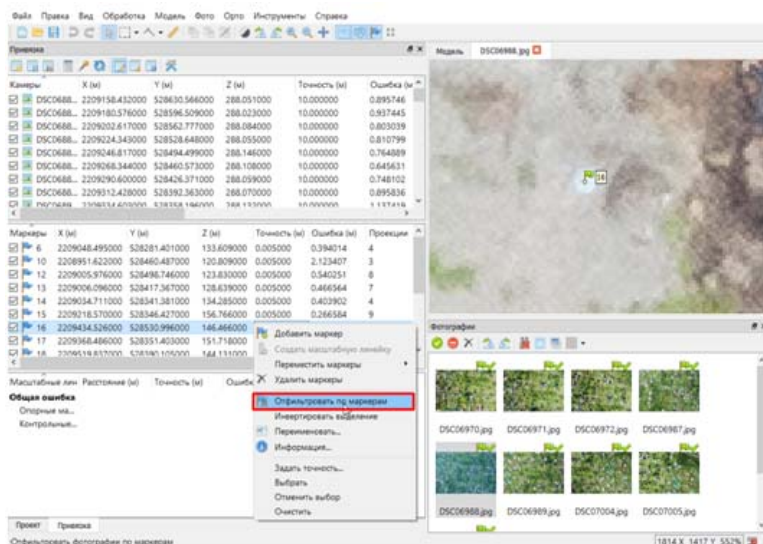


Рисунок 39. Процес вибірки знімків, що містили обраний розпізнавальний знак і розміщення на зображеннях його точного положення. (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

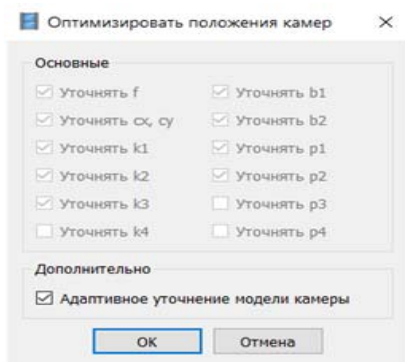
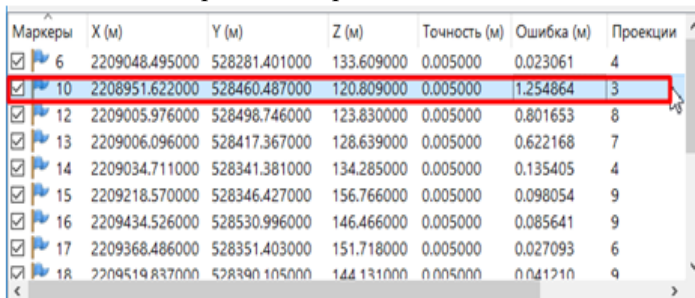


Рисунок 40. Оптимізація камер. (*Скріншот з власних досліджень)

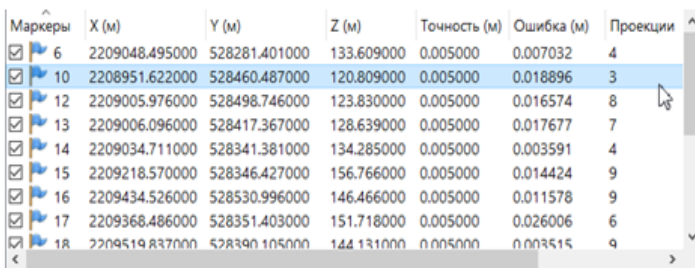
Адаптивне уточнення моделі камери дозволяє автоматично уточнювати параметри камери з урахуванням даних про їх надійність. Ця опція рекомендована для опрацювання даних аерофотознімання. Після проведення оптимізації положення камер звернемо увагу на помилки

положення розпізнавальних знаків (рис. 41). При правильному обчисленні координат розпізнавальних знаків і правильній їх розстановці на зображеннях, помилка, як правило, не перевищує 0.05 метрів (рис. 42). При великій помилці конкретного знака шукайте точне положення його на знімках, виключайте можливе неправильне визначення його координат під час польових робіт. Великий запас кількості розпізнавальних знаків, розставлених на місцевості, дозволяє виключати неминуче виникаючі «проблемні» розпізнавальні знаки.



Маркеры	X (м)	Y (м)	Z (м)	Точность (м)	Ошибка (м)	Проекция
6	2209048.495000	528281.401000	133.609000	0.005000	0.023061	4
10	2208951.622000	528460.487000	120.809000	0.005000	1.254864	3
12	2209005.976000	528498.746000	123.830000	0.005000	0.801653	8
13	2209006.096000	528417.367000	128.639000	0.005000	0.622168	7
14	2209034.711000	528341.381000	134.285000	0.005000	0.135405	4
15	2209218.570000	528346.427000	156.766000	0.005000	0.098054	9
16	2209434.526000	528530.996000	146.466000	0.005000	0.085641	9
17	2209368.486000	528351.403000	151.718000	0.005000	0.027093	6
18	2209519.837000	528390.105000	144.131000	0.005000	0.041210	9

Рисунок 41. Аномальна помилка положення розпізнавального знака (*Скріншот зроблений за даними власних досліджень)



Маркеры	X (м)	Y (м)	Z (м)	Точность (м)	Ошибка (м)	Проекция
6	2209048.495000	528281.401000	133.609000	0.005000	0.007032	4
10	2208951.622000	528460.487000	120.809000	0.005000	0.018896	3
12	2209005.976000	528498.746000	123.830000	0.005000	0.016574	8
13	2209006.096000	528417.367000	128.639000	0.005000	0.017677	7
14	2209034.711000	528341.381000	134.285000	0.005000	0.003591	4
15	2209218.570000	528346.427000	156.766000	0.005000	0.014424	9
16	2209434.526000	528530.996000	146.466000	0.005000	0.011578	9
17	2209368.486000	528351.403000	151.718000	0.005000	0.026006	6
18	2209519.837000	528390.105000	144.131000	0.005000	0.003515	9

Рисунок 42. Мінімальні значення помилок обчисленого положення розпізнавальних знаків після уточнення «проблемного» маркера.

Шостий крок. Побудова щільної хмари точок.

Після правильного розташування розрідженої хмари (із загальних точок знімків) проводиться процедура побудови щільної хмари точок. Для виконання вибираємо наступний пункт меню Опрацювання - Побудувати щільну хмару (рис. 43).

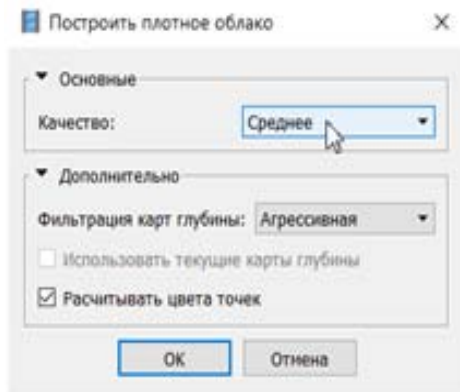


Рисунок 43. Вікно побудови щільної хмари точок. (*Скріншот зроблений за даними власних досліджень)

Вибір режим агресивної фільтрації рекомендований для вирішення завдання опрацювання аерофотознімків. У цьому випадку виключається максимальна кількість помилково позиційованих точок. Побудова щільної хмари (точок), виходячи з даних вирівнювання і спільних точок, знайдених в масиві фотографій – найбільш ресурсомістке завдання, використання однієї або декількох додаткових графічних процесорів дозволяють заощадити час. На цьому етапі опрацювання також буде потрібна максимальна кількість оперативної пам'яті [51; 54; 55; 58].

Параметр якості впливає на глибину математичного опрацювання і точність побудови щільної хмари точок, за якими на наступному етапі буде будуватися цифрова модель. Після побудови щільної хмари можна провести класифікацію різних областей точок як за допомогою ручного виділення, так і за допомогою інструментів в розділі Інструменти - Щільна хмара. Класифіковані області хмари дозволяють будувати окремі моделі, наприклад - цифрову модель фасаду будівлі.

Крок сьомий. Побудова тривимірної полігональної моделі.

На основі щільної хмари точок (або частини хмари при зробленій класифікації) на наступному кроці будується сама модель. Для виконання обираємо пункт меню Опрацювання - Побудувати модель (рис. 44).

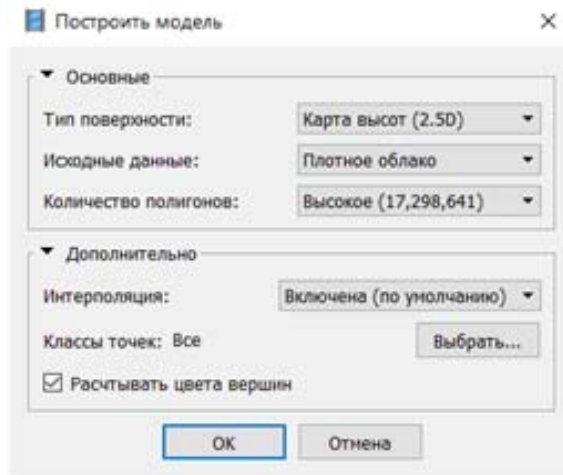


Рисунок 44. Вікно побудови моделі за даними щільної хмари точок з оптимальними параметрами для задач геодезії і картографії. (*Скріншот зроблений за даними власних досліджень)

Параметри реконструкції моделі, рекомендовані для даних аерофотознімання: Тип поверхні - Карта висот 2.5D. Буде побудована 2.5-мірна модель, для якої висота визначається однозначно, без порожніх і замкнутих областей. Інтерполяція - Включена, тобто буде створена модель із заповненням порожніх місць, замкнутих областей без спільних точок зображень. Рекомендується реконструкція моделі з максимальним числом полігонів. Згодом можливе зменшення їх числа за допомогою опції «Спростити модель» (Інструменти - Модель - Спростити модель) [34; 36].

Восьмий крок. Побудова текстури моделі.

На цьому кроці побудована полігональна модель затушовується текстурами, взятими з фотографій. Для виконання вибираємо пункт меню Опрацювання - Побудувати текстуру. Нижче - рекомендовані параметри для побудови текстури для аерофотознімків (рис. 45).

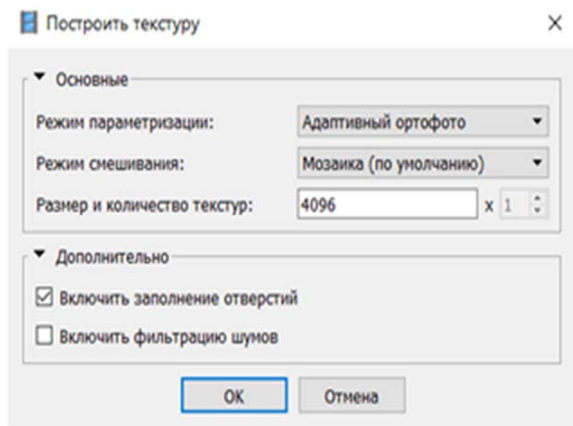


Рисунок 45. *Вікно побудови текстури. (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

Ось що говорить керівництво користувача Blender про показники параметризації: В режимі параметризації «Адаптивне ортофото» поверхня об'єкта поділяється на плоску частину і вертикальні області. Плоска частина поверхні текстуриться з використанням ортографічної проєкції, в той час як вертикальні області текстурюються окремо для збереження точного відображення текстури в цих областях. Даний режим дозволяє отримувати компактніші текстури для сцен близьких до плоских, зберігаючи при цьому високу якість текстури для вертикальних поверхонь (наприклад, для стін будівель).

В режимі «ортофото» вся поверхня об'єкта текстуриться в ортографічній проєкції. Даний режим дозволяє отримати ще компактніше представлення текстури, ніж в режимі «Адаптивне ортофото», однак при цьому сильно знижується якість текстури для вертикальних областей. Фільтрація шумів може бути включена, особливо при наявності великої кількості тонких структур (проводів, ЛЕП), що дозволить уникнути їх використання на текстурі. Для підвищення якості структури рекомендується виключити зображення поганої якості з опрацювання [30].

Крок дев'ятий. Експорт результатів.

Для задач геодезії, картографії, кадастрового обліку та інших практичних застосувань даних аерофотознімання достатньо експорту (рис. 46):

- моделі фасаду будівлі;
- карти висот.

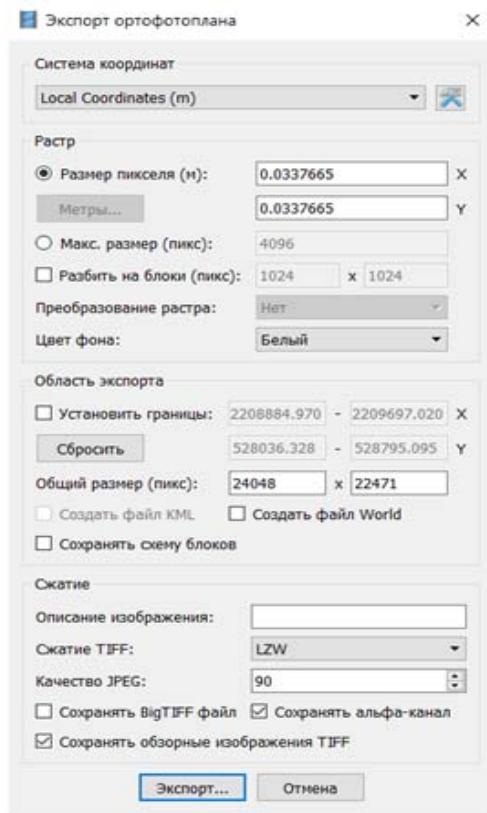


Рисунок 46. *Вікно експорту моделі будівлі. (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

Потрібно врахувати при експорті систему координат. Ми використовували місцеву систему координат для міста Київ. Екпортуємо в ній же. Перетворення систем координат, якщо раптом

вони знадобляться, краще зробити для вихідних даних, або провести в ГІС вже після експорту [27].

Великі моделі краще розбивати на блоки такого розміру, який комп'ютер з ГІС зможе «переварити» (10000x10000 - зазвичай достатній квадрат навіть для повільної MapInfo старих версій). Для вже згаданого MapInfo потрібно зберегти файл World. Стиснення, відмінне від LZW, сприймають не всі ГІС. Для огляду результатів зйомки зручно зробити також KMZ файл (зазвичай - меншого розрізнення і розміру). Огляд в Google Earth цього файлу доступний навіть тим, у кого немає на комп'ютері спеціалізованих ГІС і досвіду роботи з ними. При виконанні даної моделі для подальшого опрацювання та проєктування, в технічному завданні було зазначено, що потрібне розширення формату .dwg. Але програмний засіб Blender не має у своєму арсеналі такого формату для експорту вихідних даних. Тому ми звернулися до інших програмних засобів, які також використовуються в сучасній геодезії. Про це йдеться в наступному підрозділі. Пропонуємо також ознайомитися з результатами виконаної роботи у програмному середовищі Blender (рис. 47).

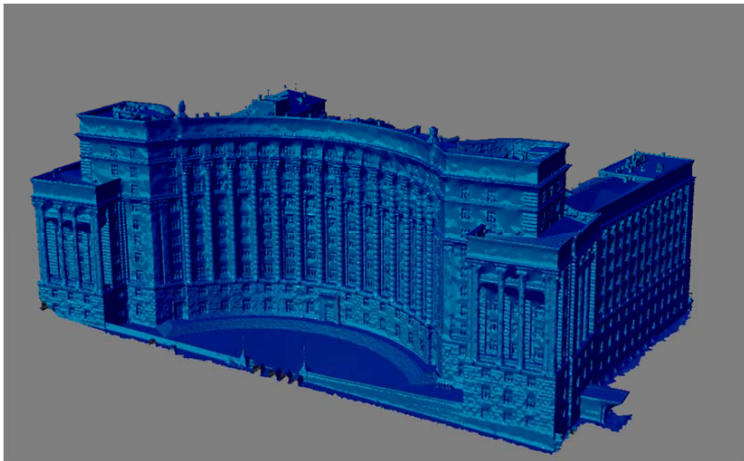


Рисунок 47. Тривимірна модель фасаду будівлі КМУ. Вид з вул. М. Грушевського*. (*Скріншот зроблений за даними власних досліджень)

3.5. Особливості опрацювання цифрової моделі фасаду будівлі в різних програмних засобах для зручнішої подальшої її візуалізації

Перед тим, як застосовувати нашу тривимірну модель фасаду будівлі, потрібно перейти з формату розширення файлу .obj в .dwg. Для чого такий прехід? По-перше, формат .dwg є найбільш універсальним форматом. Відкривати його тим або іншим способом можна практично в усіх проєктантських або конструкторських програмах векторної графіки і багатьох інших програмах для систем автоматичного проєктування.

Можливості сучасних технічних і програмних засобів персональних комп'ютерів дозволяють ефективно автоматизувати конструкторську і технологічну підготовку виробництва. В даний час, в якості фактичного стандарту програмного забезпечення для випуску конструкторських креслень, утвердилася система AutoCAD компанії Autodesk, яка є безперечним лідером на ринку програмного забезпечення для САПР [29].

В нашому випадку ця система виступає в якості основної програми роботи з векторною графікою для систем проєктування та проведення аналізу тривимірної моделі фасаду будівлі.

В той же час формат, який ми маємо відразу після завершення роботи з програмою Blender, а це файл розширення .obj, є досить громіздким та не зручним для подальшого використання. Він містить стандартний 3D формат зображення, який може бути експортований і відкритий кількома програмами редагування 3D зображення. Об'єктні файли можуть бути в форматі ASCII (. Об'єкт) або у форматі (. MOD). Він підтримує як полігональні об'єкти, так і об'єкти у вільній формі. Полігональна геометрія використовує точки, лінії і застосовується для визначення об'єктів, в той час як у вільній формі геометрія використовує криві і поверхні. Файли в форматі OBJ можуть бути відкриті з Autodesk Maya 2013, Blender, Meshmixer і MeshLab в Microsoft Windows, Mac OS, а також платформах Linux [52; 66].

Тож для початку переходу з одного розширення в інше ми скористалися програмним засобом під назвою Meshmixer.

Meshmixer – це безкоштовна «open source» програма від Autodesk. На сьогоднішній день це один з найпопулярніших софтів для підготовки mesh файлів (формування сітки) на зразок .stl і .obj. MeshMixer пропонує широкий вибір інструментів для вивчення та покращення 3D моделей.

Завдяки Meshmixer ми маємо можливість не тільки здійснити конвертацію форматів, а й внесення деяких мінімальних змін чи коректив, за необхідності, до існуючої 3D моделі. Цей набір можливостей ми розглянемо далі у нашій роботі.

Завантаживши файл .obj до Meshmixer, ми переходимо до формату .fbx, бо розширення .dwj також не підтримується даним програмним продуктом. Це наштовхує нас на використання наступної програми під назвою Autodesk 3ds Max.

Autodesk 3ds Max (раніше 3D Studio MAX) – професійне програмне забезпечення для 3D-моделювання, анімації і візуалізації при створенні ігор і проектуванні. В даний час розробляється і видається компанією Autodesk. 3ds Max у своєму розпорядженні має засоби для створення різноманітних за формою і складністю тривимірних комп'ютерних моделей, реальних чи фантастичних об'єктів навколишнього світу, з використанням різноманітних технік і механізмів.

Відкривши формат .fbx в Autodesk 3ds Max, ми маємо можливість збереження файлу у необхідному нам розширенні .dwg, який, як вже відомо, відкриваємо програмою Autodesk AutoCAD.

Також варто зазначити, що програмний засіб Autodesk 3ds Max є суттєвим конкурентом для Autodesk AutoCAD, маючи свої переваги у роботі з 3D моделями. Але відштовхуючись від поставленого технічного завдання на виконання робіт, для подальшого функціонального використання моделі був обраний саме останній ПЗ [58].

3.6. Функціональне застосування отриманої тривимірної моделі будівлі

Отримавши поністю готову тривимірну модель фасаду будівлі в потрібному форматі (рис. 45), ми перейшли до наступного кроку виконання проєкту, тобто нанесення на 3D модель площин, під якими криються деформаційні тріщини зовнішнього облицювального фасаду цієї будівлі.

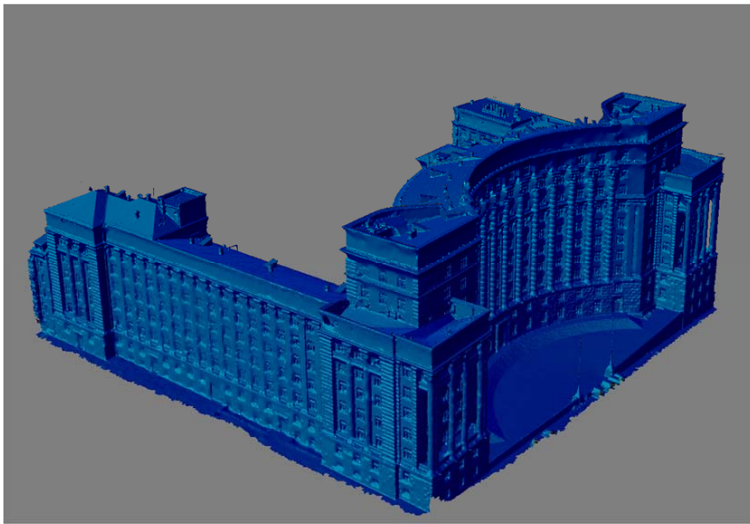


Рисунок 48. Тривимірна модель фасаду будівлі Кабінету Міністрів України. Вид з вул. Садова. (*Скріншот зроблений за даними власних досліджень)

Зображення контуру тріщини на моделі фасаду будівлі допомагає конструкторам підрядної будівельної фірми оцінити ступінь складності та обсягу виконання робіт, а також дати свій кваліфікований висновок щодо виникнення цих негативних явищ. Причини появи тріщин на стінах можуть бути різні. До найбільш поширених належать:

- нерівномірне осідання фундаменту будівлі, спорудженої на ґрунтах з різними характеристиками (у новобудовах);
- провисання стелі і тиск на розподільчі стіни (у будівлях із залізобетонними конструкціями);
- використання невідповідних будівельних матеріалів або у неправильний спосіб (неправильно підібраний розчин, поєднання стінових матеріалів з різними фізичними властивостями, занадто швидке висихання штукатурки) [70];
- вік і поганий технічний стан будівлі;
- відсутність належних проміжків дилатації;
- незалежні причини (наприклад, зміна інтенсивності дорожнього руху у районі, шкідливий вплив гірничих виробок тощо).

Визначення причин появи тріщин є необхідною умовою для ефективного їх усунення. З вигляду тріщини, її положення на стіні, а також з розміщення стіни відносно сусідніх елементів будівлі досить часто можна зробити висновки про причини виникнення тріщини та про спосіб ремонту пошкоджень.

Розглянути яскравий приклад фасадної тріщини можна на фото (рис. 46)



Рисунок 49. Приклад деформації (тріщини) на фасаді будівлі Кабінету Міністрів України між третім і четвертим поверхами. (*Авторське фото)

Роботу з фіксації тріщин на фасаді будівлі Кабміну було виконано безпосередньо за допомогою сучасного геодезичного інструменту, а саме створена знімальна геодезична мережа для топографо-геодезичного знімання шляхом визначення просторових координат за допомогою технології GPS (Global Position System) та використанням спеціального GPS обладнання – GNSS-приймача Leica CS-08 (серійний № 1732246) з контролером CS10 3.5G та GSM модемом (виробництво «Leica Geosystems», Швейцарія) (рис. 50).



Рисунок 50. GNSS-приймача Leica CS-08 з контролером CS10 3.5G та GSM модемом (*власне фото)

Сама ж фіксація проводилась за допомогою роботизованого тахеометра Trimble® SPS930 (рис. 51).



Рисунок 51. Trimble® SPS930 (*власне фото)

В універсальних електронних тахеометрах Trimble® SPS930 реалізована можливість виконувати вимірювання в п'яти режимах: Servo, Autolock, Robotic, DR (безвідбивачевий) і ATS (управління будівельною технікою), що дозволяє виконувати будь-які вимірювання, геодезичні роботи й управляти будівельною технікою – і все це за допомогою одного інструмента [77].

Електронний тахеометр SPS930 має 1-секундну точність вимірювань горизонтальних і вертикальних кутів, може бути використаний для будь-яких, найточніших вимірювальних або розбивочних робіт, а також для фінішного профілювання поверхонь.

Лазерний імпульсний далекомір DR300 + дозволяє виконувати вимірювання без використання спеціальних відбивачів до об'єктів, розташованих у важкодоступних або небезпечних місцях, на відстані 300 м і далі. Немає необхідності відправляти туди реєсника з відбивачем. Ця властивість надзвичайно зручна при вимірах пальового поля, профілів дороги, обмірюваннях поверхонь та інших роботах, що вимагають великої кількості вимірювань. У тахеометрі SPS930 при безвідбивачевих вимірах також передбачена функція сканування поверхні, що значно збільшує продуктивність при таких завданнях, як підрахунок запасів сипучих матеріалів на складах, визначення обсягу виїнятої гірської маси на кар'єрах, архітектурні обміри. Саме останньою функцією ми скористались в наших умовах.

Скориставшись GNSS-приймачем Leica CS-08 з контролером CS10 3.5G та GSM модемом, було створено знімальну геодезичну мережу навколо будівлі, з урахуванням того, щоб з кожної точки можна було безперешкодно та в повному обсязі засканувати наявні тріщини на фасаді.

Обираючи на контролері функцію DR (сканування), ми фіксуємо наявні тріщини послідовно переміщаючись між кожною точкою знімальної геодезичної мережі.

В результаті експорту вихідних даних з тахеометру, а це 22733 точки, ми отримаємо dxf файл, який завантажуюмо до Autodesk AutoCAD для подальшого опрацювання і, як наслідок, нанесення «плям» тріщин на тривимірну модель фасаду будівлі, отриману раніше. Також відзначимо, що отриманий файл dxf вже знаходиться в координатах.

Нанесення «плям» тріщин на модель відбувається в програмному середовищі Autodesk AutoCAD шляхом послідовного ручного з'єднання кожної точки. В результаті ми отримуємо таку модель (рис. 49).

Ми бачимо, що жовтим кольором виділено «плями» тріщин на фасаді будівлі, що і є результатом ручного сканування. Саме завдяки такому формату презентування інформації конструктори можуть найбільш точно оцінити та розрахувати обсяги ремонтних робіт.

Саме побудова та нанесення «плям» тріщин і слугувало головним функціональним застосуванням розробленої тривимірної моделі фасаду будівлі Кабінету Міністрів України.

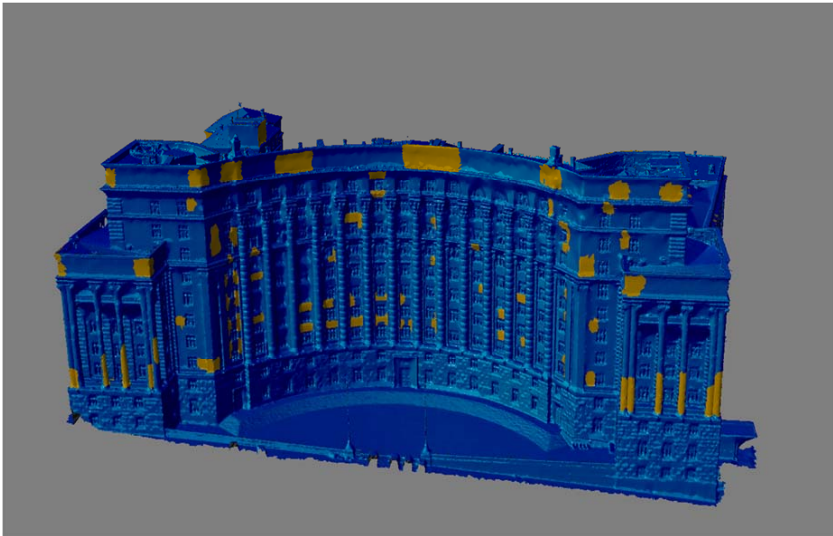


Рис. 49. Тривимірна модель фасаду будівлі Кабінету Міністрів України з нанесеними плямами деформацій (тріщин) фасаду. (*Скріншот зроблений за інформацією власних досліджень)

РОЗДІЛ 4. ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ АПАРАТІВ ПРИ СТВОРЕННІ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬ

4.1. Застосування БПЛА для аерофотознімання

Всього лише кілька років тому створення цифрових моделей місцевості (ЦММ) передбачало роботу інженерів-геодезистів безпосередньо в польових умовах, використання технології лазерного сканування або застосування космічних знімків. Значно здешевило та спростило задачу побудови 3D-моделей використання для аерофотозйомки безпілотних літаючих апаратів і застосування цифрових фотокамер. Всі отримані фотографії поєднуються з допомогою спеціального програмного забезпечення і в результаті виходить ЦММ з прив'язкою до обраної системи координат [78].

Головні переваги аерофотозйомки з допомогою БПЛА й подальшого створення ЦММ:

- висока рентабельність порівняно з використанням малої авіації;
- оперативність отримання фотознімків та їх подальшого опрацювання – значне скорочення термінів робіт порівняно з традиційними методами;
- можливість зйомки в труднодоступних місцях, незалежність від складностей рельєфу та погодних умов;
- отримання фотознімків високої роздільної здатності за рахунок можливості обльоту з незначних висот і, як наслідок, висока точність матеріалів (на відміну від космічних знімків).

Тож аерофотознімання виконувалося DJI Phantom 4 RTK. Висота знімання досить невелика – 10-15м. Пов'язано це з тим, що потрібно було досягти максимальної деталізації фасаду будівлі з урахуванням усіх особливостей фасадів. Час, затрачений на обліт та фотографування всієї будівлі досить короткий – 15-20 хв. Маршрут польоту був визначений на місці знімання, з урахуванням перекриття фотознімків. Приклад отриманих фото наведено нижче (рис. 3.1).

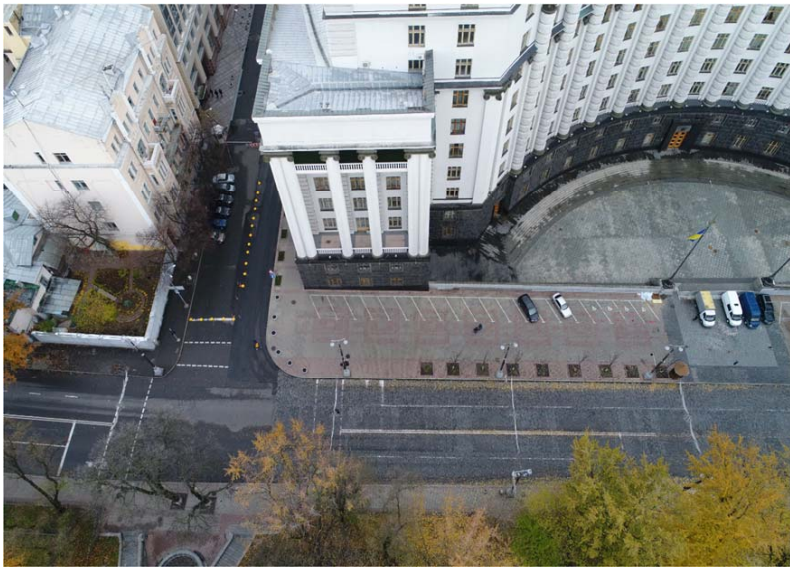


Рис. 50. Приклад фотографій, отриманих з DJI Phantom 4 Pro (RTK).
(*Власне фото з DJI Phantom 4 Pro (RTK))

Розглянемо специфіку та особливості конструкції і використання DJI Phantom 4 Pro (RTK) (рис. 51), так як це і є той сучасний та перспективний напрямок розвитку геодезії. Він вже перевірений і зарекомендував себе як надійний і невибагливий дрон – DJI Phantom 4 Pro перейшов у професійну лігу. Якщо раніше цей коптер був скоріше інструментом любителів або напівпрофесіоналів, то тепер, отримавши підтримку RTK, дрон DJI Phantom 4 Pro для невеликих фірм став потужним, але одночасно компактним і недорогим інструментом для проведення високоточної топографічної зйомки. На сьогоднішній день – це найкомпактніший і доволі точний дрон, придатний для вирішення задач картографії і геодезії [64].

DJI Phantom 4 RTK здатний здійснювати навігацію і позиціонування з точністю до сантиметра, а також володіє потужною системою опрацювання зображень. Все це в сумі робить процес картографування простішим, ефективнішим і дешевшим.



Рис. 51. DJI Phantom 4 Pro (RTK). (*Фото взяте з веб ресурсу: <https://3dmaster/uroki/hardware-for-3d-graphics-designer>)

Покращений Phantom 4 Pro отримав модуль RTK, який забезпечує незрівнянно вищу точність позиціонування з мінімальною абсолютною похибкою метаданих зображення.

Раніше для виконання знімальних робіт було необхідно ставити до 40 точок маршруту на квадратний кілометр, в результаті зйомка могла зайняти кілька годин. Новий DJI Phantom 4 RTK наділений вбудованою системою навігації і позиціонування з точністю до сантиметра, а також потужною системою опрацювання зображень.

Модуль позиціонування RTK (включає в себе GPS L1 L2, GLONASS L1 L2, Galileo E1 E5a і BeiDou B1 B2) дозволяє мінімізувати кількість точок, а отже економить як мінімум 75% часу, що витрачається на налаштування параметрів. Під приймачем RTK розташований модуль супутникових систем позиціонування (GNSS), що забезпечує стабільність польоту в місцевості зі слабким сигналом, наприклад, у великих містах [32].

Поєднання цих двох модулів DJI Phantom 4 RTK сприяє безпеці польоту й отриманню точних даних для геодезії, картографії та інспекцій.

Точність позиціонування RTK модуля в горизонтальній площині становить 1 см + 1 мд; точність позиціонування у вертикальній площині – 1,5 см + 1 мд.

Для найефективнішого використання модулів позиціонування Phantom 4 RTK була створена система TimeSync. Вона забезпечує постійний зв'язок між польотним контролером, камерою і модулем RTK. Система TimeSync дозволяє DJI Phantom 4 RTK враховувати заводські налаштування об'єктива в поєднанні з даними розташування, висоти і т.д. для кожного знімка, відправляючи дані в центр матриці CMOS та оптимізуючи результати фотограмметрії.

Завдяки великій матриці з діагоналлю 1" з розширенням 20Мп і механічному затвору стало можливо отримувати чіткі зображення навіть в русі для ідеального виконання будь-якого завдання, чи то картографування, чи то збирання даних.

З метою досягнення максимальної точності, об'єктив кожного літаючого апарату Phantom 4 RTK проходить процес калібрування з вимірюванням радіальної і тангенціальної дисторсії. Параметри спотворення зберігаються в метаданих кожного зображення, що дозволяє застосувати індивідуальний підхід в кожному окремому випадку при опрацюванні знімків.

Система передачі відео OcuSync Phantom 4 RTK забезпечує стабільне з'єднання дрона з пультом дистанційного керування і є перешкодостійкою. Передача відео 720p здійснюється на відстані до 7 км, що ідеально для картографування великих площ. 30 хвилин польотного часу дозволяє пілоту виконувати тривалі завдання без необхідності посадки дрона для зарядки акумуляторів. Навіть якщо завдання неможливо завершити на одному акумуляторі – в додатку GS RTK доступна функція продовження зйомки (Operation Resumption), яка дозволяє продовжити роботу з того ж місця після заміни акумулятора.

Додаток GS RTK дозволяє пілотам керувати Phantom 4 RTK в двох режимах: «Фотограмметрія» і «Політ по точках». У них можна скласти маршрут та одночасно регулювати ступінь накладання кадрів, швидкість, параметри камери і т.д. у процесі картографування або інспекції. Складений маршрут легко повторити, тому фахівці можуть отримувати дані в різні періоди часу для відстеження прогресу і змін.

Режим пріоритету витримки автоматично контролює експозицію протягом всієї місії. У разі виникнення несприятливих умов, наприклад, сильного вітру, пілот отримає попередження в додатку.

З вище перерахованої інформації можна зробити висновок, що DJI Phantom 4 Pro (RTK) є сучасним та досить перспективним помічником у виконанні задач з геодезії та картографування, створення 3D моделей об'єктів.

4.2. Аналіз програмного забезпечення для реалізації проєкту

Геодезія покликана вирішувати найширший спектр завдань. Цьому сприяють багатогранні методи геодезичних вимірювань і сфера програмного забезпечення роботи приладів. Для цих потреб створені програми інтерпретацій GPS-спостережень, програми 3D-моделювання, опрацювання лінійно-кутових вимірювань та виконання інших операцій. Класифікувати програмне забезпечення можна за кількома ознаками:

- за технологією опрацювання даних (дані супутників, тахеометричних вимірювань, дані геолокації та ін.);
- за галуззю застосування (топографічна зйомка, будівництво об'єктів, межування земель і т. д.);
- за структурними елементами (модульна, інтегрована модель і т. д.).

Також в якості характеристики поділу програм на типи може бути їх функціональність і ціна. Найчастіше покупці шукають «золоту середину». Також для зручності власників геодезичного обладнання можна розділити всі програми на прикладні, які працюють з сигналами ГІС і картами, та спеціальні, що виконують вимірювання при роботі у прикладних програмах, а також універсальні [26].

Етапи розвитку, вдосконалення програм, що забезпечують роботу геодезичних приладів, безпосередньо залежать від виходу новинок геодезичного обладнання. Всі існуючі геодезичні програми по можливості приводять до єдиного стандарту. Так, наприклад, отримані зображення з камер або іншої оптики опрацьовуються спільно з даними проведених вимірювань для подальшої побудови тривимірних моделей. Розробники прагнуть створювати програми, які опрацьовують дані з тахеометрів, супутників, далекомірів і забезпечують подальшу роботу з

ними. Також йдуть пошуки в напрямку отримання вихідних результатів у форматі різних додатків. Кожна нова версія програм стає все простішою і зручнішою в експлуатації за рахунок оновленого інтерфейсу і введення елементів електронного інтелекту. До того ж документи, одержувані в результаті проведеної роботи (звіти, журнали) розробляються за єдиною формою. І, безумовно, важливим напрямком у розвитку геодезичних програм потрібно назвати їх автоматизацію – переведення все більшого числа «ручних» операцій в режим без використання людини [31].

При виборі програмного забезпечення в першу чергу потрібно визначитися з завданнями, які воно має вирішувати. Наступним пунктом повинна бути перевірка сертифікатів якості, перевірка постачальника, можливість оновлення програми через інтернет і ряд інших характеристик. Звичайно, важливою характеристикою є вартість програмного забезпечення.

При розробленні саме нашого проєкту зі створення тривимірної моделі фасаду будівлі КМУ та в подальшому нанесення «плям» тріщин нами було використано наступні програмні засоби: «Blender», «Autodesk 3ds Max», «Meshmixer», «Autodesk AutoCAD». Саме ці програми пропонуємо розглянути детальніше та зрозуміти в чому їх переваги перед іншими програмними засобами [25; 37].

4.2.1. Характеристика програмного середовища Blender

Саме завдяки програмному забезпеченню «Blender» ми і розробили нашу кінцеву тривимірну модель. «Blender» показав себе як досить якісний помічник у сучасному розвитку геодезії. Нагадаємо, що в якості вихідного матеріалу слугували фото, отримані з дрону [3; 6; 78; 80].

Blender – це безкоштовне програмне забезпечення для створення і редагування тривимірної графіки. З огляду на платформу, відкритий вихідний код, доступність і функціональність пакет отримав заслужену популярність не тільки серед новачків, а й серед просунутих 3D-модельєрів. У міру розвитку програми її вибирають в якості робочого інструменту для все серйозніших проєктів, що не дивно. По суті, цей додаток практично не поступається за кількістю можливостей і функціоналом більш просунутим пакетам 3D графіки. І при цьому все безкоштовно.

Програма стане прекрасною підмогою для знайомства з 3D графікою і функціонуванням базових інструментів створення та редагування 3D об'єктів, адже Blender поєднує в собі набір опцій, які окремо зустрічаються в професійних тривимірних редакторах. Можна не прибріхуючи сказати, що в ньому зібрано потроху від кожної відомої програми для створення 3D моделей. Але в той же час це повністю самостійний, унікальний пакет тривимірної графіки, не схожий ні на один з інших додатків.

Цікаві особливості. Blender позиціонується як додаток для створення і редагування тривимірної графіки, візуалізації, анімації, створення комп'ютерних ігор і навіть скульптингу. Цілком серйозна програма, для якої потрібні серйозні ресурси апаратного забезпечення, скажете ви. Але перший сюрприз пакет підносить на етапі скачування настановчих файлів – їх обсяг становить близько 70 Мбайт. Немислимо для програмного забезпечення такого рівня! Проте, розробники примудрилися забезпечити програму усіма необхідними функціями, які повноцінно функціонують і демонструють відмінну продуктивність. Додатковою перевагою є стабільний і стрімкий розвиток пакета завдяки професійній команді розробників.

На сьогоднішній день це повноцінний 3D редактор, в якому користувача зустрічає повністю програмований інтерфейс та унікальна внутрішня файлова система. Оболонка програми на перший погляд може здатися незручною і незрозумілою, але після налаштування гарячих клавіш працювати в Blender стає просто і зручно. В якості мови програмування додаток використовує Python, володіючи яким ви можете створювати власні інструменти, редагувати інтерфейс і сам принцип роботи програми.

Приємним бонусом є доступність пакета на різних операційних системах обох розрядностей: освоїти програму зможуть власники комп'ютерів з ОС Windows, GNU / Linux і Mac OSX.

Спробуємо коротко охопити всі можливості цього унікального редактора, не заглиблюючись в деталі функціонування кожного інструменту. Як і в усіх програмах, користувач працює в свого роду сцені, або «вьюпорті». Тут 3D модель безпосередньо створюється і редагується, а також обертається, переміщується, масштабується і т.д.

Також тут відображаються всі зміни, пов'язані з процесами анімації, текстуровання та візуалізації.

3D моделювання. Представлено практично всіма існуючими способами створення і роботи з об'ємними моделями. Доступне проектування об'єктів на основі примітивів, полігонів, NURBS-кривих, кривих Безьє, метасфер, булевих операцій, Subdivision Surface і базових інструментів для скульптінга. Як і в 3Ds Max, програма пропонує велику кількість різних модифікаторів, які застосовуються до моделі [6].

Анімація. Дійсно добре поставлена в пакеті. У розпорядженні користувача такі інструменти, як ріггінг (скелетна анімація), інверсна кінематика, сіткова деформація, обмежувачі, ключові кадри, редагування вагових коефіцієнтів вершин і т.д. Відмінно реалізована динаміка твердих і м'яких тіл, а також анімація частинок.

Можливість малювання. Так, ця програма для 3D моделювання надає можливість створювати начерки різними типами кистей прямо у вікні програми. Поточне призначення такої функції – допомога у створенні 2D анімації, для чого ця функція також оснащена можливістю гнучкого налаштування, зокрема, роботи з шарами.

Візуалізація. Пакет оснащений декількома вбудованими інструментами візуалізації, а також підтримує інтеграцію з різними зовнішніми рендерами.

На завершення варто зазначити, що, незважаючи на відкритий вихідний код і повну доступність додатка, Blender є досить потужним 3D редактором, який активно розвивається. Звичайно, поки він не може змагатися з професійними програмами для 3D моделювання. Однак навіть зараз він являє собою відмінну альтернативу дорогим додаткам і цілком справляється з поставленими завданнями. Тому, на нашу думку, Blender є цілком самодостатнім програмним додатком, який може застосовуватися в цілях сучасної геодезії.

4.2.2. Застосування програмного середовища Autodesk 3ds Max

Варто нагадати, що Autodesk 3ds Max ми використовували як проміжний додаток для досягнення через нього потрібного нам формату робочого файлу проєкту. Але даний додаток також можна

використовувати і для моделювання будівель, архітектурних обмірів в геодезії, тому варто детальніше ознайомитися з цим додатком.

3ds Max є одним з перших редакторів тривимірної графіки і веде свою історію з 1990 року. За час свого існування пакет встиг змінити кілька назв. Починаючи з 2005 року, програма випускається під звичним вже ім'ям Autodesk 3Ds Max. Додаток по праву вважається одним із найбільших пакетів для 3D моделювання, який містить багато плагінів і доповнень для виконання найрізноманітніших завдань [25; 51].

Традиційно ця програма вважається професійним інструментом архітекторів і дизайнерів інтер'єру. Причиною цього є зручність в 3D моделюванні твердотілих об'єктів, велика свобода у створенні моделей та якісні модулі для фотореалістичної візуалізації. Але сучасні версії Autodesk 3Ds Max дозволяють виконувати величезну кількість функцій і виходити далеко за рамки архітектурних моделей і широко застосовуватися в сучасних задачах геодезії та картографії.

Так, у програмі непогано реалізована система елементів, а також інструменти для анімації. За рахунок грамотно продуманого механізму розрахунку фізики, моделювання поведінки твердих і м'яких тіл є не дуже важким. Користувачі керують 3D моделями з урахуванням фактичних законів фізики, завдяки чому вдається досягти неймовірної реалістичності. І не можна не сказати про модулі HairandFur, з яким створення та «укладання волосся і вовни» відбувається в два кліки.

3D моделювання. Основна функція програми – створення і редагування 3D графіки. Решта опцій призначені для доповнення створених об'єктів і доведення їх до реалістичного зовнішнього вигляду. Програма оснащена величезною кількістю різноманітних модифікаторів, інструментів для роботи з моделями [25; 65].

Autodesk 3Ds Max – це дійсно потужна програма для візуалізації, сумісна з багатьма модулями моделювання світла, використовуваних матеріалів і різних ефектів. Додаток надає можливість гнучкого управління налаштуваннями, включаючи експозицію, глибину різкості і багато іншого [50].

Вікно Material Editor (редактор матеріалів) в 3Ds Max реалізовано за **нодів принципом, тобто кожна функція винесена в окреме діалогове вікно, за рахунок чого управляти матеріалами легко і зручно.**

У числі візуалізаторів для програми використовуються такі модулі, як Arnold, V-Ray, Mental Ray, RenderMan, FinalRender, Luxrender і багато інших.

3Ds Max підтримує "командну роботу" і функціонує з файлами різних програм. Є можливість експорту та імпорту проєктів з інших і в інші додатки. Також реалізована функція спільної роботи над одним проєктом за допомогою зовнішніх посилань. Для роботи з плагінами, текстурами, зображеннями, 3D- моделями, створеними в інших додатках, пакет підтримує величезну кількість типів файлів.

Для представленої програми розроблено неймовірну кількість плагінів і доповнень. Кожен з них відповідає за конкретні завдання. Зокрема, існує багато плагінів для моделювання фотореалістичних ефектів диму, вогню, вибухів, салютів, бризок і т.д. Розроблено також окремі доповнення, які допомагають моделювати ландшафти, зоряне небо. Деякі модулі спрямовані на зручніше створення об'єктів органічного світу (рослин та іншого) [70].

На завершення огляду даного додатку хотілося б відмітити, що якщо б була підтримка побудови 3D моделі за допомогою завантаження великого обсягу фотоматеріалів, то ця програма була б фаворитом через її багатий функціонал.

4.2.3. Особливості використання програмного середовища Meshmixer

Даний додаток ми також використовували для переходу у потрібний формат файлу робочого проєкту. Але також варто зазначити, що програма має дуже зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для візуалізації та внесення деяких мінімальних змін до існуючої готової тривимірної моделі.

Autodesk MeshMixer – це безкоштовна програма для роботи з тривимірними сітковими моделями. У програмі немає інструментів для створення 3D-моделей, але є широкий набір інструментів для їх зміни і підготовки до тривимірного друку [80].

Іншими словами, ви можете імпортувати в MeshMixer будь-яку тривимірну модель, створену в будь-якому моделлері, доопрацювати її,

поліпшити і виправити, розмістити на віртуальному столі 3D-принтера і відправити на друк або експортувати в формат STL. Сам MeshMixer працює з файлами *.MESH [50].

Ось список лише деяких функцій Autodesk MeshMixer, важливих для вирішення геодезично-картографічних задач:

- просте Drag-and-Drop об'єднання мереж;
- 3D-скульптинг;
- конвертація в моделі для 3D-друку;
- 3D-патерни і ґратчасті структури;
- створення оболонок;
- генерація підтримуючих структур для 3D-друку;
- автоматична оптимізація орієнтації моделей;
- просунуті інструменти вибору;
- спрощення та регенерація мереж;
- згладжування і перетворення мереж;
- автоматична заливка отворів, містків та автозбереження моделей;
- поверхні обрізки, віддзеркалення і булеві операції;
- витискування, зміщення поверхонь, проєктування їх на об'єкти;
- внутрішні трубки і канали;
- точне позиціонування в 3D за допомогою маніпуляторів;
- автоматичне вирівнювання поверхонь;
- тривимірні вимірювання;
- інструменти аналізу стабільності і товщини;

На завершення огляду можна сказати, що даний програмний засіб виступає насамперед в якості інструменту перегляду готової тривимірної моделі, а не його в якості її розробника [33].

4.2.4. Робота з тривимірною моделлю у програмі Autodesk AutoCAD

Autodesk AutoCAD напевно є найбільш розповсюдженим та використовуваним програмним засобом серед геодезистів. Свою довіру до вітчизняних фахівців він отримав вже дуже давно. І не даремно, адже маючи в своєму арсеналі безліч зручних функцій, Autodesk AutoCAD є лідером серед використовуваних додатків в сучасній геодезії та картографії [64].

В нашому проєкті Autodesk AutoCAD зайняв одне з головних місць у вирішенні завдань, передбачених робочою програмою проєкту. Саме завдяки цьому додатку ми нанесли наші «плями» тріщин на готову тривимірну модель будівлі. А також в технічному завданні однією з вимог було предстанення результатів робіт саме в програмному середовищі Autodesk AutoCAD.

AutoCAD – дво- і тривимірна система автоматизованого проєктування і креслення, розроблена компанією Autodesk. Перша версія системи була випущена в 1982 році. AutoCAD і спеціалізовані додатки на його основі знайшли широке застосування в машинобудуванні, будівництві, архітектурі та інших галузях промисловості. Програма випускається на 18 мовах. Рівень локалізації варіює від повної адаптації до перекладу тільки довідкової документації.

Ранні версії AutoCAD оперували невеликим числом елементарних об'єктів, такими як кола, лінії, дуги і текст, з яких складалися складніші елементи. У цій ролі AutoCAD заслужив репутацію «електронного кульмана», яка залишається за ним і понині. Однак на сучасному етапі можливості AutoCAD вельми широкі і набагато перевершують можливості «електронного кульмана» [28].

В галузі двовимірного проєктування AutoCAD, як і раніше, дозволяє використовувати елементарні графічні примітиви для отримання складніших об'єктів. Крім того, програма надає вельми обширні можливості роботи з шарами і анотаційними об'єктами (розмірами, текстом, позначеннями). Використання механізму зовнішніх посилань (XRef) дозволяє розбивати креслення на складові файли, за які відповідальні різні розробники, а динамічні блоки розширюють можливості автоматизації 2D-проєктування звичайним користувачем без використання програмування. Починаючи з версії 2010, в AutoCAD реалізована підтримка двовимірного параметричного креслення. У версії 2014 з'явилася можливість динамічного зв'язку креслення з реальними картографічними даними (GeoLocation API).

Версія програми AutoCAD 2014 включає в себе повний набір інструментів для комплексного тривимірного моделювання (підтримується твердотільне, поверхневе і полігональне моделювання). AutoCAD дозволяє отримати високоякісну візуалізацію моделей за

допомогою системи рендерингу mental ray. Також у програмі реалізовано управління тривимірною печаткою (результат моделювання можна відправити на 3D-принтер) і підтримка хмар точок (дозволяє працювати з результатами 3D-сканування). Проте варто зазначити, що відсутність тривимірної параметризації не дозволяє AutoCAD безпосередньо конкурувати з машинобудівними САПР середнього класу, такими як Inventor, SolidWorks та іншими. До складу AutoCAD 2012 включена програма Inventor Fusion, яка реалізує технологію прямого моделювання [50; 52].

Широке розповсюдження AutoCAD у світі зумовлено, не в останню чергу, розвиненими засобами розробки та адаптації, які дозволяють налаштувати систему під потреби конкретних користувачів і значно розширити функціональність базової системи. Великий набір інструментальних засобів для створення додатків робить базову версію AutoCAD універсальною платформою для вирішення цього завдання. На базі AutoCAD самою компанією Autodesk і сторонніми виробниками створено велику кількість спеціалізованих прикладних програм, таких як AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical, AutoCAD Architecture, GeoniCS, Promis-e, PLANT-4D, AutoPLANT, СПДС GraphiCS, MechaniCS, GEOBRIDGE, САПР ЛЕП, Rubius Electric Suite та інших.

Для досягнення поставлених цілей ми застосовували актуальну версію AutoCAD 2018 зі встановленим додатково сервісом Toroplan.

ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 1

У виконаному проєкті висвітлено теоретичні засади і практичні аспекти створення тривимірних моделей цінних в історико-архітектурному аспекті будівель (на прикладі фасаду будівлі Кабінету Міністрів України по вул. М. Грушевського, 12/2) з використанням сучасних геодезичних технологій. За результатами виконаного дослідження сформульовано такі висновки:

1. Встановлено, що стрімкий розвиток технологічних змін у сфері топографо-геодезичної діяльності, які відбулися протягом останніх десятиріч, суттєво вплинув на характер і зміст вишукувальних робіт, що виконуються інженерами-геодезистами та інженерами-землевпорядниками.

2. В ході польових топографо-геодезичних робіт із застосуванням Наземного лазерного 3D сканера Leica ScanStation C10 детально вивчено та охарактеризовано об'єкт дослідження, проведено лазерне сканування, на основі чого було створено його 3D модель.

3. Розроблено алгоритм і технологію створення тривимірної моделі фасаду будівлі Кабінету Міністрів України по вул. М. Грушевського, 12/2, які можуть бути застосовані при створенні 3D моделей подібних об'єктів. Під час створення тривимірної моделі будівлі проаналізовано сучасний стан розвитку архітектурного моделювання споруд з використанням сучасних геодезичних технологій та інструментів. Розглянуто теоретичні засади створення 3D моделей та напрямки розвитку архітектурного моделювання. Виконано аналіз підходів до створення тривимірної моделі фасаду будівлі та обґрунтовано доцільність їх використання при вирішенні завдань нашого проєкту.

4. Обґрунтовано оптимальний спектр геодезичних технологій та вибір обладнання і програмного забезпечення для виконання геодезичного знімання об'єкту дослідження та створення його тривимірної моделі. Встановлено, що такими технологіями на сьогодні є використання БПЛА у поєднанні з роботизованими електронними тахеометрами та GNSS приймачем (у нашому випадку це БПЛА DJI Phantom 4 Pro, GNSS-приймач Leica CS-08 з контролером CS10 3.5G та

GSM модемом і Trimble® SPS930). Представлено короткі відомості щодо використовуваного програмного забезпечення та його потенціалу.

5. Проведено топографо-геодезичні вишукування в місцевій системі координат і Балтійській системі висот на об'єкті «Кабінет Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 у Печерському районі м. Києва», загальною площею 4,2 га і складено топографічний план масштабу 1:500.

6. Створено тривимірну модель фасаду будівлі Кабінету Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 з використанням програмного продукту Blender Foundation. Здійснено структурно-функціональний аналіз проєкту та побудову цифрової моделі будівлі у програмному середовищі «Blender». Запропоновано покрокову технологію побудови 3D моделі цінного історико-архітектурного об'єкту у вище зазначеному програмному засобі.

7. Встановлено і відображено на тривимірній моделі будівлі елементи деформацій фасаду з метою подальшого визначення обсягів відновлювальних робіт і прийняття управлінських рішень. Опрацьовано порядок створення цифрової моделі фасаду будівлі у програмних засобах для зручнішої подальшої візуалізації. Запропоновано наступні програмні засоби для візуалізації: Autodesk 3ds Max, Meshmixer, Autodesk AutoCAD. Вищеперераховані програми в результаті дослідження мали різноманітний функціонал для подальшої роботи з тривимірними моделями будівель, а також сприяли переформатуванню остаточної 3D-моделі будівлі у потрібний формат для подальшого зручного використання моделі. Оцінено функціональне застосування отриманої тривимірної моделі для відображення «плям» тріщин на фасаді будівлі на отриману тривимірну модель цього об'єкту.

8. Проаналізовано також застосування сучасних геодезичних технологій при створенні тривимірної моделі фасаду будівлі, зокрема використання БПЛА для аерофотознімання будівлі Кабміну. Проведено детальний опис технології виконання даних робіт. У зв'язку з перспективністю розвитку даного способу представлення інформації зроблено висновок, що сучасні технології, які використовуються в геодезії, володіють широким спектром застосувань у суміжних галузях (будівництво, транспорт, сільське господарство, природоохоронна

галузь, державне управління та військова сфера тощо). Усі вони й надалі вимагатимуть забезпечення надійного і точного встановлення місцеположення об'єктів місцевості, відображення параметрів геометрії поверхні Землі і досліджуваних об'єктів на їхніх 3D моделях.

9. Необхідно зазначити, що геодезичні вимірювання та аерофотозйомка місцевості, здійснювані з БПЛА, на сьогодні є одним з найбільш актуальних і рентабельних рішень для реалізації більшості завдань у галузі геодезії та землеустрою. При цьому отримуються точні і достовірні фото- і відеоматеріали, які відображають особливості рельєфу місцевості, риси будови історико-архітектурних об'єктів тощо. Отримані моделі придатні для вирішення задач сільського господарства та будівництва, геологорозвідки, моніторингу будівель і споруд та інших елементів інфраструктури.

10. Роботи зі створення тривимірної моделі фасаду будівлі Кабінету Міністрів України по вул. Михайла Грушевського 12/2 були виконанні магістрантом Рудякевичем Д.О. із залученням фахових інженерів-геодезистів Меркушева О.С., Середенка М.В., а також геодезичних приладів, наданих ТОВ «ГЕОЕКОСИСТЕМИ». Висловлюємо щиру подяку генеральному директору ТОВ «ГЕОЕКОСИСТЕМИ» Кульбіді М.П. за сприяння проведенню дослідження та набуттю важливого практичного досвіду і можливість використання та презентації кінцевих результатів виконаної роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО ЧАСТИНИ 1

1. 10 цікавих способів використовувати LiDAR на вашому iPhone та iPad. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://mezha.media/articles/yak-vykorystovuvaty-lidar-na-iphone-ta-ipad/>
2. 3D пам'ятки: технологія створення цифрових версій об'єктів культури. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://mcsc.gov.ua/news/3d-pamyatky-tehnologiya-stvorennnya-czyfrovyyh-versij-obyektiv-kultury/>
3. 3D пам'ятки: технологія створення цифрових версій об'єктів культури. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://mcsc.gov.ua/news/3d-pamyatky-tehnologiya-stvorennnya-czyfrovyyh-versij-obyektiv-kultury/>
4. Accuracy Assessment on Detail Survey Plan Using iPhone 13 Pro Max LiDAR Sensor. International Journal of Geoinformatics. 2023. С. 79–86. URL: <https://doi.org/10.52939/ijg.v19i5.2665>
5. Accuracy Assessment On Point Cloud Dataset from Terrestrial Laser Scanner with Different Objects Surface Properties / М. Н. Razali та ін. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Т. 767, № 1. С. 012007. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/767/1/012007>
6. Blender. Official site blender.org. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.blender.org> .
7. He G. B., Li L. L. Research and application of lidar technology in cadastral surveying and mapping. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2020. XLIII-B1-2020. С. 33–37. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b1-2020-33-2020>
8. Ihor Tytarenko, Ivan Pavlenko, Iryna Dreval. 3D Modeling of a Virtual Built Environment Using Digital Tools: Kilburun Fortress Case Study, URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1577>
9. Lam N. A Cost-Effective Laser Scanning Method for Mapping Stream Channel Geometry and Roughness. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 2015. Т. 51, № 5. С. 1211–1220. URL: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12299>
10. LixelStudio: веб-сайт. URL: <https://www.xgrids.com/lixelstudio>

11. Martyn A. etc. Accuracy of geodetic surveys in cadastral registration of real estate: value of land as determining factor. 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. 2019. URL: <https://doi.org/10.22616/erdev2019.18.n236>
12. Meouche R. El. Uav photogrammetry implementation to enhance land surveying, comparisons and possibilities. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. XLII-2/W2. C. 107–114. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w2-107-2016>
13. O. Shevchenko, K. Mykhailyk, O. Pron, A. Moskalenko, I. Illiashov. Features of 3D modelling of building facades using i89 GNSS receiver with dual camera. International Conference of Young Professionals "GeoTerrace 2024", 2024, Vol. 2024, issue 1. P. 1–5. Published by European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510050>
14. O. Shevchenko, K. Mykhailyk, O. Pron, A. Moskalenko, I. Illiashov. Features of 3D modelling of building facades using i89 GNSS receiver with dual camera. International Conference of Young Professionals "GeoTerrace 2024", 2024, Vol. 2024, issue 1. P. 1–5. Published by European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510050>
15. Openko I., Shevchenko O., Stepchuk Ya., Tykhenko R., Tykhenko O., Horodnycha A. Economic efficiency of methods for surveying rural infrastructure: assessment of accuracy, cost and duration. Engineering for rural development. Jelgava, 22.-24.05.2024. pp. 42-47. DOI: 10.22616/ERDev.2024.23.TF010
16. Pix4D: веб-сайт. URL: <https://www.pix4d.com/>
17. Polycam — AI інструмент для створення 3D моделей за допомогою мобільного сканування. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.komarov.design/polycam-ai-instrument-dlia-stvoriennia-3d-modieliei-za-dopomoghoiu-mobilnogho-skanuvannia/>
18. Shevchenko O., Openko I., Tykhenko R., Stepchuk Y. Comparative analysis of geodetic surveys for building facad: laser scanning, total station surveying and smartphone lidar. International Conference of

Young Professionals «GeoTerrace-2023», Oct 2023, Vol. 2023, p. 1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510102>

19. Shevchenko O., Openko I., Tykhenko R., Stepchuk Y. Comparative analysis of geodetic surveys for building facad: laser scanning, total station surveying and smartphone lidar. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023», Oct 2023, Vol. 2023, p. 1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510102>

20. Spreafico A., Chiabrando F., Teppati Losè L., Giulio Tonolo F. The ipad pro built-in lidar sensor: 3D rapid mapping tests and quality assessment. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2021. XLIII-B1-2021. C. 63–69. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b1-2021-63-2021>

21. Spreafico A., Chiabrando F., Teppati Losè L., Giulio Tonolo F. The ipad pro built-in lidar sensor: 3D rapid mapping tests and quality assessment. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2021. XLIII-B1-2021. C. 63–69. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b1-2021-63-2021>

22. Tran H., Khoshelham K. Building change detection through comparison of a lidar scan with a building information model. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. XLII-2/W13. C. 889–893. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w13-889-2019>

23. Tran H., Khoshelham K., Kealy A. Geometric comparison and quality evaluation of 3D models of indoor environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019. T. 149. C. 29–39. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.01.012>

24. Verma M. K., Yadav M. Survey planning for documentation of a monument for the understanding, preservation and restoration. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2023. T. XLVIII-M-2-2023. C. 1607–1612. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvihi-m-2-2023-1607-2023>

25. Бойко А. П. Комп'ютерне проєктування в середовищі 3Ds Max : навчальний посібник / А. П. Бойко, О. В. Дворник. Миколаїв: Видавництво ЧНУ ім. Петра Могили, 2020. 140 с.

26. Бондаренко С.В. 3ds Max 2008. Бібліотека користувача / С.В.

Бондаренко, М. Ю. Бондаренко. К.: Діалектика, 2008. 560 с.

27. Бондаренко С.В. 3ds Max 8. Бібліотека користувача / С.В. Бондаренко, М. Ю. Бондаренко. К., 2006. 608 с.

28. Бондаренко С.В. 3ds max. Легкий старт / С.В. Бондаренко, М. Ю Бондаренко. К. : Діалектика, 2005.128 с.

29. Бондаренко С.В. Autodesk 3ds Max 2008 за 26 уроків. 3D Studio max 2008 / С.В. Бондаренко, М.Ю. Бондаренко. К.: Діалектика, 2008. 576 с.

30. Бондаренко С.В. Autodesk 3ds Max 2008. 3D Studio MAX 2008 / С.В. Бондаренко, М.Ю. Бондаренко. К.: Діалектика, 2008. 144 с.

31. Бурлаков М.В. Autodesk 3ds Max 2008. Самовчитель 3D Studio MAX 2008 / М.В. Бурлаков. К.: Діалектика, 2008. 512 с.

32. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: підручник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 316 с.

33. Верстат В. А. 3ds Max 8. Секрети майстерності / В. А. Верстат. К. ;, 2006. 672 с.

34. Види 3D моделювання. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журн. : <http://3d-modeli.net/uroki-3d/6175-vidy-3d-modelirovaniya.html> .

35. Віктор Мойсеєнко. Будинок Ради Народних Комісарів УРСР, 1936-38 // Звід пам'яток історії та культури України: Енцикл. вид.: У 28 т. / Редкол.: В. А. Смолій (голова) та ін. К.: Голов. ред. Зводу пам'яток історії та культури при вид-ві «Українська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1999. Кн. 1. Ч. 1. Київ А - Л. 608 с.

36. Все про 3ds Max. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://3dmax7.us/index.html>.

37. Гейн О.Г. Інформатика: Посібник для 10-11 кл. загальноосвітніх закладів / О.Г. Гейн, А.І. Сіножатеї, Н.А. Юнерман. 4-е вид. К., 2003. 225 с.

38. Гнаткович Д.І., Панчук О.Я. Концептуальні засади підготовки землевпорядників у новому столітті //Землевпорядний вісник. 2001. №2. С. 35-38.

39. Д. О. Дегтяренко, Д. Ф. Оболонков. Цифрові методи реконструкції та відтворення стародавніх міст та споруд за допомогою

геодезії. Збірник наукових праць ДонНАБА № 1, 2024 (32), 11-16. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://donnaba.edu.ua/journal/wp-content/uploads/2024/04/11-16.pdf> . 39 а. Державний реєстр нерухомих пам'яток України <https://mcsc.gov.ua/kulturna-spadshchyna/derzhavnyu-reiestr-nerukhomyykh-pam-iatok-ukrainy/>

40. Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять: ДСТУ 4220:2003. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 18 с.

41. Добряк Д. Підготовка фахівців і науковців із землеустрою та земельного кадастру: як вирішувати проблеми? / Д. Добряк, А. Мартин, І. Ковальчук, В. Будзяк, О. Дорош, С. Кохан, Г. Лоїк // Землевпорядний вісник. 2013. № 11. С. 9-13.

42. Дорожинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрія: Підручник. Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. 332 с.

43. Дослідження точності визначення просторового положення об'єктів методом slam сканування. / Ковтун В. та ін.. *Геофорум-2024:зб. тез міжнар. наук.-техн. конф.*, м. Львів, 10-12 квітня 2024 р. Львів-Брюховичі, 2024. С. 27–29.

44. Євсюков Т., Коваленко А. Створення реєстру особливо цінних земель на регіональному рівні – важливого засобу соціально-економічного розвитку регіону. *Регіон – 2013: стратегія оптимального розвитку*: матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Харків, 7-8 листопада 2013 р. 2013. С. 280–282.

45. Євсюков Т., Краснолуцький О. Концептуальні засади створення Державного реєстру особливо цінних земель. *Землевпорядний вісник*, 2014, 12. С. 23-30.

46. Земельний кодекс України : прийнятий 25 жовтня 2001 року № 2768-III // Відом. Верхов. Ради України (ВВР). 2002. № 3–4. Ст. 27.

47. Карпінський Ю. О. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко К.:НДІГК, 2006. 108 с.

48. Карпінський Ю.О. Геоінформаційні технології: нові парадигми і нові ризики топографо-геодезичної та картографічної діяльності / Карпінський Ю.О. Лященко А.А. Львів.: Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. –Збірник наукових праць Західного

Геодезичного Товариства. Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, випуск II(22). 2011. С. 43-48

49. Карпінський Ю.О. Топографічне картографування в національній інфраструктурі геопросторових даних / Карпінський Ю.О. Лященко А.А. Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку.: Збірник наукових праць / К.:ДНВП “Картографія”, 2008. Вип. 3. С. 52-60

50. Келлі Л. Мердок. Autodesk 3ds Max 9. Біблія користувача. 3D Studio MAX 9 / Мердок Келлі. Л.–К.: Діалектика, 2008. 1344 с.

51. Кожар Денис. Основні прийоми моделювання в 3Ds Max. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=p2GqUW2ZAbY>

52. Комп'ютерна графіка. AutoCAD: навч. посіб./Донецький національний ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. Донецьк: ДонНУЕТ, 2008. 266 с.

53. Коцюбівська Катерина, Баранський Степан (2020). 3D-моделювання при відновленні історико-культурних цінностей. Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері, 3(1), 59–68. <https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.1.2020.206109>

54. Лазоренко-Гевель Н. Ю. Ініціативи EUROSDREUROGEOGRAPHICS щодо використання сучасних методів збирання геопросторових даних для топографічного картографування / Н. Ю. Лазоренко-Гевель // Інженерна геодезія. Наук.-техн. збірник. 2017. Вип.64. С. 67-77.

55. Лі К. 3D Studio MAX. Мистецтво тривимірної анімації. Platinum Edition. К.: Кім Лі. ДіаСофт-ЮП, 2005. 887 с.

56. Лозовий О. Про стандарти і навчальні плани підготовки бакалаврів із землеустрою і земельного кадастру / О. Лозовий // Землевпорядний вісник. 2009. № 9. С. 43-45.

57. Мартин, А. Зміст вищої освіти у галузі землеустрою: сучасний стан, проблеми та шляхи вирішення / А. Мартин, Й. Дорош, З. Флекей // Землевпорядний вісник. 2009. № 5. С. 32-36

58. Методи роботи в 3ds Max [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://e-b.kiev.ua>.

59. Методологія теоретичних досліджень [Електронний ресурс].

Режим

доступу:https://pidruchniki.com/1467042834952/pedagogika/teoretichni_metodi_pedagogichnogo_doslidzhennya

60. Місик С.О., Смолій К.Б., Методика виконання наземного лазерного сканування пам'яток архітектури, URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/51990/1/%D0%9C%D1%96%D1%81%D0%B8%D0%BA.pdf>

61. Місик С.О., Смолій К.Б., Методика виконання наземного лазерного сканування пам'яток архітектури, URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/51990/1/%D0%9C%D1%96%D1%81%D0%B8%D0%BA.pdf>

62. Новаковський Л., Олещенко Л. Соціально-економічні проблеми сучасного землекористування: монографія. 2-ге вид., доп. К.: Урожай, 2009. 276 с.

63. Осадча К. П., Чемерис Г. Ю. Добір засобів тривимірного моделювання для формування графічної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук. Інформаційні технології і засоби навчання. 2017. Том 62, № 6. С. 70 – 85.

64. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 / Затв. наказом Гол. упр. геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999 р. і погодж. з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України // Топографо-геодезична та картографічна діяльність: Законодавчі та нормативні акти. В 2 ч. Вінниця: Антекс, 2002. Ч. 1. С.171–188.

65. Основні положення створення топографічних планів масштабів 1: 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 та 1: 500 / Затв. наказом Гол. упр. геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України №3 від 24.01.94 // Топографо-геодезична та картографічна діяльність: Законодавчі та нормативні акти. В 2 ч. Вінниця: Антекс, 2002. Ч. 1. С.84–89.

66. Прахов А. А. Самоучитель Blender 2.6. С.111–114. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://booktracker.org/viewtopic.php?t=60980>

67. Принципи створення 3D моделей. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://addtive.com.ua/shcho_take_3d_modelyuvannya/
68. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98?lang=ua>
69. Романюк О.Н., Чехместук Р.Ю., Романюк О.В. Тривимірне моделювання в архітектурно-містобудівній галузі, URL: <http://repository.ukd.edu.ua:8080/bitstream/handle/123456789/612/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A%20%D0%A3%D0%9A%D0%94.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=200>
70. Романюк О.Н., Чехместук Р.Ю., Романюк О.В. Тривимірне моделювання в архітектурно-містобудівній галузі, URL: <http://repository.ukd.edu.ua:8080/bitstream/handle/123456789/612/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A%20%D0%A3%D0%9A%D0%94.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=200>
71. Сосса Р. І. Топографічне картографування України (1917 – 1920): моногр. / Р. І. Сосса. К.: Наук. Думка, 2014. 384 с.
72. Спадщина Львова у 3D. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.uois.lviv.ua/spadshchyna-u-3d/>
73. Станько С.В., Колб І.З., Ткачик Ю.З., Застосування фотограмметричних технологій 3d-моделювання при ревіталізації споруд, URL: https://www.researchgate.net/profile/Elsayed-Elnashar-3/publication/381126966_Safety_Surgical_Operating_Rooms_of_Infections_By_Nanomembrane_Fabric_Technology_Filters_For_Ventilation/links/665ecbfcb86444c722dd167/Safety-Surgical-Operating-Rooms-of-Infections-By-Nanomembrane-Fabric-Technology-Filters-For-Ventilation.pdf#page=196
74. Ступень М.Г. Підготовка фахівців за спеціальністю «Землепорядкування та кадастр» / М.Г. Ступень, Р.Й. Гулько, Р.Б. Таратула // Наука і методика: Зб. наук.-метод. пр. / Редкол.: Т. Д. Іщенко та ін. К.: Аграрна освіта, 2009. С. 98-99.
75. Товбич В.В., Попович Є.М., Засоби та методи 3d сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів, DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.372-381>

76. Товбич, В., & Попович, Є. (2023). Засоби та методи 3-D сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (67), 372–381. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.372-381>

77. Третьак А.М. Наукові проблеми розробки навчальних програм з землеустрою / А.М. Третьак, В.М. Кривов, А.В. Тарнапольський та ін. // Землевпорядкування. 2001. №3. С. 67-80.

78. Тривимірна графіка – 3D-моделювання. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://easy3dprint.com.ua/uk/trivimirna-grafika-3d-modelyuvannya/>

79. Удосконалення технології створення тривимірних 3-D моделей з використанням креслень і фотографій механізмів старих зразків. Котлик С.В., Романюк О.Н., Соколова О.П., Шинкар О.В. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. Volume 16, Issue 1 / 2024, Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.atbp.ontu.edu.ua/>

80. Хаббелл Д. 3D Studio VIZ для дизайнера / Д. Хаббелл, Т. Бордмен. К.: ДіаСофт, 2004. 663 с.

81. Що таке 3D-моделювання? Веб-сайт. URL: <https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/what-is-3d-modeling.html>

82. Panfilova E.E., Malkin I.I. Risk management information system in the organizations of the construction industry as a tool for increasing business revenue. Relevant lines of scientific research: theory and practice. *TSNS Interaktiv Plus*. 2020. p. 132–137.

83. Review of mobile mapping and surveying technologies / Puente I., González-Jorge H., Martínez-Sánchez J., Arias P. *Measurement*, 2013. 46.7. p. 2127-2145.

Частина 2.

РОЗДІЛ 5. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК З ОБ'ЄКТАМИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

5.1. Нормативно-правове і технічне забезпечення процесу інвентаризації земель з об'єктами культурної спадщини в Україні

Державна інвентаризація земель — це комплекс заходів, спрямованих на формування земельних ділянок усіх форм власності, визначення їх угідь і, за потреби, віднесення до відповідних категорій для внесення цієї інформації в систему Державного земельного кадастру.

Інвентаризація земель, включно з державною інвентаризацією земель та окремих земельних ділянок, здійснюється згідно з принципами планування, достовірності та повноти даних, послідовності та стандартності процедур, забезпечення доступу до інформації, а також узагальнення даних із дотриманням єдиної методології і технології їх опрацювання.

Для проведення інвентаризації замовник укладає з виконавцем договір на розробку технічної документації, строк підготовки якої не перевищує шести місяців з моменту укладання договору. Роботи з інвентаризації включають обстежувальні, топографо-геодезичні, проєктно-вишукувальні роботи, складання й оформлення документації в паперовій та електронній формах. Обстежувальні роботи охоплюють збирання та аналіз вихідних даних для інвентаризації та складання робочого інвентаризаційного плану.

Аналіз нормативно-правових та законодавчих документів дозволяє узагальнити структуру процесу інвентаризації земель як чотири основні компоненти: польові роботи, топографо-геодезичні вишукування, камеральні роботи та формування технічної документації.

Отримані відомості вносяться до Державного земельного кадастру згідно з Порядком його ведення, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. № 1051. Під час інвентаризації використовуються Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, Інструкція щодо контролю і приймання топографо-геодезичних робіт та інші нормативні документи.

Основними нормативно-правовими актами, що регулюють процес інвентаризації земель в Україні, є Земельний кодекс України [11], Закон України «Про землеустрій» [1], Закон України «Про державний земельний кадастр» [8], постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 року №1051 «Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру» [21] та постанова Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 року №476 «Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України».

Згідно з пунктом 2 статті 791 Земельного кодексу України [11], формування земельних ділянок відбувається через інвентаризацію земель. Стаття 186 (Погодження і затвердження документації із землеустрою) у пункті 5 передбачає, що технічна документація із землеустрою для інвентаризації земель, яка включає дані про земельні ділянки, сформовані до 2004 року, але не внесені до Державного земельного кадастру, має бути погоджена з власниками або землекористувачами у випадках, коли ці ділянки перебувають у користуванні фізичних чи юридичних осіб.

Технічна документація із землеустрою щодо інвентаризації земель затверджується згідно з Земельним кодексом України [11] наступним чином:

- для земельних ділянок приватної власності – власником ділянки;
- для земель державної або комунальної власності – Верховною Радою Автономної Республіки Крим, Радою Міністрів АР Крим, відповідним органом виконавчої влади або органом місцевого самоврядування, згідно зі статтею 122 [11];
- для ділянок сільськогосподарського призначення та земель колективної власності після розподілу паїв між власниками – сільською, селищною або міською радою (тепер ТГ).

Під час воєнного стану тимчасове зберігання технічної документації у паперовій та електронній формах, разом із рішенням про її затвердження, забезпечується відповідним органом влади чи місцевого самоврядування, що її затвердив. Наступним етапом є передача цих документів до Державного фонду документації із землеустрою та оцінки земель.

Закон України «Про землеустрій» також містить ключові положення щодо інвентаризації земель [1]. Так, наприклад, стаття 14 надає центральному органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин, повноваження щодо здійснення землеустрою, включаючи проведення державної інвентаризації земель.

Стаття 35 містить опис процесу інвентаризації, яка проводиться з метою визначення розмірів, меж та місця розташування об'єктів землеустрою, їхнього правового статусу, а також виявлення земель, що використовуються нерационально або не за призначенням. Процес також включає виявлення і консервацію деградованих земель, встановлення кількісних та якісних характеристик земель, необхідних для ведення Державного земельного кадастру, виправлення помилок у кадастрі та контроль за використанням земель.

Якщо під час інвентаризації земель державної або комунальної власності виявляються ділянки, що не віднесені до жодної категорії, органи влади здійснюють їх віднесення до відповідної категорії на підставі погодженої документації із землеустрою. Порядок інвентаризації земель визначається Кабінетом Міністрів України.

Стаття 67 регулює фінансування землеустрою, яке може здійснюватися з Державного бюджету України для земель державної власності та державної інвентаризації.

До складу проєктів землеустрою щодо відведення земель включається інформація про обмеження у використанні для ділянок природно-заповідного, історико-культурного, рекреаційного значення, земель з об'єктами культурної спадщини тощо. Ця інформація надається уповноваженими органами в електронній формі у встановлений строк, без додаткових вимог до матеріалів чи документів, що не передбачені статтями 50 та 57 Закону України "Про землеустрій".

Так, до складу проєктів землеустрою з відведення земельної ділянки і технічної документації із землеустрою щодо інвентаризації земель включають:

- для земель природно-заповідного і природоохоронного призначення – інформацію про обмеження у використанні земель, дотримання режиму охорони та вимоги природоохоронного законодавства. Цю інформацію надає орган виконавчої влади

Автономної Республіки Крим, обласна, Київська чи Севастопольська державна адміністрація у сфері охорони навколишнього середовища, з обов'язковим посиланням на закони, нормативні акти, та відповідні проекти природно-заповідного фонду або екологічні програми;

- для земель на території об'єктів культурної спадщини (всесвітньої спадщини, буферних зон, заповідників, історичних ареалів, зон охорони пам'яток) – інформацію про наявність об'єктів культурної спадщини та обмеження у використанні земель. Її надає центральний орган виконавчої влади у сфері охорони культурної спадщини. Для об'єктів місцевого значення – відповідні органи охорони культурної спадщини.

Ці положення забезпечують врахування екологічних та історико-культурних вимог при плануванні землекористування.

Закон України «Про Державний земельний кадастр» регулює правові, економічні та організаційні аспекти функціонування Державного земельного кадастру. Зокрема, стаття 21 ("Підстави та основні вимоги щодо внесення відомостей до Державного земельного кадастру") визначає, що дані про межі земельних ділянок вносяться до кадастру на підставі технічної документації із землеустрою, підготовленої за результатами інвентаризації земель [8].

Ключовим документом для проведення інвентаризації є Постанова Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 року № 476 "Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель", яка встановлює вимоги щодо організації інвентаризації земель та оформлення технічної документації за її результатами [10].

5.2. Поняття, класифікація та охорона об'єктів культурної спадщини

Історико-культурна спадщина відіграє ключову роль у формуванні ідентичності та збереженні культурних надбань спільноти. Вона сприяє усвідомленню зв'язку з минулим і забезпечує почуття історичної безперервності. Як невід'ємна частина культурного різноманіття та багатства, культурна спадщина потребує особливого захисту для збереження нашої історії, ідентичності та спадковості [49].

Збереження культурної спадщини є важливим аспектом розвитку будь-якої країни. Україна має значний потенціал у вигляді численних

пам'яток історії, архітектури та культури. Проте цей процес супроводжується труднощами, такими як недостатнє фінансування, недосконале державне управління у сфері охорони культурної спадщини, складна структура відповідальних органів та їх підпорядкування різним міністерствам і рівням влади.

Водночас в Україні спостерігаються позитивні зміни у ставленні суспільства до необхідності охорони культурної спадщини. Попри це, основні проблеми залишаються: неналежний стан пам'яток та низький рівень контролю за дотриманням пам'яткоохоронного законодавства.

Культурна спадщина є відображенням цінностей суспільства і може розглядатися як втілення його орієнтирів та прагнень, що формують як окрему людину, так і суспільство в цілому.

У 1972 році ООН прийняла Рекомендації щодо охорони культурної та природної спадщини на національному рівні, де до культурної спадщини віднесено пам'ятки, ансамблі та визначні місця [18, с. 32—41].

Згідно із Законом України "Про охорону культурної спадщини", культурна спадщина – це сукупність об'єктів, успадкованих від попередніх поколінь, які мають історичну, наукову чи культурну цінність [23]. Об'єкти культурної спадщини охоплюють визначні місця, споруди, комплекси, території, водні об'єкти та інші створені або природно-антропогенні об'єкти. Їх перелік може розширюватися залежно від розвитку культури та специфіки регіону.

Закон України "Про охорону культурної спадщини" регулює правові, організаційні, соціальні та економічні аспекти збереження і використання культурної спадщини. Він забезпечує захист традиційного середовища в інтересах теперішнього та майбутніх поколінь. У статті 1 цього Закону визначено, що культурна спадщина охоплює об'єкти, які мають археологічну, естетичну, історичну, архітектурну, мистецьку чи наукову цінність і зберегли свою автентичність [23].

Класифікація об'єктів культурної спадщини, згідно зі статтею 2 [23], поділяється за типами цих об'єктів наступним чином:

1. Споруди (витвори):

- архітектурні та інженерні твори,
- монументальна скульптура й живопис,
- археологічні об'єкти,

- печери з ознаками життєдіяльності людини,
- будівлі або приміщення з автентичними свідченнями про історичні події чи видатних осіб.

2. Комплекси (ансамблі): топографічно визначені сукупності об'єктів культурної спадщини.

3. Визначні місця: зони, ландшафти або природно-антропогенні витвори, що мають цінність з точки зору археології, історії, мистецтва, науки чи культури.

На сьогоднішній день існують наступні види об'єктів культурної спадщини:

1. Археологічні – нерухомі об'єкти (городища, кургани, стоянки, залишки стародавніх поселень, укріплення, печери, наскельні зображення, поля давніх битв тощо), а також пов'язані з ними рухомі предмети, що є джерелом інформації про розвиток цивілізації.

2. Історичні – будівлі, споруди, комплекси, місця бойових дій, поховання, об'єкти, визначні місця, пов'язані з видатними подіями або особами.

3. Об'єкти монументального мистецтва – твори образотворчого мистецтва, пов'язані або не пов'язані з архітектурними чи археологічними пам'ятками.

4. Об'єкти архітектури – будівлі або споруди, що зберегли автентичний стан і відображають певні епохи, стилі чи традиції, будівельні технології або є творами відомих авторів.

5. Об'єкти містобудування – історичні центри населених пунктів, квартали, вулиці, площі зі збереженою історичною забудовою і ландшафтами, та є носіями певних історичних містобудівних ідей.

6. Об'єкти садово-паркового мистецтва – парки, поєднані з природними або створеними людиною ландшафтами.

7. Ландшафтні об'єкти – природні території з історичною цінністю.

8. Об'єкти науки і техніки – промислові, виробничі, інженерні споруди, інженерно-транспортні об'єкти, які демонструють рівень науково-технічного розвитку та промислових галузей певної епохи.

Внесення певного об'єкта культурної спадщини до Реєстру відбувається відповідно до категорії пам'ятки (стаття 14):

- пам'ятки національного значення;
- пам'ятки місцевого значення.

Цей процес забезпечує систематизацію та збереження об'єктів, які є важливою складовою культурної спадщини України.

Згідно з Порядком визначення категорій пам'яток, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 22 травня 2019 року № 452, об'єкти культурної спадщини, які пропонуються для внесення до Реєстру за категорією національного значення, повинні зберігати автентичність. Це означає, що пам'ятка має значною мірою зберегти свою форму, матеріально-технічну структуру та історичні культурні нашарування. Крім того, вона повинна відповідати одній або кільком з наступних характеристик:

- мати значний вплив на розвиток культури країни;
- бути безпосередньо пов'язаною з історичними подіями, віруваннями або життям і діяльністю осіб, які зробили вагомий внесок у розвиток національної культури;
- представляти шедевр творчого генія, бути знаковим твором видатних архітекторів чи митців;
- належати до зниклої цивілізації або мистецького стилю.

Щодо охорони пам'яток, закон забороняє зносити, змінювати, замінювати або переміщувати пам'ятки, їх частини, пов'язане з ними рухоме чи нерухоме майно. Усі заходи з вивчення, фіксації чи переміщення пам'яток здійснюються за кошти замовника робіт, які спричинили таку потребу. Якщо переміщення викликане непереборною силою, фінансування забезпечується за рахунок Державного бюджету України.

Власники пам'яток, щойно виявлених об'єктів культурної спадщини чи їх частин (або уповноважені ними особи), незалежно від форми власності, зобов'язані укласти з відповідним органом охорони культурної спадщини охоронний договір. Його форма та порядок укладання затверджуються Кабінетом Міністрів України. Відсутність договору не звільняє від обов'язків щодо охорони пам'ятки.

Власник або користувач зобов'язані утримувати пам'ятку в належному стані, проводити своєчасний ремонт, захищати її від пошкоджень чи руйнувань згідно з законом та охоронним договором.

Використання пам'ятки має відбуватися у спосіб, що мінімізує втручання, зберігаючи її матеріальну автентичність, просторову композицію та декоративні елементи. Режим використання визначається на основі науково-проектної документації.

Будь-які роботи з консервації, реставрації, реабілітації, музеєфікації, ремонту чи пристосування пам'яток національного значення дозволяються лише за письмовим погодженням з центральним органом виконавчої влади, відповідальним за політику у сфері охорони культурної спадщини, та на основі затвердженої науково-проектної документації.

Роботи із збереження об'єктів культурної спадщини здійснюються відповідно до реставраційних норм і правил, погоджених центральним органом виконавчої влади, що формує державну політику у сфері охорони культурної спадщини. Будівельні норми щодо робіт із збереження об'єкта культурної спадщини застосовуються лише у випадках, коли вони не суперечать вимогам збереження пам'ятки.

У разі загрози пошкодження, руйнування чи знищення пам'ятки, її власник, користувач або особа, що має право володіння чи управління, зобов'язані вжити заходів для приведення пам'ятки у належний стан. Це може включати зміну виду або способу її використання, а також виконання робіт із консервації, реставрації, реабілітації, музеєфікації, ремонту чи пристосування.

Органи місцевого самоврядування, на території яких не створено органів охорони культурної спадщини, повинні заборонити будь-яку діяльність, що загрожує пам'ятці, та негайно інформувати відповідний орган охорони культурної спадщини.

Території чи водні об'єкти, де є або можуть бути об'єкти культурної спадщини, можуть бути оголошені охоронюваними археологічними територіями на обмежений або необмежений строк. Це рішення ухвалюється центральним органом виконавчої влади на підставі подання органу охорони культурної спадщини, згідно з порядком, встановленим Кабінетом Міністрів України.

Правовий режим таких територій визначається науково-проектною документацією, яка встановлює межі й режими їх використання.

Затвердження документації здійснює центральний орган виконавчої влади, що відповідає за охорону культурної спадщини.

Для захисту пам'яток, історико-культурних заповідників та об'єктів всесвітньої спадщини визначаються зони охорони (охоронні зони, зони регулювання забудови, ландшафтні зони, зони археологічного культурного шару) та буферні зони. Їх межі та режими використання визначаються за результатами досліджень і затверджуються науково-проектною документацією.

Законом затверджено наступні межі зон охорони [23]:

- у межах населених пунктів – 100 метрів від межі території пам'ятки чи історико-культурного заповідника;
- за межами населених пунктів – 300 метрів від тих самих меж.

В межах зон охорони об'єктів культурної спадщини діють наступні обмеження:

1. Заборонено нове будівництво ближче, ніж подвійна сума висоти пам'ятки та запланованої будівлі.

2. Заборонено будівельні роботи, якщо вони:

- збільшують висоту об'єкта будівництва;
- розширюють фундамент об'єкта будівництва більш ніж на 15%;
- зменшують відстань до пам'ятки, що охороняється менше ніж на подвійну суму висоти пам'ятки та об'єкта будівництва (крім пам'яток археології).

Порушенням не вважається використання території в межах зони охорони, якщо будівельні роботи відповідають вимогам законодавства та спрямовані на:

- облаштування засобів безперешкодного доступу до будівель і споруд для забезпечення доступності та безпеки для осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення;
- термомодернізацію будівель і споруд.

В межах зон охорони історико-культурних заповідників діють такі обмеження:

- забороняється нове будівництво, а також будівельні роботи на існуючих об'єктах, якщо це призводить до збільшення їх висоти, розширення фундаменту більш ніж на 15%, або зменшення відстані до пам'ятки понад граничний рівень (подвійна сума висоти пам'ятки та висоти об'єкта);

- розміщення тимчасових споруд для проведення підприємницької діяльності, пов'язаних фундаментом із землею, що охороняється, або розміщення нових елементів благоустрою (крім зовнішньої реклами, розташованої згідно з правилами органів місцевого самоврядування, з урахуванням зонування території).

Для забезпечення збереження видатної універсальної цінності об'єктів всесвітньої спадщини встановлюються буферні зони. Їх межі та режими використання визначаються науково-проектною документацією, підготовленою на основі спеціально проведених досліджень.

Затвердження меж і режимів використання буферної зони здійснюється центральним органом виконавчої влади, що відповідає за державну політику у сфері охорони культурної спадщини. Інформація про це у встановленому порядку надається Комітету всесвітньої спадщини ЮНЕСКО.

Комплекс (ансамбль) пам'яток, що має культурну, історичну та наукову цінність і виділений у структурі населеного пункту чи локалізований поза його межами, може бути оголошений історико-культурним заповідником державного або місцевого значення.

Заповідником державного значення оголошується комплекс, що має особливу культурну, історичну або наукову цінність та вносить значний вплив на розвиток культури, архітектури чи містобудування, або безпосередньо пов'язаний із видатними історичними подіями.

Статус місцевого значення надається комплексам, які відображають характерні риси історії, культури чи архітектури конкретного регіону або населеного пункту.

Історико-культурна заповідна територія – це історично сформована територія, де збереглася значна кількість об'єктів культурної спадщини. Її оголошення не передбачає вилучення пам'яток, земельних ділянок або інших об'єктів у власників чи користувачів.

Залежно від переважаючого виду об'єктів культурної спадщини, історико-культурні заповідники або заповідні території можуть мати статус: історико-архітектурних, архітектурно-історичних, історико-меморіальних, історико-археологічних або історико-етнографічних.

У межах історико-культурного заповідника та заповідної території забороняється будь-яка діяльність, яка чинить або може чинити

негативний вплив на стан збереження об'єктів культурної спадщини, їхній охоронний режим і правила використання.

Будь-які містобудівні, архітектурні, ландшафтні зміни, а також будівельні, меліоративні, шляхові чи земляні роботи, проведення масових або видовищних заходів допускаються виключно:

- за погодженням з органом управління заповідника – для територій історико-культурного заповідника;
- за погодженням з центральним органом виконавчої влади, відповідальним за охорону культурної спадщини, на підставі висновків відповідного органу контролю – для заповідних територій.

Межі, обсяги, строки виконання робіт (консервація, реставрація, музеєфікація, ремонт тощо), а також заходи з благоустрою та збереження традиційного середовища визначаються в планах організації історико-культурних територій.

Відомості про межі та режими використання територій заповідників і заповідних територій вносяться до Державного земельного та містобудівного кадастрів як обмеження на використання земель.

Встановлення зон охорони або затвердження меж історичних ареалів населених пунктів не є підставою для примусового вилучення земельних ділянок, якщо землевласники дотримуються встановлених правил використання.

Зміна цільового чи функціонального призначення територій, на яких розташовані об'єкти культурної спадщини, не скасовує раніше встановлені обмеження на їх використання.

Об'єкти всесвітньої спадщини, розташовані на території України, підлягають особливій охороні. Основними завданнями державної політики у сфері їх захисту є:

- 1) забезпечення ідентифікації, номінації, охорони, популяризації та передачі майбутнім поколінням об'єктів всесвітньої спадщини, а також надання допомоги іншим державам-учасницям Конвенції у виконанні її положень за їхнім запитом;
- 2) інтеграція питань охорони об'єктів всесвітньої спадщини у програми соціально-економічного розвитку країни;
- 3) проведення систематичного моніторингу стану збереження цих об'єктів;

4) забезпечення відповідності міжнародним стандартам у сфері охорони об'єктів всесвітньої спадщини з урахуванням національних традицій і світового досвіду;

5) участь у міжнародному співробітництві та підтримці інших держав-учасниць Конвенції в їхніх зусиллях щодо збереження об'єктів, які мають видатну універсальну цінність.

Виконання цих завдань покладається на центральні органи виконавчої влади, що формують і реалізують державну політику у сфері охорони культурної спадщини.

Згідно зі статтею 38, заходи щодо охорони культурної спадщини фінансуються з коштів загального і спеціального фондів Державного бюджету України, бюджету Автономної Республіки Крим і місцевих бюджетів.

Додатковими джерелами фінансування можуть бути:

- кошти власників пам'яток або уповноважених осіб, які здійснюють управління, володіння чи користування пам'ятками;
- кошти замовників робіт;
- благодійні внески та пожертвування, включаючи валютні, призначені для охорони культурної спадщини;
- інші джерела, дозволені чинним законодавством.

5.3. Міжнародний досвід інвентаризації та обліку об'єктів культурної спадщини

Захист культурної спадщини, особливо нематеріальної, стає дедалі актуальнішим на міжнародному рівні. У світі зростає кількість міжнародних правових механізмів та політичних ініціатив, спрямованих на її збереження.

Якщо режим охорони матеріальної культурної спадщини не охоплює форми спадщини, які не вважаються вартими збереження лише через їх зовнішній вигляд, то міжнародний режим охорони нематеріальної спадщини повинен взяти на себе завдання її збереження.

Традиційно захист культурної спадщини в міжнародному праві здійснювався з огляду на цілі держави, яка виступала як охоронець інтересів свого населення, як нинішнього, так і майбутнього.

Охорона культурної спадщини має дві основні причини. По-перше, спадщина є невід'ємною частиною спільного минулого людства та основою культурної ідентичності. По-друге, вона часто має високу художню цінність, що збагачує життя людей. Ці фактори виправдовують зусилля з її захисту. Водночас, особливо у випадку нематеріальної спадщини, її цінність залежить від ставлення людей, а не від самої сутності спадщини. Вона формується через значення, які сучасне суспільство надає матеріальним артефактам або культурним практикам. Винятком може бути естетична цінність. Для нематеріальної спадщини, яка переважно репрезентує культуру, а не її естетичну привабливість, це особливо актуально.

Оскільки спадщина не має внутрішньої цінності, її збереження потребує пошуку інших підстав для охорони. Однією з найважливіших причин є збереження культурної ідентичності. У цьому контексті спадщина виступає як матеріальне втілення нематеріальної концепції ідентичності, стаючи засобом її підтримки та просування.

Безпека культурної спадщини, особливо у транскордонному контексті, залежить від обліково-аналітичних чинників, які забезпечують належне збереження та моніторинг її стану. Це має велике значення у польсько-українському співробітництві, де історичні події спричинили руйнування значної частини культурної спадщини. Однак проблеми у цій сфері часто пов'язані з недостатністю теоретичних та методологічних досліджень, а також із недосконалістю нормативно-правової бази, зокрема в Україні.

Обліково-аналітичне забезпечення відіграє важливу роль у формуванні ефективної економічної та правової основи для сприйняття, оцінки та обліку об'єктів культурної спадщини. Процеси обліку, аналізу та моніторингу мають бути організовані так, щоб охоплювати всі цінні культурні та історичні пам'ятки з метою їх збереження.

Особлива актуальність цієї теми проявляється у польсько-українських відносинах. Спільна історія обох країн зазнала впливу різноманітних політичних та економічних факторів, що призвело до руйнування й втрати багатьох об'єктів культурної спадщини по обидва боки сучасного кордону. Тому транскордонне співробітництво Польщі та України у сфері збереження культурної спадщини є пріоритетним

напрямом, що акумулює значний інтелектуальний потенціал обох народів.

Обліково-аналітичні проблеми у сфері безпеки культурної спадщини обумовлені як недостатністю теоретичних і методологічних досліджень, так і недосконалістю правового регулювання. У Польщі ця система є більш розвиненою, що дає можливість обміну досвідом.

Україна вирізняється багатогранністю об'єктів культурної спадщини: нерухомі пам'ятки, музейні та архівні цінності, зразки народного мистецтва, предмети колекціонування. Проте існує потреба в деталізації підходів до обліково-аналітичного забезпечення, яке б сприяло формуванню системи економічної безпеки збереження цієї спадщини.

Важливою обставиною, яка вимагає посилення досліджень, спрямованих на забезпечення збереження пам'яток української історії та культури, є російська воєнна агресія і варварське знищення українських цінностей росією.

Основними напрямками діяльності для вирішення зазначених проблем є:

1. **Стандартизація класифікаційних параметрів** для об'єктів культурної спадщини прикордонних регіонів з урахуванням національних особливостей та місцевих традицій. Для цього необхідно створити реєстри об'єктів за кваліфікаційними групами, що охоплюватимуть як матеріальні, так і нематеріальні цінності, а також видатних постатей української ідентичності, пов'язаних із цими територіями.

2. **Розробка методології об'єктивної оцінки** об'єктів культурної спадщини, яка відображатиме їхню реальну цінність з огляду на перспективу світового культурного прогресу. Така методика може стати основою для створення окремого стандарту обліку культурно-історичних об'єктів.

3. Прийнявши до уваги Постанову Верховної Ради України "Держава, проблеми та перспективи охорони культурної спадщини в Україні" від 14.05.2019, є потреба у більш конкретних заходах щодо формування системи безпеки охорони культурної спадщини у прикордонній зоні. Вирішення цих проблем передбачає врахування

практичного досвіду країн-сусідів, а також ініціатив щодо збереження та захисту спільної культурно-історичної спадщини на прикордонних територіях.

Загальновизнаним фактом є нагальна необхідність суттєвого збільшення фінансування для інвестицій у міську інфраструктуру. Як свідчить міжнародний досвід, монетизація державних земельних активів може забезпечити значну частину необхідних ресурсів. Наприклад, 13-та Фінансова комісія Індії наголосила на важливості ефективного використання земель, що належать центральним, регіональним і місцевим органам влади, а також підприємствам державного сектору. Комітет з фіскальної консолідації підкреслив значний потенціал у використанні недостатньо задіяних земельних ділянок, що належать державним підприємствам, портам, залізницям тощо. Для реалізації цього потенціалу було рекомендовано розглядати монетизацію земель як частину дезінвестиційної стратегії та створити групу для розробки політичної основи й інституційної підтримки.

Експертний комітет з питань електроенергетики (НРЕС) також визнав, що монетизація недовикористовуваних державних земель є перспективним джерелом фінансування. Комітет закликав до розумного й прозорого використання цього ресурсу та запропонував кілька кроків для впровадження механізму продажу земель з метою фінансування міської інфраструктури:

- провести загальноміську інвентаризацію земельних активів для визначення основних і неосновних ділянок та планування їх оптимального використання у рамках комплексного міського розвитку;
- запровадити прозорий і підзвітний механізм продажу державних земель;
- використовувати надходження від продажу земель виключно для фінансування капітальних проєктів та забезпечення житлом соціально вразливих груп населення шляхом створення "Фонду земельного капіталу", з чітко визначеними прозорими операційними механізмами;
- розробити механізм розподілу доходів між органами, що володіють земельними активами, та інфраструктурними агентствами.

Культурні ландшафти, як спільний витвір природи і людини, є відображенням еволюції людського суспільства під впливом природних,

соціальних, економічних і культурних чинників. Вони ілюструють взаємодію людини з середовищем у різні епохи. Зокрема, історичні ландшафтні структури становлять особливий тип культурного ландшафту, де сліди минулої діяльності людини надають територіям унікальних ознак. Ці сліди можуть бути як очевидними, формуючи вигляд ландшафту, так і прихованими, але вони зберігають цінну інформацію про способи життя попередніх поколінь, яку можна відновити через дослідження їхньої структури (ЮНЕСКО, 2008; Hudecová, 2006).

Європейська ландшафтна конвенція (2000) стимулювала розвиток інвентаризації ландшафтів для оцінки їхнього стану та впровадження систем моніторингу, що дозволяють відстежувати й управляти змінами. У деяких країнах Європи такі практики існували раніше, однак вони здебільшого зосереджувалися на впливі змін ґрунтового покриття на біорізноманіття [60, 61, 62, 63]. Сьогодні в багатьох державах активно розробляються нові класифікації ландшафтів, а картографування їхніх характеристик вважається ключовою основою для проведення оцінки [64, 65].

Виділено кілька методів та підходів до опису ландшафтів:

1. Фізико-географічний підхід.
2. Історичний підхід до ландшафту.
3. Екологічний підхід до ландшафту.
4. Підхід, орієнтований на сприйняття та естетику ландшафту [58]

Класифікація історичних ландшафтних структур залишається складним завданням. Хуба М., Кубішова К. [59] виділяють такі підходи до їх аналізу :

- традиційний підхід – охорона пам'яток та історичних місць, включаючи історичні зони;
- хронологічний підхід – аналіз античних, середньовічних та сучасних споруд;
- поселенсько-географічний підхід – оцінка сільських, міських та змішаних ландшафтів;
- геоекологічний підхід – класифікація за природними умовами (гірські, рівнинні ландшафти, кліматичні й геоботанічні одиниці);

- функціональний підхід – поділ за секторами економіки (сільське господарство, лісозаготівля, гірничодобувна промисловість, водне господарство тощо);

- адміністративно-територіальний підхід – класифікація за державним устроєм;

- геометричний підхід – аналіз окремих пам’яток, лінійних структур (торгові шляхи, алеї) і ділянок (історичні міські центри, парки).

Історико-культурні сільськогосподарські ландшафти (HSAL) відіграють важливу роль у збереженні біорізноманіття, особливо в Словаччині. Вони представлені мозаїкою орних полів, луків, виноградників і садів, що виникли завдяки тривалій взаємодії людини з природою. HSAL мають екологічну, культурну й виробничу цінність, але їх поступово маргіналізують через сучасні тенденції суспільства, що знижує їхню продуктивну функцію [66].

У сучасній практиці інвентаризації природних і господарських об’єктів активно застосовуються фотограмметричні методи і технології й інструменти, такі як безпілотні літаючі апарати і лазерні сканери, за допомогою яких створюються 3D-моделі об’єктів культурної спадщини. Ці підходи забезпечують отримання точних хмар точок сканованих об’єктів, які надалі використовуються для детального аналізу стану будівель, їх відновлення в разі пошкодження та інтеграції нових споруд в існуючі архітектурні ансамблі. Використання 3D-моделей значно розширює можливості архітектурної фотограмметрії, а через неї сприяє охороні спадщини та розвитку туризму.

РОЗДІЛ 6. НАУКОВІ ЗАСАДИ І МЕТОДИКА ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК З ОБ'ЄКТАМИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

6.1. Оцінка стану земельних ділянок з об'єктами культурної спадщини

На створення системи сталого просторового розвитку впливають численні фактори, що взаємопов'язані між собою: економічні, соціальні, політичні, правові, людські та культурні. Важливим інструментом охорони нерухомої культурної спадщини є спеціальні документи територіального планування, які допомагають забезпечувати дотримання критеріїв максимального її збереження.

Беззаперечним є те, що збереження нерухомої культурної спадщини є невід'ємною складовою сталого просторового розвитку. Її підтримка, ефективне використання та управління сприяють розвитку туризму, освіти, залученню інвестицій і підвищенню потенціалу територій. Розумне управління культурною спадщиною приносить користь усім учасникам ринку – від інвесторів до споживачів.

Система охорони культурної спадщини сьогодні залишається централізованою та експертною. Держава (частково громади) є єдиним суб'єктом, який:

- відповідає за збереження спадщини;
- фінансує та організовує розробку й виконання спеціальних планів;
- контролює відповідність та виконання цих документів;
- притягує до відповідальності за неналежне збереження культурної спадщини, попри те, що багато об'єктів перебувають у приватній власності.

На практиці, держава часто виконує лише наглядові та контрольні функції, тоді як управлінням об'єктів займаються приватні інвестори. Проблеми посилює нестача сертифікованих фахівців у цій галузі.

Оцінка нерухомої культурної спадщини охоплює опис значення об'єктів, їх властивостей, стану, а також меж відповідних територій. Цей процес є критично важливим для ефективного управління та збереження ресурсів.

Перший етап оцінки стосується земельних ділянок. Аналізується якість ґрунтів, природні умови, доступність інфраструктури, що впливають на використання та цінність земель.

Другий етап зосереджується на об'єктах культурної спадщини, із врахуванням їх історичної цінності, стану збереження, зовнішніх впливів та потенціалу реставрації.

Завершальний етап інтегрує отримані результати, формуючи загальну картину стану об'єктів культурної спадщини і земельних ресурсів, а також визначаючи пріоритети їхнього розвитку та управління.

Оцінка об'єктів культурної спадщини може знадобитися з різних причин: купівлі-продажу, оренди, інвестування, забезпечення позик, оподаткування, фінансової звітності, страхування, фінансування чи примусового викупу. Незалежно від мети, така оцінка враховує загальні ринкові фактори, властиві всьому сектору нерухомості (наприклад, розташування, співвідношення попиту й пропозиції, економічні й політичні впливи, соціальні запити, фізичне середовище тощо). Водночас оцінювання об'єктів культурної спадщини має свої особливості, пов'язані з їх історико-культурним значенням, а також законодавчими та планувальними обмеженнями, які впливають на визначення їхньої вартості.

Достовірна оцінка об'єктів культурної спадщини потребує розуміння їхніх архітектурних, історичних характеристик і правових умов використання. Важливими етапами є збирання та аналіз порівняльних даних, а також об'єктивний розгляд фізичних і правових чинників, які впливають на їх використання. Оцінювач має уникати упереджень, необґрунтованих припущень чи суб'єктивних суджень щодо об'єкта чи середовища його існування.

Хоча багато аспектів оцінки, наприклад, вплив розташування та місцевих ринкових умов, можуть бути оцінені точно, при цьому визначення впливу статусу пам'ятки на вартість є складнішим. Для формування обґрунтованого висновку про ринкову вартість об'єкта необхідно враховувати не лише стандартні чинники, але й менше відчутні аспекти, такі як культурне значення спадщини.

Будь-який вплив статусу пам'ятки або розташування в межах заповідної території на вартість має оцінюватися в контексті інших

ринкових чинників: місця розташування, оточення, естетики, можливості альтернативного використання та зобов'язань щодо утримання об'єкта. При цьому законодавчі й планувальні обмеження можуть звужувати варіанти використання історичної нерухомості, що впливає на її економічний потенціал.

Наприклад, найефективніше використання об'єкта може бути обмежено лише одним дозволеним варіантом, або ж виникне невідповідність між розміром ділянки й обсягом поліпшень. Крім того, збереження автентичності історичної будівлі чи її окремих частин може зумовлювати функціональну застарілість. При цьому слід враховувати можливість компенсації додаткових витрат на утримання за рахунок пільг чи дотацій, щоб уникнути штучного знецінення об'єкта.

Обмеження альтернативного використання також впливають на вибір методу оцінки. Ринкову вартість можна визначити, якщо об'єкт є типовим прикладом фоновієї забудови, що не потребує значних коригувань для порівняння з аналогами. Інвестиційна вартість може бути застосована, якщо витрати на відновлення чи реконструкцію відповідають економічній доцільності та забезпечують подальшу експлуатацію об'єкта відповідно до охоронних зобов'язань.

Оцінка нерухомості, яка має історичну цінність, може передбачати ситуації, коли визначена вартість буде:

- не ринковою, через відсутність ринкових аналогів і неможливість коректного врахування зобов'язань;

- не інвестиційною, оскільки ці зобов'язання стосуються самого об'єкта, а не окремого суб'єкта, і поширюються на всіх учасників ринку.

У таких випадках ціну угоди, ймовірно, визначатиме справедлива вартість, яка влаштовує конкретного покупця й продавця.

Оцінка нерухомості, що має історичну цінність, залежно від її типу та цілей, має враховувати витрати на відновлення й обслуговування. Ці витрати можуть бути значними й суттєво впливати на вартість. Найчастіше оцінювання спирається на результати спеціальних досліджень, які враховують:

- особливості застарілих методів будівництва та матеріалів;
- ефективність і функціональність об'єктів у порівнянні з сучасними еквівалентами;

- доцільність обраних заходів з ремонту, реставрації, відновлення чи реабілітації.

Якщо оцінка здійснюється в контексті капітального ремонту, реконструкції чи зміни об'єкта, ключовим елементом є інформація про витрати на виконання цих робіт. Важливо також враховувати попередні ремонтні або реставраційні роботи, особливо якщо вони були виконані з використанням невідповідних матеріалів чи технологій, що могли спричинити пошкодження конструкції або втрату автентичності. Для виправлення таких недоліків можуть знадобитися додаткові витрати, без яких об'єкт ризикує втратити статус пам'ятки.

Витрати на ремонт чи реставрацію слід розглядати в контексті майбутньої вартості об'єкта. Існує ймовірність, що ця вартість виявиться нижчою за витрати на відновлення, що створює так званий «дефіцит збереження». Подолати цей дефіцит можна за рахунок субсидій, грантів чи позик, або шляхом отримання податкових пільг, які компенсують історичні зобов'язання й стимулюють ринковий попит на об'єкти культурної спадщини.

6.2. Геоінформаційні системи в інвентаризації об'єктів культурної спадщини

Сучасні технології, зокрема геоінформаційні системи (ГІС), мають значний потенціал для інвентаризації земель культурної спадщини. ГІС є потужним інструментом для збору, аналізу та візуалізації геопросторової інформації, що робить їх незамінними у процесах обліку та збереження культурних цінностей.

Геоінформаційні системи дозволяють створювати цифрові карти, які точно відображають розташування об'єктів культурної спадщини. Це сприяє чіткому визначенню їх меж, веденню обліку стану та моніторингу територій. Завдяки такому підходу можна оперативно реагувати на зміни чи порушення, тим самим забезпечуючи належний контроль їх стану і рівня збереження.

Крім того, ГІС дозволяють аналізувати вплив різних факторів на об'єкти культурної спадщини (природних, антропогенних тощо). Це сприяє розробці стратегій збереження та відновлення з урахуванням потенційних ризиків.

Використання ГІС також полегшує співпрацю між державними установами, органами місцевого самоврядування, бізнесом і громадськістю. Це створює платформу для обміну даними та спільної розробки ефективних рішень для збереження культурних об'єктів.

Особливої уваги заслуговує використання ГІС для відновлення історичних меж об'єктів культурної спадщини. Такий підхід допомагає візуалізувати минулу ситуацію за сучасними матеріалами та архівними картографічними джерелами. Ця практика набуває популярності, а численні наукові дослідження присвячуються використанню ГІС для моніторингу змін у ландшафтах, гідрографічних об'єктах, лісовому покриві та дорожній мережі [39-40].

Наприклад, у місті Рівне було створено інтерактивну історичну ГІС-карту, яка дозволяє порівнювати сучасні межі об'єктів із їхнім історичним розташуванням. Використання архівних матеріалів у поєднанні з ГІС відкриває нові можливості для збереження культурної спадщини та її інтеграції в сучасний простір.

Таким чином, впровадження ГІС у процес інвентаризації та моніторингу земель культурної спадщини є важливим кроком уперед, що дозволяє ефективно управляти цими цінними об'єктами, зберігаючи їх для майбутніх поколінь.

Для виконання завдань інвентаризації земельних ділянок із об'єктами культурної спадщини за допомогою геоінформаційних систем необхідне високоякісне програмне забезпечення. На ринку програм для опрацювання супутникових зображень представлено широкий спектр продуктів від різних виробників. Серед найпопулярніших та найпотужніших для аналізу даних дистанційного зондування виділяються два програмні продукти: Erdas Imagine та ENVI, які оснащені модулями для роботи з космічними радіолокаційними зображеннями, такими як SARscape Basic і SARscape InSAR.

Крім того, активно використовуються інші ГІС-пакети, серед яких: ArcGIS, ArcView зі спеціалізованими модулями для геопросторового аналізу, 3D-моделювання та просторового аналізу, MicroStation, INPHO, IDRISI, PCI Geomatica, MapInfo. Важливою альтернативою є безкоштовні програми з відкритим вихідним кодом, такі як gVSIG, GRASS, QGIS та інші.

Одним із ключових завдань застосування геоінформаційних систем у процесі інвентаризації культурної спадщини є створення бази даних земельних ділянок, які відносяться до об'єктів історико-культурного значення. При цьому структура процесу інвентаризації представлена на рис. 2.1.

Як видно з рис. 52, важливим етапом у процесі інвентаризації земель є проведення аерофотознімання, яке забезпечує створення якісної картографічної основи для геоінформаційної системи. На наступному етапі до бази даних ГІС вносяться відомості про межі земельних ділянок, що належать до об'єктів культурної спадщини, а також інформація про їх правовий статус, цільове призначення та інші характеристики.



Рисунок 52. Складові частини процесу інвентаризації земель [50]

Водночас, серед об'єктів культурної спадщини є такі, що перебувають у напівзруйнованому або критичному стані і для них необхідно забезпечити належний моніторинг та спостереження за деформаціями. Найефективнішим підходом у цьому випадку є застосування безпілотних літаючих апаратів (БПЛА). При цьому політ БПЛА може виконуватись під дистанційним керуванням оператора або повністю автономно, без втручання людини.

Використання технологій БПЛА-знімання дозволяє вирішувати низку важливих завдань, серед яких: створення геоінформаційної системи для об'єктів культурної спадщини, проведення зйомки цих об'єктів [48].

РОЗДІЛ 7. ОСОБЛИВОСТІ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК З ОБ'ЄКТАМИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ (НА ПРИКЛАДІ ІСТОРИКО-МЕМОРІАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ “БАБИН ЯР”)

7.1. Історико-меморіальний комплекс “Бабин Яр” як об’єкт історико-культурної спадщини

Один із найзначніших меморіальних комплексів, присвячених збереженню пам’яті про трагедії Другої світової війни та роль українського народу у боротьбі з нацизмом, – це «Бабин Яр». Національний історико-меморіальний заповідник «Бабин Яр» створено для того, щоб передати наступним поколінням історію масових злочинів тоталітарних режимів.

Територія заповідника тісно пов’язана з історією Києва та України. У роки нацистської окупації міста (1941–1943) Бабин Яр став місцем масових страт: тут розстрілювали мирне населення та військовополонених. Основною групою жертв стали євреї, знищені через етнічну належність, а також роми, радянські активісти, підпільники, члени ОУН, заручники й ті, кого звинувачували у саботажі. Найжахливішою сторінкою в історії Бабиного Яру стали розстріли єврейського населення Києва 29–30 вересня 1941 року, коли за два дні стратили 33 771 особу, включно з жінками та дітьми. Надалі розстріли тривали у жовтні 1941 року, забравши ще близько 17 000 життів.

Загальна кількість загиблих у Бабиному Яру, за різними оцінками, становить від 70 до 200 тисяч осіб. На Нюрнберзькому процесі 1946 року називалася цифра близько 100 тисяч, яку підтвердила спеціальна державна комісія.

Попри трагедію, плани щодо встановлення пам’ятника в Бабиному Яру, ухвалені Раднаркомом і ЦК Компартії України у 1945 році, так і не були реалізовані [25]. У 1950-х роках Бабин яр засипали й облаштували парк. Трагічна Куренівська катастрофа 1961 року, викликана проривом дамби, лише посилила спотворення цього місця [26].

У 1970-х роках, неподалік місця страти військовополонених, було встановлено пам’ятник жертвам нацизму. Скульптурна група, створена М. Лисенком, В. Сухенком і О. Вітриком, стала першою спробою

увічнити пам'ять загиблих. Таблички трьома мовами повідомляють про понад 100 тисяч розстріляних тут людей.

Сьогодні Бабин Яр залишається символом трагічної сторінки історії Києва, місцем пам'яті та нагадуванням про жахи війни і злочини проти людяності.

Довгий час єдиним монументальним втіленням трагедії Бабиного Яру залишався встановлений пам'ятник. Ідея створення історико-меморіального заповідника на цій території неодноразово обговорювалася протягом багатьох років.

13 березня 1999 року, за ініціативи президента Єврейської ради України та голови фонду «Пам'ять Бабиного Яру» І.М. Левітаса, Київська міська державна адміністрація створила комісію для вивчення питання. У підсумковому протоколі комісії, зокрема в пункті 3.1, було передбачено розробку історико-містобудівного опорного плану для уточнення місць масових розстрілів і встановлення охоронних меж території Бабиного Яру.

З метою збереження пам'яті про жертви нацистського терору та Голокосту, популяризації знань про трагічні події й організації культурно-освітньої діяльності Кабінет Міністрів України 1 березня 2007 року постановою № 308 "Про Державний історико-меморіальний заповідник «Бабин Яр» оголосив комплекс пам'яток Бабиного Яру Державним історико-меморіальним заповідником. Заповідник було підпорядковано Міністерству культури і туризму України.

24 лютого 2010 року Указом Президента України № 258 заповіднику надано статус Національного з огляду на його міжнародне значення в увічненні пам'яті жертв Бабиного Яру [29].

28 жовтня 2010 року Київська міська рада рішенням № 204/5016 надала заповіднику земельні ділянки загальною площею 28,2 га на вулицях Дорогожицькій, Мельникова, 44 та Олени Теліги у Шевченківському районі міста Києва для забезпечення його функціонування [30].

У 2012 році Національний історико-меморіальний заповідник «Бабин Яр» розробив План організації території, затверджений Наказом Міністерства культури України № 1367 від 23 листопада 2012 року [27]. Також було підготовлено концепцію розвитку заповідника та ескізний

проект Меморіального музею пам'яті жертв Бабиного Яру. Ці матеріали були схвалені на засіданнях науково-методичної ради Міністерства культури України, Архітектурно-містобудівної ради Києва та інших профільних органів. У травні 2012 року було отримано містобудівні умови, а також технічні умови для підключення запланованого комплексу до інженерних мереж міста (рис. 53) [31].

Проект Меморіального комплексу пам'яті жертв Бабиного Яру включає будівництво Меморіального музею, Алеї праведників, Каплиці в пам'ять про розстріляних священнослужителів і киян, Каплиці-музею учасників опору, лапідарію, відтворення частини яру, а також спорудження стіни пам'яті та інших об'єктів.

Розроблений План організації території Національного історико-меморіального заповідника «Бабин Яр» встановлює охоронні зони заповідника, визначає режим використання його території та окреслює зони регулювання забудови.

Пам'ятники на території Заповідника «Бабин Яр»

Пам'ятка національного значення:

«Пам'ятник радянським громадянам та військовополоненим солдатам і офіцерам радянської армії, розстріляним німецькими фашистами у Бабиному Яру».

Пам'ятки місцевого значення:

- Пам'ятний знак «Менора»,
- Пам'ятний знак розстріляним у Бабиному Яру дітям,
- Пам'ятник українським оstarбайтерам та жертвам нацизму,
- Дерев'яний хрест у пам'ять про розстріляних членів ОУН та поетеси О. Теліги,
- Пам'ятний знак жертвам Куренівської трагедії 1961 р,
- Пам'ятник Герою України, Київській підпільниці Т. Маркус,
- Дерев'яний хрест у пам'ять про розстріляних священнослужителів за заклики до захисту Вітчизни від німецьких загарбників,
- Встановлений камінь з написом: «В пам'ять про ромів, розстріляних у Бабиному Яру»,

- Встановлений камінь на ознаку спорудження єврейського центру «Спадщина»,
- Пам'ятні хрести з написом «І на цьому місці вбивали людей в 1941 р. Господи, упокой їх душі»,
- Дорога скорботи (від вул. Юрія Іллєнка до пам'ятного знаку «Менора»).

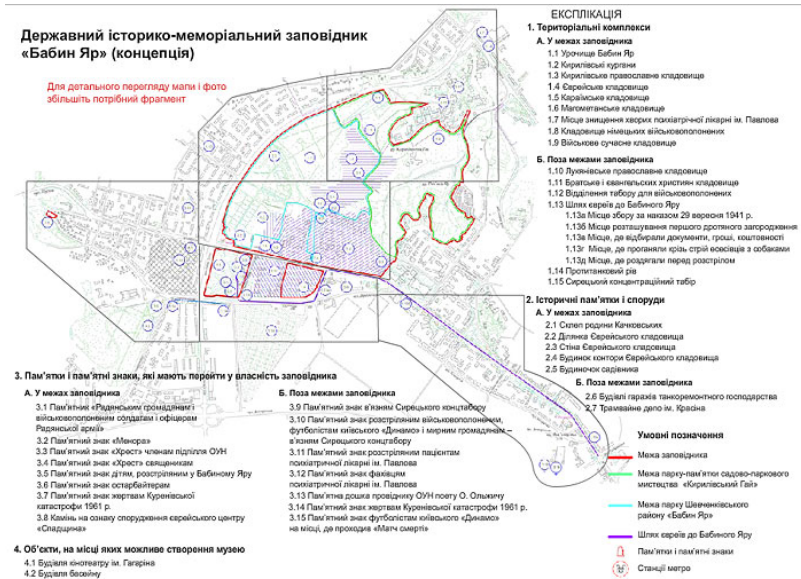


Рис. 53. Розширення меморіального комплексу «Бабин Яр» [31]

Щойно виявлені пам'ятки:

Склеп родини Качковських.

Пам'ятні знаки, які відображають різні сторінки трагедії Бабиного Яру:

- в'язням Сирецького концтабору, встановлений в 90-ті роки на розі вулиць Дорогожицької та Парково-Сирецької,
- київським футболістам – на вул. Грекова, 22-а,
- пацієнтам психіатричної лікарні, розстріляним в 1941–1942рр. – на території Кирилівської лікарні,

- пам'ятний знак початку «Дороги скорботи» на перетині вул. Юрія Іллєнка та Дорогожицької,
- пам'ятник-нагадування про Бабин Яр і його жертви (Пам'ятник знаходиться на перетині вулиць Кирилівської і Петропавлівської на Подолі),
- пам'ятник Олені Телізі на перетині вулиць О. Теліги та Ю. Іллєнка.

Проект розширеного Національного історико-меморіального заповідника «Бабин Яр»

У 2016 році за підтримки канадського мецената українського походження Джеймса Темертея через організацію "Українсько-єврейська зустріч" (UJE) було організовано архітектурний конкурс для створення меморіального парку "Бабин Яр – Дорогожицький некрополь". Згодом ці напрацювання стали основою для Проекту розширеного Національного історико-меморіального заповідника «Бабин Яр», презентованого у лютому 2019 року.

У 2018 році історики Інституту історії України НАНУ представили громадськості проєкт Концепції Меморіального музею пам'яті жертв Бабиного Яру.

У лютому 2019 року українські історики, незгодні з концепцією приватного проєкту Меморіального центру Голокосту «Бабин Яр», запропонованого з російської ініціативи, презентували власний проєкт розширеного Національного історико-меморіального заповідника «Бабин Яр».

У червні 2020 року міністр культури України Олександр Ткаченко заявив, що меморіал у Бабиному Яру буде зведено на основі проєкту Національного історико-меморіального заповідника «Бабин Яр», а не російського проєкту.

У лютому 2021 року замість Бориса Глазунова, виконувачкою обов'язків директора заповідника призначили юристку Розу Топанову. Того ж місяця професор Олександр Лисенко, заступник голови Робочої групи зі створення Української національної концепції меморіалізації

Бабиного Яру, повідомив, що остаточний текст концепції буде презентовано у лютому 2021 року.

У червні 2021 року стало відомо, що прем'єр-міністр України Денис Шмигаль доручив Фонду державного майна передати в оренду російському приватному проєкту будівлю колишньої контори Лук'янівського єврейського кладовища. Ця будівля мала стати частиною державного музею історії Бабиного Яру в складі Національного історико-меморіального заповідника. Цю подію різко розкритикував історик Анатолій Подольський, який назвав ситуацію "капітуляцією", заявивши, що українська влада фактично підтримує інтереси проросійського проєкту, що має політичний характер.

7.2. Перспективи збереження та відновлення історико-меморіального комплексу “Бабин Яр”

Відсутність узгоджених і достовірних даних про земельні ділянки в громаді створює такі ризики:

1. Недоотримання податкових надходжень.

Якщо дані про земельні ділянки чи їх власників не відображені в публічній кадастровій карті, це може свідчити про їх відсутність у Держгеокадастрі та ДФС. У такому випадку громада втрачає доходи від земельного податку, ПДФО з оренди, єдиного податку та плати за землю. Також серед цих ділянок можуть бути невитребувані паї або відумерла спадщина, що повністю позбавляє місцевий бюджет доходів за використання таких земель.

2. Самовільне захоплення земель.

Щоб ідентифікувати випадки самозахоплення, потрібно порівняти фактичні межі оброблюваних ділянок із їхніми кадастровими кордонами. Вихід посівів за межі кадастрових контурів свідчить про несанкціоноване використання. Такі землі громада може інвентаризувати та повернути на свій баланс. Зазвичай площа самовільно зайнятих земель становить 3-5% загального земельного фонду громади.

3. Тіньова оренда земель.

Землі приватної власності нерідко обробляються без укладених договорів, коли агровиробники напряму домовляються з власниками паїв, обходячи офіційну реєстрацію. Це позбавляє громаду надходжень

від ПДФО, 60% якого спрямовується в місцевий бюджет. Перевірки показують, що понад 50% таких ділянок обробляються «в тіні». Аналіз супутникових даних і реєстру речових прав допомагає виявити факти незаконного використання.

4. Невикористання державних і комунальних земель.

Землі, що належать громаді, але не передані у власність чи оренду, не приносять доходу. Громада має визначитися з їх використанням: передати на приватизацію, виставити на аукціон чи передати в оренду.

5. Неправомірне використання земель несільськогосподарського призначення.

Часто земельні ділянки, призначені для сінокошіння або випасання худоби, використовують для оранки, що суперечить їхньому цільовому призначенню. Територіальна громада повинна попередити користувача про порушення, накласти штраф та, за потреби, ініціювати зміну цільового призначення для збільшення бюджетних надходжень.

6. Фінансова оцінка ризиків.

Недоліки в управлінні земельними ресурсами щорічно призводять до значних фінансових втрат. Розрахунки показують, що громади втрачають сотні тисяч гривень, які могли б надійти до місцевого бюджету.

Узгодження невідповідностей, виявлених під час інвентаризації земель, здійснюється за трьома основними параметрами:

1. Координатами, які відображають точне місце розташування ділянки.
2. Площею – відповідність задекларованої площі фактичній.
3. Інформацією про власника та землекористувача – наявність розбіжностей у даних.

Ця проблема є складною, адже для визначення найточнішої інформації доводиться зіставляти дані з трьох різних джерел. Використання публічної кадастрової карти як еталону під час інвентаризації ускладнюється, оскільки межі ділянок часто не відповідають реальному використанню. Основними причинами цього є порушення з боку власників та користувачів: розорювання чужих територій, вирубка лісів і лісосури, знищення польових доріг, незаконне використання сусідніх земель.

Головна мета інвентаризації – ідентифікувати ділянки, які незаконно зайняті, не використовуються, експлуатуються нерационально або не за цільовим призначенням. Для цього необхідно визначити точне місцерозташування, площу, межі, правовий статус земельних ділянок і виявити порушення в разі їх наявності.

Оптимальним варіантом вирішення цієї проблеми є узгодження даних через органи місцевого самоврядування із поданням конкретних пропозицій:

1. Власники та користувачі земель із виявленими невідповідностями мають привести використання ділянок у відповідність до правовстановлюючих документів.

2. Фізичні та юридичні особи повинні оформити правовстановлюючі документи на ділянки, що перебувають у їх фактичному користуванні.

3. Під час реєстрації земельних ділянок треба дотримуватися законодавчих вимог щодо точності визначення їх площі.

Інвентаризацію земель поза межами населених пунктів доцільно проводити з урахуванням фактичного використання територій, які знаходяться під юрисдикцією територіальної громади.

ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 2

За результатами дослідження можна зробити висновки, які стосуються необхідності інвентаризації земельних ділянок з об'єктами культурної спадщини; сучасних методів інвентаризації об'єктів культурної спадщини; управління земельними ресурсами з об'єктами культурної спадщини; практичного застосування результатів інвентаризаційних досліджень цих об'єктів; підвищення рівня обізнаності громадськості з цією проблемою; інвентаризація виступає в якості стратегічного підходу до забезпечення збереження спадщини; результати інвентаризації відіграють важливу роль у наповненні інформацією системи Держгеокадастру та НІГД України.

1. Інвентаризація земель, на яких розташовані об'єкти культурної спадщини національного значення, є критично важливою для їх збереження та ефективного управління. Вона створює обґрунтовану інформаційну базу для ухвалення рішень та формування стратегій збереження й розвитку культурної спадщини.

2. Використання геоінформаційних технологій та геопросторового аналізу під час інвентаризації дозволяє точно визначати межі ділянок та об'єктів культурної спадщини, а також відстежувати їх стан та динаміку змін.

3. Дані, отримані в результаті інвентаризації, слугують основою для розробки планів охорони, реставрації та раціонального використання об'єктів культурної спадщини. Це допомагає визначити пріоритетні завдання та ресурси, необхідні для їх збереження і, в разі потреби, відновлення.

4. Інвентаризація сприяє ефективнішому управлінню земельними ресурсами, на яких розташовані об'єкти культурної спадщини. Вона допомагатиме органам місцевого самоврядування вирішувати питання оптимізації землекористування, забезпечуючи збереження історичних і культурних цінностей.

5. Отримані дані сприятимуть підвищенню громадської свідомості в питаннях важливості збереження культурної спадщини та раціонального використання земель з цими об'єктами. Це стимулюватиме зацікавленість та підтримку громадськості в реалізації заходів з охорони

і відновлення таких об'єктів історичної, культурної, архітектурної спадщини нашої держави.

6. Інвентаризація земель з об'єктами культурної спадщини є невід'ємною частиною стратегічного підходу до їх збереження. Вона забезпечує раціональне використання цих ресурсів, сприяючи їх збереженню для майбутніх поколінь та захисту історичної і культурної спадщини України.

7. Інвентаризація дозволяє оновлювати дані у Державному земельному кадастрі щодо стану земель, площі, кількості ділянок та їх правового статусу. Це дає змогу контролювати зміни, конкретизувати заходи одоохоронного характеру та підвищувати відповідальність за порушення правил природокористування на землях з об'єктами культурної спадщини.

8. Виконане дослідження демонструє важливість системного підходу до інвентаризації земель для збереження культурної спадщини та забезпечення ефективного управління земельними ресурсами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО ЧАСТИНИ 2.

1. Про землеустрій : Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV : станом на 10 лип. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text>
2. Про внесення змін до Порядку проведення інвентаризації земель : Постанова Каб. Міністрів України від 05.08.2022 р. № 866. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/866-2022-п#Text>
3. Дорош О.С. Інвентаризація земель: методичні підходи до її проведення. Агросвіт. 2015. № 11. С. 24–30 [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2015_11_5.
4. Наказ Держгеокадастру від 13 травня 2019 року №129 «Про деякі питання проведення заходів з інвентаризації земель державної власності»/
5. Наказ Держгеокадастру від 13.05.2019 № 129 “Про деякі питання проведення заходу з інвентаризації земель державної власності” URL: <http://dzk.gov.ua/metodychni-rekomendatsiyi-shhodo-dokumentatsiyi-iz-inventaryzatsiyi-zemel-silskogospodarskogo-pryznachennya/>
6. Наказ Держгеокадастру від 21 лютого 2019 року №59 «Про проведення інвентаризації земель державної власності»/
7. Новий порядок проведення інвентаризації земель - 2019. URL: <https://dreamdim.ua/ru/novyy-poryadok-provedennya-inventaryzatsiyi-zemel-2019/>
8. Про державний земельний кадастр: Закону України від 07.07.2011 № 3613-VI, редакція від 01.03.2016, підстава 888-19. [Електронний ресурс]. Режим доступу: zakon0.rada.gov.ua/laws/show/3613-17
9. Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для проведення інвентаризації земель та оновлення картографічної основи Державного земельного кадастру: Постанова Кабінету міністрів України від 3 березня 2020 р. № 169. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/169-2020>
10. Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету

Міністрів України: Постанова Кабінету міністрів України №476 від 5 червня 2019 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2019>.

11. Земельний кодекс України : Кодекс України від 25.10.2001 р. № 2768- III : станом на 10 жовт. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>

12. Бардаш С.В. Інвентаризація: теорія, практика, комп'ютеризація. Житомир: ЖІТІ, 1999. 372 с.

13. Чудовець В.В. Історичні аспекти розвитку інвентаризації [Електронний ресурс]. Економічні науки. Сер. : Економіка та менеджмент. 2012. Вип. 9(2). С. 549-558

14. Мельник О.О. Еволюція земельних відносин доби Козаччини у XVII–XVIII ст. Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). 2017. № 2(33). С. 314–320.

15. Горбатюк В.М. Інвентаризація земель у системі управління земельними ресурсами [Електронний ресурс]. Містобудування та територіальне планування. 2008. №31. Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/MTP/2008_31/pdf/3115_gbat.pdf.

16. Третяк А.М. Розвиток ринку землі в Україні. Землевпорядний вісник. К., 2000. №1. С. 9-12.

17. Третяк А. М. Історія земельних відносин і землеустрою в Україні: Навчальний посібник. К.: Аграрна наука, 2002. 280 с.

18. Третяк А.М. Землевпорядне проектування. Теоретичні основи і територіальний землеустрій: К.: Центр земельної реформи в Україні, 2008. 41 с.

19. Про земельну реформу : Постанова Верхов. Ради Укр. Рад. Соціаліст. Респ. від 18.12.1990 р. № 563-XII : станом на 7 трав. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/563-12#Text>

20. Новаковський Л.Я. Основні положення концепції розвитку земельної реформи в Україні. К. : Центр земельної реформи, 2000. 96с.

21. Про затвердження Порядку ведення державного земельного кадастру: Постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. № 1051. Офіц. вісн. України. 2012. № 89. Ст. 3598.

22. Пономаренко О.Г. Інвентаризація земель: обліково-контрольний аспект. Облік і фінанси АПК. 2008. С. 96–100 [Електронний

ресурс]. Режим доступу : <http://magazine.faaf.org.ua/inventarizaciya-zemel-oblikovo-kontrolniy-aspekt.html>.

23. Закон України «Про охорону культурної спадщини» від 8 червня 2000 року № 1805-III. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1805-14#Text>

24. Формування ринку землі в Україні / В.П. Галушко, Ю.Д. Білик, А.С. Даниленко та ін.; За ред. А.С. Даниленка, Ю.Д. Білика ; Держ. ком. України по земел. ресурсах, Нац. аграр. ун-т. - К. : Урожай, 2002. - 278 с.

25. Нахманович В. Р. Бабин Яр. Історія. Сучасність. Майбутнє?.. (Роздуми до 70-річчя київської масакри 29–30 вересня 1941 р.) // Український історичний журнал. 2011. № 6. С. 105–121.

26. Бабин Яр: Пам'ять на тлі історії: альбом-каталог / упоряд. В. Нахманович. Київ: Laurus, 2017. 252 с.

27. Національний історико-меморіальний заповідник «Бабин Яр» (офіційний сайт): <http://babyn-yar.gov.ua>.

28. Український центр вивчення історії Голокосту (офіційний сайт): www.holocaust.kiev.ua.

29. Про надання державному історико-меморіальному заповіднику "Бабин Яр" статусу національного: Указ Президента України від 24.02.2010 № 258.

30. «Про надання Національному історико-меморіальному заповіднику „Бабин Яр“ земельних ділянок для експлуатації та обслуговування заповідника „Бабин Яр“ на вул. Дорогожицькій, вул. Мельникова, 44 та на вул. Олени Теліги у Шевченківському районі м. Києва»: Рішення Київської міської ради від 28.10.2010 р. № 204/5016.

31. Концепція комплексного розвитку (меморіалізації) Бабиного Яру з розширенням меж Національного історико-меморіального заповідника

«БАБИН ЯР»URL: http://resource.history.org.ua/cgi-bin/eiu/history.exe?C21COM=2&I21DBN=ELIB&P21DBN=ELIB&Image_file_name=book%2F0014254.pdf&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=0&fbclid=IwAR18AZQHtOXDоAoL_1оUfaDkI7v2rCGKjfR2K1qXun4lсq4LFwNkN3uAUrc

32. Про затвердження Міської цільової програми використання та охорони земель міста Києва на 2022-2025 роки. URL: https://kmr.gov.ua/sites/default/files/2734_4.pdf

33. Про затвердження Міської цільової програми використання та охорони земель міста Києва на 2019-2021 роки. URL: https://kyivcity.gov.ua/npa/pro_zatverdzhennya_misko_tsilovo_programi_vikoristannya_ta_okhoroni_zemel_mista_kiyeva_na_2019-2021_roki/

34. Про затвердження Положення про Державний реєстр національного культурного надбання Постанова КМУ від 12 серпня 1992 р. N 466. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/466-92-%D0%BF#Text>

35. Про затвердження Загальнодержавної програми збереження та використання об'єктів культурної спадщини на 2004-2010 роки. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1692-15#Text>

36. Про затвердження міської цільової програми «Охорона та збереження культурної спадщини м. Києва на 2022-2024 роки». URL: https://kyivcity.gov.ua/npa/pro_zatverdzhennya_misko_tsilovo_programi_okhorona_ta_zberezhennya_kulturno_spadschini_m_kiyeva_na_2022-2024_roki/

37. Бадяк Володимир. До питання реєстрації об'єктів культурної спадщини України з позицій фаховості та національної гідності. Вісник Львівської національної академії мистецтв. Вип. 24. Львів, 2013. С. 362.

38. Постанова Кабінету Міністрів України від 3 вересня 2009 р. № 928 Перелік об'єктів культурної спадщини національного значення, які заносяться до Державного реєстру нерухомих пам'яток України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/239966145>

39. Б. Четверіков. Встановлення історичних меж урочища Бабин Яр на основі архівних картографічних матеріалів Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2010. Вип. II (20). С. 160–166. <http://www.kby.kiev.ua/komitet/ru/reserve/art00085.html>

40. Б. Четверіков. Національний університет «Львівська політехніка» Методика створення ситуаційного плану Сирецького концентраційного табору за архівними аероматеріалами Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2011. Вип. II (22). С. 184–187. <http://www.kby.kiev.ua/komitet/ua/reserve/art00086.html>

41. Б. Четверіков. Порівняльний аналіз цифрових моделей рельєфу, створених за різні роки. Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 78, 2013. С. 54-59. URL: [https://science.lpnu.ua/uk/istcgcap/vsi-vypusky/vypusk-78-](https://science.lpnu.ua/uk/istcgcap/vsi-vypusky/vypusk-78-2013/porivnyalnyy-analiz-cyfrovyyh-modeley-relyefu-stvorenyh-za-rizni)

2013/porivnyalnyy-analiz-cyfrovyyh-modeley-relyefu-stvorenyh-za-rizni

42. Проектно-пошукова робота по встановленню історичних меж Бабиного Яру та Кирилівського, Єврейського, Мусульманського, Караїмського кладовищ у м. Київ. URL: <http://www.kby.kiev.ua/komitet/ua/reserve/art00087.html>

43. Інструкція про порядок контролю і приймання топографо-геодезичних та картографічних робіт, затверджена наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України №19 від 17 лютого 2000 року

44. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, м. Київ, 2001 року.

45. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, м. Київ, 2001 року.

46. Про затвердження порядку обліку об'єктів культурної спадщини. Наказ Міністерства культури України від 11.03.2013 № 158. Редакція від 20.08.2019.

47. Кондращенко О.В. Застосування сучасних методик фотограмметричного та геоінформаційного аналізу для забезпечення земельно-майнових відносин / О.В. Кондращенко, М.Л. Мироненко, Д.В. Шаульський // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. - 2018. - Вип. 144. - С. 94-99. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_144_16.

48. Чумак О.В. Методичні засади моніторингу об'єктів культурної спадщини засобами безпілотних літальних апаратів/Чумак О.В., Горковчук Ю.В.// Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2022», 6–8 квітня 2022 р., Львів–Яворів–Брюховичі. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. Режим доступу:

http://zgt.com.ua/wpcontent/uploads/2022/06/ТЕЗИ_ГЕОФОРУМ_2022.pdf

49. Стрельченко Л.В. Євсюков Т.О. Науково-методичні і нормативно-правові засади інвентаризації земельних ділянок з об'єктами

історико-культурної спадщини. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Землеустрій і топографічна діяльність в умовах війни та післявоєнного відновлення», 8–10 березня 2023 р., К.: Вид. центр НУБІП, 2023. С. 105- 106 URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/bc02c8d8-8fdd-4279-b0a6-27fa238eb876/content>

50. Інвентаризація та формування бази даних земельних ділянок. URL: <https://auc.org.ua/novyna/inventaryzaciya-ta-formuvannya-bazy-danyh-zemelnyh-dilyanok-tema-drugogo-vebinaru-amu-z>

51. Бардаш Сергій Володимирович. Інвентаризація: теорія, практика, комп'ютеризація. Житомирський інженерно-технологічний ін-т. Ю.І. Осадчий (ред.). Житомир : ЖІТІ, 1999. 372 с.

52. Калюжний М.Н., Дорош Й.М. Науково-методичні засади інвентаризації земель сільськогосподарського призначення. Землевпорядний вісник. 2011. № 6. С. 29—31.

53. Мартин А.Г. Інвентаризація земель: як її здійснювати у сучасних умовах. Земельний союз України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://zsu.org.ua/index.php/andrij-martin/91_2011_0527_14_48_38

54. Кондращенко О.В. Застосування сучасних методик фотограмметричного та геоінформаційного аналізу для забезпечення земельно-майнових відносин. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2018. Вип. 144. С. 94-99. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_144_16.

55. Шульц Р.В. До питання визначення основних параметрів фотографування при безпілотному аерофотозніманні. Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. відп. ред. М.М. Осетрін. Київ: КНУБА, 2015. Вип. 57. С. 483 - 490.

56. Чумак О.В. Методичні засади моніторингу об'єктів культурної спадщини засобами безпілотних літальних апаратів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2022», 6–8 квітня 2022 р., Львів–Яворів–Брюховичі. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. Режим доступу: http://zgt.com.ua/wpcontent/uploads/2022/06/ТЕЗИ_ГЕОФОРУМ_2022.pdf

57. Jablonski M, Korhonen KT, Budniak P, Mionskowski M, Zajackowski G, Sućko K (2017). Comparing land use registry and sample based inventory to estimate forest area in Podlaskie, Poland. *iForest* 10: 315-321. - doi: 10.3832/ifor2078-009

58. Gloria Pugnetti and Alexandra Kruse, *European Culture expressed in Agricultural Landscape - Perspectives from the Eucaland Project (PDF)* Gloria Pugnetti and Alexandra Kruse, *European Culture expressed in Agricultural Landscape - Perspectives from the Eucaland Project*. Available from:

https://www.researchgate.net/publication/307673503_Gloria_Pugnetti_and_Alexandra_Kruse_European_Culture_expressed_in_Agricultural_Landscape_-_Perspectives_from_the_Eucaland_Project [accessed Jan 26 2025].

59. Huba, M., Kubišová, K. Legislatívne aspekty ochrany charakteristického vzhľadu (kultúrnej) krajiny v medzinárodnom kontexte // *Geographia Slovaca*. – 2017. – No.33. – P. 31-57.

60. Dramstad, W. E., Fry, G., Fjellstad, W. J., Skar, B., Helliksen, W., Sollund, M.-L. B., et al. (2001). Integrating landscape-based values e Norwegian monitoring of agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 57, 257e268.

61. Haines H, Wilson JR, Vink P, Koningsveld E. Validating a framework for participatory ergonomics (the PEF). *Ergonomics*. 2002 Mar 15;45(4):309-27. doi: 10.1080/00140130210123516. PMID: 12028727.

62. Edward Holdaway, Gerald Smart. *Landscapes at Risk? The Future for Areas of Outstanding Natural Beauty in England and Wales*. Copyright 2001. 320 p.

63. Odd O. Aalen and Håkon K. Gjessing. Understanding the Shape of the Hazard Rate: A Process Point of View. *Statistical Science*. Vol. 16, No. 1 (Feb., 2001), pp. 1-14.

64. Antrop, M. (2005) Why Landscapes of the Past Are Important for the Future. *Landscape and Urban Planning*, 70, 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.002>

65. Bezák P. et al. The Approach to Typology of The Biocultural Landscape In Slovakia. *Environmental Management*, 2022, № 5, p. 746-762. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01695-8>

66. Доброводська, М., Штефункова, Д., 1996: Історичні сільськогосподарські форми антропогенного рельєфу орно-лугово-пасовища та пейзаж виноградників (словацькою). Acta Environmentalica Universitatis Comenianaе (Братислава), 7: (PDF) *Інвентаризація та класифікація історичних структур сільськогосподарського ландшафту Словаччини*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/277502432_Inventory_and_classification_of_historical_structures_of_the_agricultural_landscape_in_Slovakia [accessed Jan 26 2025].

Ковальчук Іван Платонович,
Євсюков Тарас Олексійович,
Шевченко Олександр Вікторович,
Опенько Іван Анатолійович,
Колеснік Наталія Анатоліївна,
Куценко Олексій Олександрович,
Рудякевич Дмитро Олександрович,
Стрельченко Лілія Володимирівна,
Михайлик Катерина Олександрівна,
Матвійчук Дмитро Юрійович,
Юхимюк Владислав Олександрович

**МЕТОДИКА ТА АЛГОРИТМИ СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ
ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ
монографія**



Підписано до друку 05.09.2025 .
Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 10,5
Тираж 50 прим.

Віддруковано ФО-П Білецький Р.Г.,
Типографія Аграр Медіа Прінт.
Адреса потужностей: м. Київ, вул. В.Некрасова, 3
e-mail: info@agrarmedia.com
тел.: (067) 407 87 23

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців ДК №8116 від 21.06.2024р.
www.agrarmedia.com