

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями
(факультет)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії
(назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**Створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини
фотограмметричними методами**

Коваленко Вікторія Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові студента повністю)

Київ 2020 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями
(факультет)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії
(назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
проф., д-р. техн.наук Карпінський Ю.О.
“ _____ ” _____ 2020 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**Створення цифрових моделей об’єктів культурної спадщини
фотограмметричними методами**

Виконав: студент групи ГІСТ-61
спеціальності 193
“Геодезія та землеустрій”
спеціалізації “Геоінформаційні системи і
технології”
Коваленко Вікторія Сергіївна
Керівник: Горковчук Ю.В.
доцент, к.т.н.

Київ 2020 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: Геоінформатики і фотограмметрії

Освітній рівень: «магістр за ОПП»

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

_____ доцент., к.т.н. Нестерненко О. В.

“ _____ ” _____ 2020 року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Коваленко Вікторії Сергіївни

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи: Створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами

затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від «__» _____ 20__ року

2. Керівник роботи: доц. к.т.н. Горковчук Юлія Вікторівна

3. Строк подання студентом роботи до захисту: 07.12.2020

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р. 1. Аналіз створення цифрових моделей культурної спадщини

Р. 2. Методичні засади моделювання об'єктів культурної спадщини

Р.3. Апробація методики моделювання цифрової моделі об'єктів культурної спадщини

Р. 4. Економічне обґрунтування створення цифрових моделей культурної спадщини

5. Графічний матеріал за розділами:

1. Класифікація цифрових моделей об'єктів культурної спадщини

2. Методика моделювання ОКС фотограмметричними методами

3. Технологічна схема фотограмметричного знімання ОКС

4. Цифрова модель об'єкта дослідження

7. Календарний план виконання роботи:

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)
Розділ 1. Аналіз створення цифрових моделей культурної спадщини. Об'єкти культурної спадщини. Цифровізація об'єктів культурної спадщини. Порівняльний аналіз цифрових моделей об'єктів культурної спадщини. Висновки до розділу 1	30.09.2020
Розділ 2. Методичні засади моделювання об'єктів культурної спадщини. Розроблення методики моделювання ОКС фотограмметричними методами. Технологія фотограмметричного знімання об'єктів культурної спадщини. Особливості використання програмних засобів створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини. Висновки до розділу 2	15.10.2020
Розділ 3. Апробація методики моделювання цифрової моделі об'єктів культурної спадщини. Характеристика об'єкта дослідження. Фотограмметричні знімання об'єкта дослідження. Моделювання об'єкта дослідження та оцінка точності результатів. Висновки до розділу 3	15.11.2020
Розділ 4. Економічне обґрунтування створення цифрових моделей культурної спадщини. Кошторис на створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини. Нормативне врегулювання застосування фотограмметричних методів при моделюванні ОКС. Висновки до розділу 4	30.11.2020
Остаточне оформлення роботи	02.12.2020
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	03.12.2020
Попередній захист роботи на кафедрі	10.12.2020

8. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			

9. Дата видачі завдання 25 червня 2020 р.

Зав. кафедри _____ Карпінський Ю.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Горковчук Ю. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент _____ Коваленко В.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ (summary) до атестаційної випускної роботи студента		Коваленко, Вікторія Сергіївна	
<i>ЗВО</i>	Київський національний університет будівництва і архітектури		
<i>Тема</i>	Створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами		
<i>Освітній ступень</i>	Магістр за освітньо-науковою програмою навчання		
<i>Факультет</i>	Геоінформаційних систем і управління територіями		
<i>Кафедра</i>	Геоінформатики і фотограмметрії		
<i>Спеціальність</i>	193 "Геодезія та землеустрій"		
<i>Спеціалізація</i>	Геоінформаційні системи і технології ГІСТ 61		
<i>Керівник</i>	Горковчук Юлія Вікторівна к. т. н., доцент		
<i>Обсяг роботи:</i>	<i>пояснювальна записка, стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>креслень формату А1</i>
	75	4	
<i>Розділ 1</i>	В розділі наведено визначення та класифікація ОКС, вивчено нормативне забезпечення ОКС. Був проведений порівняльний аналіз цифрових моделей об'єктів культурної спадщини та розглянуто технології побудови цифрових моделей, а саме MESH, BIM та CAD моделювання. Також розглядалися методика, технології та досвід моделювання ОКС, що застосовуються в Україні та Світі.		
<i>Розділ 2</i>	Розроблено методику щодо моделювання ОКС фотограмметричними методами, використанням БПЛА та розписана технологія фотограмметричного знімання, а саме сценарій зйомки БПЛА для успішного моделювання, та описана технологія лазерного сканування. У цьому розділі були описані інструментальні програмні забезпечення, які використовуються для подальшого моделювання ОКС, а також їх особливості.		
<i>Розділ 3</i>	Виконано практичну реалізацію методики моделювання цифрової моделі фотограмметричними методами. Виконано практичне дослідження, з виконанням фотограмметричного знімання історичної пам'ятки з використанням цифрової неметричної камери встановленої на безпілотний літальний апарат. В результаті було побудовано дві 3D моделі історичної пам'ятки у двох різних програмних засобах та для забезпечення високої геометричної точності об'єкту		

	зроблено порівняння результатів аерофотознімання із лазерним скануванням.
<i>Розділ 4</i>	Зроблено економічну оцінку виконання робіт з отримання тривимірних моделей об'єкту відповідно до чинних нормативних документів з визначення вартості проектно вишукувальних робіт та описано нормативне врегулювання застосування фотограмметричних методів при моделюванні об'єктів культурної спадщини.
<i>Висновки по роботі:</i>	В дипломній роботі розглянуто методи і технології створення тривимірних моделей об'єктів. Також розроблена методика моделювання культурної спадщини фотограмметричними методами. Зроблено порівняння результатів створених цифрових моделей та на основі порівняння зроблено висновки про точність тривимірного знімання відповідно до характеристик об'єкту.
<p><u>Ключові слова:</u> Фотограмметричне знімання, безпілотний літальний апарат, оцінка точності, хмара точок, тривимірна модель об'єкту.</p> <p><u>Keywords:</u> Photogrammetric survey, unmanned aerial vehicle, estimation of accuracy, point cloud, three-dimensional object model.</p>	

Укладач: _____ / В.С. Коваленко

Керівник: _____ / Ю.В. Горковчук

«__» _____ 2020 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ	9
1.1 Об'єкти культурної спадщини (ОКС).....	10
1.2 Цифровізація об'єктів культурної спадщини.....	20
1.3 Порівняльний аналіз цифрових моделей об'єктів культурної спадщини ...	27
Висновок до першого розділу	30
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ.....	31
2.1 Розроблення методики моделювання ОКС фотограмметричними методами (з використанням БПЛА).....	32
2.2 Технологія фотограмметричного знімання об'єктів культурної спадщини.....	35
2.4 Особливості використання програмних засобів створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини	43
Висновок до другого розділу	48
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ.....	49
3.1 Характеристика об'єкту дослідження.....	50
3.2 Фотограмметричні знімання об'єкта дослідження.....	51
3.3 Моделювання об'єкта дослідження та оцінка точності результатів.....	54
Висновок до третього розділу.....	62
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА КОШТОРИС, ОХОРОНА ПРАЦІ	63
4.1. Кошторис на створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини.....	64
4.2 Нормативне врегулювання застосування фотограмметричних методів при моделюванні ОКС	67
Висновок до четвертого розділу	69
Висновок	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
ДОДАТКИ.....	76

ВСТУП

Актуальність теми. Тривимірні фотореалістичні і високоточні комп'ютерні моделі об'єктів культурної спадщини (далі ОКН) визнані, як інструмент повсякденного використання в практиці наукових досліджень для розширення і популяризації наукових знань, навчання, уявлення, а також каталогізації і охорони об'єктів культурної спадщини. Цифрові моделі дають можливість побачити та дослідити будь-який ОКС без контакту з оригіналом і вивчення його дистанційно в комп'ютерній мережі, перебуваючи в будь-якій точці планети.

В області тривимірного цифрового моделювання відбуваються безперервні зміни, що виражаються в удосконаленні знімального обладнання, розробці програмного забезпечення та методик обробки даних зйомок, в максимальному ступені автоматизують процес отримання моделей, а також розробки спеціалізованого програмного забезпечення для роботи з цифровими моделями.

В даний час в цій області активно застосовуються геоінформаційні системи, до складу яких входить 3D-моделювання. При побудови 3D-моделей пам'ятників для ГІС вимоги до них визначаються конкретним випадком і обмежуються необхідністю збереження пропорцій об'єкта, дотриманням його основних стильових особливостей та забезпеченням наявності легко пізнаваних індивідуальних елементів конструкції.

Створення і використання 3D-моделей стає важливою частиною діяльності, пов'язаної з державною охороною, збереженням, використанням та популяризацією об'єктів історико-культурної спадщини. 3D-моделювання дозволяє об'єднати текстову інформацію про предмет охорони, фото і відео зображення, графічний матеріал і зробити більш гнучким процес роботи з цією інформацією.

Метою роботи є створення та аналіз цифрової моделі об'єктів культурної спадщини та розроблення методики моделювання ОКС фотограмметричними методами з використанням з безпілотних аерофотознімальних систем з метою

отримання фотографічних даних для створення їх фотореалістичних і метрично точних 3D-моделей.

Метами дослідження є тривимірні цифрові моделі об'єктів культурної спадщини.

Об'єктом дослідження є роботи з створення цифрової моделі культурної спадщини фотограмметричними методами.

Предметом дослідження є методи і технології фотограмметричної зйомки для отримання високотехнологічних даних з метою створення фотореалістичних і метрично точних тривимірних моделей об'єктів культурної спадщини для подання їх в доступному і зручному для дистанційного вивчення форматі.

Досягнення цілі потребує вирішенню таких задач:

- 1) Аналіз теоретичних та практичних аспектів моделювання об'єктів культурної спадщини ;
- 2) Розроблення методики моделювання об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами ;
- 3) Розроблення технології фотограмметричного знімання для моделювання об'єктів культурної спадщини;
- 4) Дослідна апробація запропонованих методів на прикладі пам'ятника Богдану Хмельницькому;
- 5) Оцінка точності результатів моделювання об'єктів культурної спадщини фотограмметричним методом.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Коваленко В.С.			Створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант		Горковчук Ю.В.					1	
Керівник		Горковчук Ю.В.				9		
Зав. каф.		Карпінський Ю.С.				ІПО КНУБА, група ГСТ-61		

1.1 Об'єкти культурної спадщини (ОКС)

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

Класифікація об'єктів культурної спадщини

1. За типами об'єкти культурної спадщини поділяються на:

а. споруди (витвори) - твори архітектури та інженерного мистецтва, твори монументальної скульптури та монументального малярства, археологічні об'єкти, печери з наявними свідченнями життєдіяльності людини, будівлі або приміщення в них, що зберегли автентичні свідчення про визначні історичні події, життя та діяльність відомих осіб;

б. комплекси (ансамблі) – топографічно-визначені сукупності окремих або поєднаних між собою об'єктів культурної спадщини;

в. визначні місця - зони або ландшафти, природно-антропогенні витвори, що донесли до нашого часу цінність з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду.

2. За видами об'єкти культурної спадщини поділяються на:

а. археологічні - рештки життєдіяльності людини (нерухомі об'єкти культурної спадщини: городища, кургани, залишки стародавніх поселень, стоянок, укріплень, військових таборів, виробництв, іригаційних споруд, шляхів, могильники, культові місця та споруди, їх залишки чи руїни, мегаліти, печери, наскельні зображення, ділянки історичного культурного шару, поля давніх битв, а також пов'язані з ними рухомі предмети), що містяться під

земною поверхнею та під водою і є невідтворюваним джерелом інформації про зародження і розвиток цивілізації;

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

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

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

д. об'єкти містобудування - історично сформовані центри населених місць, вулиці, квартали, площі, комплекси (ансамблі) із збереженою планувальною і просторовою структурою та історичною забудовою, у тому числі поєднаною з ландшафтом, залишки давнього розпланування та забудови, що є носіями певних містобудівних ідей;

е. об'єкти садово-паркового мистецтва - поєднання паркового будівництва з природними або створеними людиною ландшафтами;

є. ландшафтні - природні території, які мають історичну цінність;

ж. об'єкти науки і техніки - унікальні промислові, виробничі, науково-виробничі, інженерні, інженерно-транспортні, видобувні об'єкти, що визначають рівень розвитку науки і техніки певної епохи, певних наукових напрямів або промислових галузей.



Рис. 1.1 Класифікація об'єктів культурної спадщини

Окремо використовується розподіл за транспортабельністю:

1. рухомі - це такі предмети, що мають особливу культурну важливість, і які не втрачають цінність після переміщення.

2. нерухомі - до цієї категорії зазвичай відносять пам'ятки, транспортування яких призведе до втрати або значного зменшення культурної цінності.

Деякі міжнародні організації виконують місію контролю та надання підтримки культурній спадщині людства, серед них – UNESCO, ICOMOS, SIPA.

Розгляд сучасного стану розвитку ОКС у світі та в Україні неможливий без ЮНЕСКО, яка у 1972 році прийняла Конвенцію про охорону всесвітньої і природної спадщини, до початку 1992 року конвенцію ратифікували 123 країни-члени ООН (зокрема і Україна).

ЮНЕСКО – Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури, що має свою інфраструктуру та представництва у кожній із 193 держав-членів.

Статус об'єкта Світової спадщини:

1. дає додаткові гарантії збереження і цілісності унікальних природних і культурних комплексів, підвищує престиж територій і установ, які ними опікуються;
2. сприяє популяризації включених у Список об'єктів і розвитку альтернативних видів природокористування (насамперед екологічного туризму);
3. забезпечує пріоритетність у залученні фінансових коштів для підтримки об'єктів Світової культурної і природної спадщини, насамперед, з Фонду Світової спадщини;
4. сприяє організації моніторингу і контролю за станом збереження природних і культурних об'єктів.

Станом, починаючи від 90-х років ХХ ст. спеціальна увага ЮНЕСКО приділена концептуальним засадам розвитку культури і охорони культурної спадщини в епоху глобалізації, збереженості документальної спадщини, концепції цифрової культури та цифрової спадщини.

Метою діяльності Міжнародного наукового товариства СІРА (International Comitee for Architektural Photogrammetry), створеного у 50-ті роки минулого століття, є:

1. документація стану, змін, розвитку об'єктів та процесів, що належать до історичної та культурної спадщини;
2. вимірювання та дослідження об'єктів фотограмметричними та іншими науковими методами;
3. контроль та оцінювання;
4. охорона, догляд, підтримка;
5. розумне управління, моніторинг з метою захисту та збереження об'єктів культурної спадщини.

Сучасні засоби збирання, накопичення та опрацювання даних дають змогу документувати об'єкти на високому технологічному рівні з високим

ступенем надійності. Однією з форм документування об'єктів культурної спадщини є цифрові моделі місцевості.

Відповідно до статті 54 Конституції України, культурна спадщина охороняється законом. Держава забезпечує збереження історичних пам'яток та інших об'єктів, що становлять культурну цінність, вживає заходів для повернення в Україну культурних цінностей народу, які знаходяться за її межами.

Положення Конституції України конкретизовано в Законі України «Про охорону культурної спадщини», який регулює правові, організаційні, соціальні та економічні відносини у сфері охорони культурної спадщини з метою її збереження, використання об'єктів культурної спадщини у суспільному житті, захисту традиційного характеру середовища в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь.

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

Згідно статті 4 Закону України "Про охорону культурної спадщини" до повноважень Кабінету Міністрів України у сфері охорони культурної спадщини належить:

1. здійснення державної політики;
2. здійснення державного контролю;
3. занесення об'єктів культурної спадщини національного значення до Державного реєстру нерухомих пам'яток України та внесення змін до нього щодо пам'яток національного значення;
4. подання у відповідні міжнародні інстанції пропозиції про занесення пам'ятки до Списку всесвітньої спадщини;
5. надання дозволу на переміщення пам'ятки національного значення;
6. затвердження Списку історичних населених місць України та змін, внесених до нього;

7. оголошення комплексів пам'яток історико-культурними заповідниками державного значення та територій історико-культурними заповідними територіями;

8. затвердження нормативів і методик грошової оцінки пам'ятки;

9. затвердження порядку створення наглядових рад об'єктів всесвітньої спадщини, формування їх складу та затвердження типового положення про наглядову раду об'єкта всесвітньої спадщини.

Відповідно до статті 13 про Державний реєстр нерухомих пам'яток України:

1. Об'єкти культурної спадщини незалежно від форм власності відповідно до їхньої археологічної, естетичної, етнологічної, історичної, мистецької, наукової чи художньої цінності підлягають реєстрації шляхом занесення до Державного реєстру нерухомих пам'яток України (далі - Реєстр) за категоріями національного та місцевого значення пам'ятки. Порядок визначення категорій пам'яток встановлюється Кабінетом Міністрів України.

2. Державний реєстр нерухомих пам'яток України включає геопросторові дані, метадані та сервіси, оприлюднення, інша діяльність з якими та доступ до яких здійснюються у мережі Інтернет згідно із Законом України "Про національну інфраструктуру геопросторових даних".

Згідно статті 14 Закону України "Про охорону культурної спадщини" занесення об'єкта культурної спадщини до Реєстру та внесення змін до нього (вилучення з Реєстру, зміна категорії пам'ятки) провадяться відповідно до категорії пам'ятки:

а. пам'ятки національного значення - постановою Кабінету Міністрів України за поданням центрального органу виконавчої влади у сфері охорони культурної спадщини;

б. пам'ятки місцевого значення - рішенням центрального органу виконавчої влади у сфері охорони культурної спадщини за поданням відповідних органів охорони культурної спадщини або за поданням Українського товариства охорони пам'яток історії та культури, інших

громадських організацій, до статутних завдань яких належать питання охорони культурної спадщини, протягом одного місяця з дня одержання подання.

Занесення до Державного реєстру нерухомих пам'яток України об'єктів культурної спадщини національного значення регламентується постановою «Про занесення об'єктів культурної спадщини національного значення до Державного реєстру нерухомих пам'яток України» відповідно до статей 4 і 14 Закону України "Про охорону культурної спадщини.

Згідно наказу Міністерства культури України Про порядок обліку об'єктів культурної спадщини визначає єдину систему обліку об'єктів культурної спадщини незалежно від їх видів та типів.

Державний реєстр нерухомих пам'яток України – це банк даних, сформованих за єдиними ознаками та принципами, що містить відомості про пам'ятки культурної спадщини, а саме:

1. найменування;
2. вид, тип, категорія;
3. дата утворення;
4. місцезнаходження;
5. охоронний номер;
6. просторові характеристики об'єкта;
7. форма власності;
8. власник, уповноважений ним орган або користувач;
9. функціональне використання: сучасне, первісне;
10. стан збереження об'єкта;
11. опис характерних властивостей пам'ятки, що становлять її історико-культурну цінність;
12. особливості режиму використання пам'ятки;
13. призначені охоронні заходи (виду такого заходу, терміни реалізації та відповідальний орган (органи) охорони культурної спадщини);
14. дата і номер рішення про встановлення режиму використання;
15. номер та дата охоронного договору;

16. межі території пам'ятки та особливості режиму її використання;
17. дата і номер рішення про визначення меж території пам'ятки; режиму її використання;
18. інформація про встановлення охоронних дошок, охоронних знаків, інших інформаційних написів, позначок на пам'ятках;
19. дані грошової оцінки;
20. дата і номер рішення про затвердження науково-проектної документації про визначення меж та режимів зон охорони пам'ятки;
21. дата погодження відповідних програм та проектів містобудівних, архітектурних і ландшафтних перетворень, меліоративних, шляхових, земляних робіт, реалізація яких може позначитися на стані пам'ятки, її території і зонах охорони;
22. надання дозволу на проведення робіт на пам'ятці, її території та в зонах охорони;
23. погодження відчуження або передачі пам'ятки її власником чи уповноваженими(ої) ним органу(особи) іншим особам(і) у володіння, користування або управління; погодження проектів землеустрою щодо відведення земельних ділянок на території пам'ятки та вид наданої адміністративної послуги;
24. дата видання розпорядження та припису щодо охорони пам'ятки, припинення робіт на пам'ятці, її території та в зонах охорони;
25. застосування фінансових санкцій; складання протоколу про адміністративне правопорушення та вид вжитого заходу реагування.
26. дата і номер рішення, відповідно до якого об'єкт занесений до Реєстру або внесені зміни до відомостей Реєстру;
27. дата і номер рішення про вилучення пам'ятки з Реєстру.

Моніторинг стану збереження об'єктів культурної спадщини - це комплекс організаційних та інших засобів, які забезпечують систематичне спостереження за станом об'єкта культурної спадщини шляхом збору, обробки та аналізу інформації про стан об'єкта культурної спадщини і території, що

охороняється, та тенденції розвитку природних, техногенних та суспільних процесів, що можуть на нього вплинути.

Згідно наказу Міністерства культури України Про порядок обліку об'єктів культурної спадщини інвентаризація об'єктів культурної спадщини включає в себе такі пункти:

1. Інвентаризація об'єктів культурної спадщини здійснюється з метою запобігання руйнуванню або заподіяння шкоди, забезпечення захисту, збереження, утримання, відповідного використання об'єкта культурної спадщини, його території та зон охорони пам'яток в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь шляхом впровадження системи моніторингу.

2. Система моніторингу включає постійний, періодичний моніторинг та проведення досліджень.

3. Постійний моніторинг здійснюється шляхом аналізу відомостей Реєстру, Переліків об'єктів культурної спадщини; облікової документації, охоронних договорів, встановлених режимів використання об'єкта культурної спадщини, науково-проектної документації, що визначає зони охорони пам'ятки та запланованих робіт, архівних матеріалів наукових установ, державних інформаційних систем та інших відомостей, які свідчать про стан об'єкта культурної спадщини та території, що охороняється.

Постійний моніторинг проводиться не рідше одного разу на рік відповідно до плану, що затверджується на початку року не пізніше 20 січня. За результатами проведеного моніторингу на кожний об'єкт культурної спадщини складається інформаційна довідка.

Постійний моніторинг проводиться:

а. виконавчими органами сільської, селищної, міської ради щодо об'єктів культурної спадщини, які розміщені на території, на яку поширюється повноваження таких органів. Якщо об'єкт розміщений на території двох або більше адміністративно-територіальних одиниць, постійний моніторинг проводиться районними державними адміністраціями;

б. адміністраціями історико-культурних заповідників, історико-культурних заповідних територій - щодо об'єктів культурної спадщини, розміщених на території відповідного історико-культурного заповідника, історико-культурної заповідної території.

4. Періодичний моніторинг здійснюється шляхом збору, обробки та аналізу інформації про об'єкт культурної спадщини та територію, що охороняється з безпосереднім візуальним обстеженням його на місці.

Періодичний моніторинг проводиться районними державними адміністраціями, виконавчими органами сільської, селищної, міської ради не рідше ніж раз на п'ять років або іншими органами охорони культурної спадщини за потребою.

Для цілей проведення періодичного моніторингу органи охорони культурної спадщини своїм рішенням можуть залучати членів Українського товариства охорони пам'яток історії та культури чи громадських організацій, статутними завданнями яких передбачена діяльність у сфері охорони культурної спадщини.

За результатом проведеного періодичного моніторингу складається акт візуального обстеження, здійснюється фотофіксація стану об'єкта культурної спадщини та території, що охороняється: фото загального вигляду, фото об'єкту в контексті (навколишнім середовищі), фото найбільш цінних (характерних) елементів об'єкту, фото загроз (дії негативних чинників).

5. Дослідження проводяться з метою виявлення об'єктів культурної спадщини, складання на них облікової документації, визначення зон охорони або одержання нових знань про пам'ятку, її характерні властивості, територію, режим використання, а також у разі змін стану пам'ятки, виникненням загрози для її збереженості.

6. У разі виникнення загроз для збереженості об'єкта культурної спадщини її власник або уповноважений ним орган (особа) зобов'язані негайно повідомити про це орган охорони культурної спадщини, повноваження якого

поширюється на територію розміщення такого об'єкта. Така інформація є обов'язковою для розгляду органами охорони культурної спадщини.

7. Копії матеріалів періодичного моніторингу надсилаються органу охорони культурної спадщини, уповноваженому на прийняття рішень або застосування заходів реагування відповідно до законодавства у строк, що не перевищує 5 робочих днів з дня проведення моніторингу.

1.2 Цифровізація об'єктів культурної спадщини

На сьогоднішній день ОКС часто занепадають і обрушуються через брак фінансування на їх відновлення, потрапляють, страждають в ході збройних конфліктів, через пожежі або недбалості. Масштабне руйнування позначилося на історії, але за останні кілька років ОКС отримують другий шанс завдяки 3D-моделюванню. Це велика допомога, щоб дозволити відновити та зберегти ОКС. Багато стародавніх місць та об'єктів тепер можуть бути проаналізовані з використанням таких методів, такі як лазерне сканування, геодезичне та фотограмметричне знімання.

3D моделювання ОКС забезпечує:

1. Реставрація – попередньо створена тривимірна модель є цінним джерелом даних для точного і успішного відновлення;

2. Моніторинг - регулярне оновлення 3D моделі допомагає виявити зміни в стан об'єкта та прийняти рішення про необхідні заходи захисту або порятунку;

3. Дослідження – 3D модель корисна для різних типів аналізу: порівняльний аналіз, виявлення структурних змін, вимірювання, архітектура, текстура, місце розташування. Аналіз може відбуватися без контакту з об'єктом;

4. Збереження – створення 3D моделі є одним із способів збереження і архівування пам'ятника культури на майбутнє;

5. Документація – 3D моделювання - цінний інструмент для документації пам'ятника культури, а 3D модель або її репліка доповнює описову інформацію пам'ятника;

6. Публікація – 3D модель стає доступна широкому загалу, в тому числі і віддалено(Інтернет).

Існує безліч технологій для цифрового отримання форми тривимірного об'єкту. На сьогодні використовують такі методи і технології для моделювання ОКС:

1. Метод натурних обмірів, в тому числі за допомогою електронних геодезичних приладів;
2. Стереодіаграмметричні методи;
3. Методи наземного або повітряного лазерного сканування;
4. Методи на основі контактного або оптичного сканування;
5. Методи магнітної (комп'ютерної) томографії.

Таблиця 1.1 Методи моделювання ОКС

Метод	Опис методу	Прилади, що використовуються
Метод натурних обмірів	Використовується при дуже простих конфігураціях об'єктів, що не мають складних поверхонь і граней, тому цей метод в зазначеній сфері використовується надзвичайно рідко.	Електронні (в тому числі і геодезичні) вимірювальні прилади, які дозволяють отримувати координати точок з точністю декількох міліметрів.
Стереодіаграмметричний метод	Засновані на обробці великої кількості перекриваються знімків. Має високу метричну точність побудови моделей, дає максимум інформації про кольориметричні (колірних) властивості об'єкта, текстурних властивості його поверхні.	Дані космічної зйомки (з штучних супутників Землі), аерофотозйомки (зі спеціально обладнаних літаків) і зйомки з малих носіїв (вертольотів, безпілотних літальних апаратів), а також наземної фотозйомки (фототеодоліта, камери для наземної зйомки, фотокамери загального призначення).

<p>Методи наземного або повітряного лазерного сканування</p>	<p>Принцип дії лазерних сканерів, незалежно від їх типу і призначення, заснований на прямій одноразової (геодезичної) зарубки деякої точки на об'єкті щодо базової, координати якої відомі. Основні параметри лазерного сканера - дальність, точність, швидкість, кут огляду.</p>	<p>Лазерні сканери</p>
<p>Методи магнітної (комп'ютерної) томографії</p>	<p>Ці методи на сьогодні є основними для отримання об'ємних зображень підповерхневих деталей об'єкта. Отримання фотореалістичних моделей ОКН ними неможливо без залучення фотозйомки.</p>	

Вихідними даними для створення цифрових моделей ОКС в Україні та світі найчастіше є результати наземного лазерного сканування та результати крупномасштабних знімачів безпілотного літального апарату (БПЛА).

Лазерний сканер – це прилад, що вимірює з високою швидкістю відстані від сканера до поверхні об'єкта і реєструє відповідні напрями (вертикальні і горизонтальні кути) з подальшим формуванням тривимірного зображення у вигляді хмари точок.

Слід відзначити, що лазерні сканери з'явилися зовсім недавно, поява на ринку перших лазерних сканерів пов'язане з діяльністю японської компанії Sura Technology. Для створення цифрових об'єктів культурної спадщини в 2003 році компанія створила проект СуArk, що має метою створення цифрових копій результатів електронного сканування об'єктів культурної спадщини, отриманих з допомогою розробленого фірмою лазерного сканера. Цей некомерційний проект сприяв поширенню практики впровадження апаратів лазерного сканування.

Кажучи про метод лазерного сканування, цей метод дає змогу вимірювати 3D-просторову інформацію об'єкта на певній відстані від землі за допомогою лазера. Цей метод може швидко набути геометрії великого об'єкта культурної спадщини завдяки своїй високій швидкості експлуатації, мобільності та доступності.

Методи тривимірного сканування:

1. контактний 3D-сканер - для сканування пристрою потрібно перебувати в безпосередньому контакті з об'єктом сканування;

2. безконтактний 3D-сканер - отримання 3D-моделі з його допомогою вважається найбільш перспективним методом 3D-сканування. 3D-сканеру необов'язково контактувати з об'єктом, що дозволяє проводити 3D-сканування для важкодоступних об'єктів, пам'яток культури та архітектури, а також ювелірних виробів. Вже навіть існує промисловий 3D-сканер, який сканує будинки, насипи й інші великі об'єкти:

а. Активні безконтактні 3D-сканери - для вивчення об'єкту використовують структурований світловий або лазерний промінь, який, потрапляючи на об'єкт, відбивається і на основі цього відображення 3D-сканер будує 3D-модель);

б. Пасивні безконтактні 3D-сканери (даний вид використовує вже існуюче відбиття від об'єкта, в основному – сонячне світло).

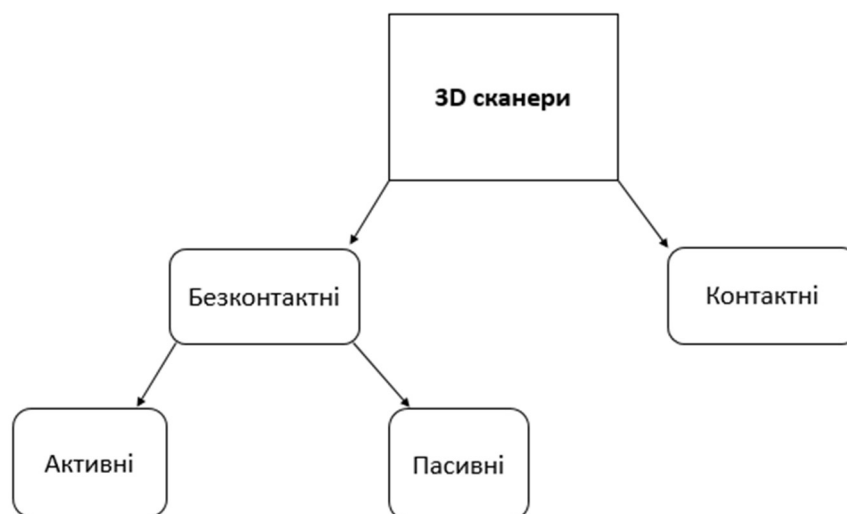


Рис. 1.2 Класифікація скануючих пристроїв

Безпілотні технології – це технології, які дозволяють значно скоротити терміни виконання робіт, забезпечують вимір важкодоступних ділянок, таких як даху, навіси, купола. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) оснащені цифровими камерами високої роздільної здатності та найсучаснішим геодезичним обладнанням, дозволяють швидко і якісно здійснити аерофотозйомку ОКС на заданій висоті в певному місці і часу, з подальшим створенням високоточних геоприв’язаних фотореалістичних 3D-моделей ОКС. В результаті такого сканування виходять готові 3D-моделі з високоточної прив’язкою по координатах.

Фотограмметрія БПЛА забезпечує деякі альтернативні переваги порівняно з лазерним скануванням:

1. має невисоку вартість оброблення і обладнання;
 2. устаткування для польового устаткування легке і зручне в транспортуванні;
 3. зниження часу на польові роботи;
 4. дає можливість працювати на нестабільній основі для інструменту;
 5. дає можливість сканувати рухомі або нестабільні об’єкти або сцени синхронізованими камерами;
 6. дає можливість сканувати дуже малі об’єкти, якщо вони мають текстуру;
 7. відстань сканування обмежується текстурою об’єктів;
- отримання високоякісних текстурованих 3D моделей.

У 2019 році пожежа охопила собор Парижської Богоматері та привела до обвалення шпиля і даху. З метою реконструкції Нотр-Дама використали 3D модель (рис.1.3), яку створили за допомогою лазерного сканування. Крім того, реставраторам і інженерам важлива не тільки зовнішня частина, але і структура внутрішніх перекриттів даху. Ці деталі відомі завдяки документації, яка зберіглася, а також результатами лазерного сканування. За відсутності 3D моделі задача реставрації була б складною.

В Україні багато архітектурних пам'яток і старовинних будівель, які знаходяться в жалюгідному стані, під загрозою знесення і потребують реставрації. За допомогою лазерного сканування - тією ж технологією, що використовувалася для створення 3D-моделі Нотр-Дама.

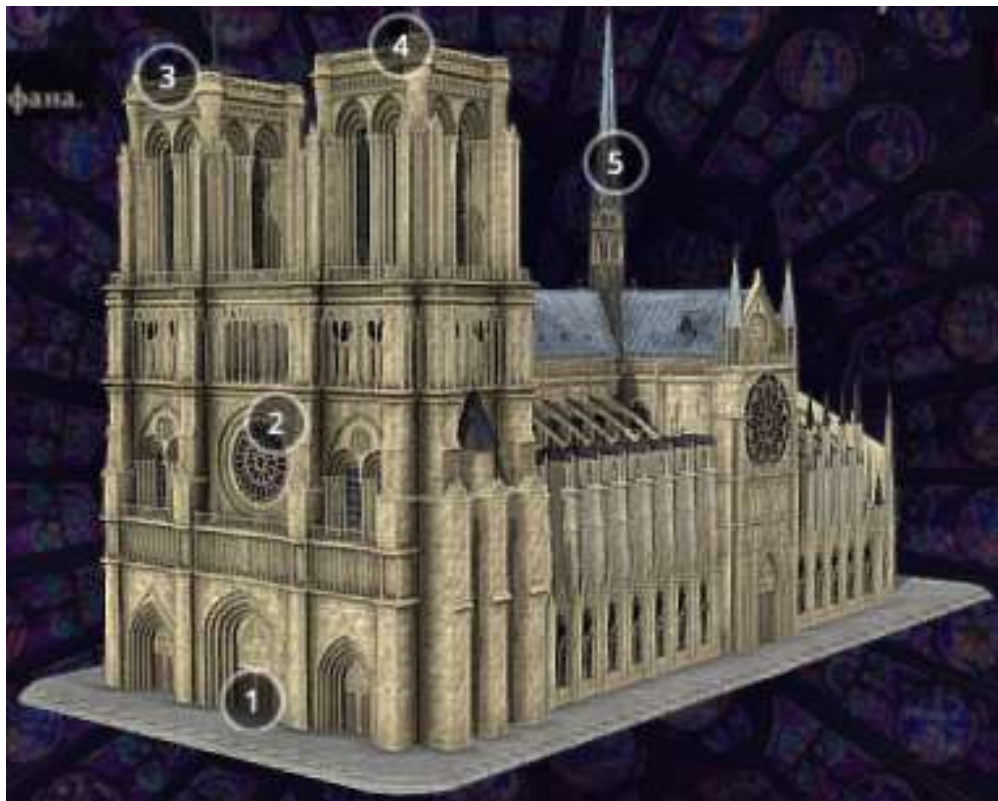


Рис. 1.3 3D модель собору Парижської Богоматері

Згодом ці моделі можна застосовувати в ході реставрацій і реконструкцій. Наземне лазерне сканування забезпечує високоточні і швидкі вимірювання з високою щільністю, збираючи дані і представляючи їх у вигляді хмари точок. Швидкість роботи наземного сканера - до мільйона вимірювань в секунду. В результаті отримується його цифрову копію.

Всього за цей рік було відскановано 10 будівель в Києві, включаючи: садибу Сікорського, урядову дачу УРСР, побудовану в 1930-х, садибу Терещенко, двоповерховий будинок, де в 1920-х розміщувалося відділення поліції.

Україна створює 3D моделей, використовуючи методи фотограмметрії та доповненої реальності, лазерного сканування та промислового моделювання створює 3D-тури пам'ятками української культурної та архітектурної

спадщини. У 3D можна побачити пам'ятники Києва, Андріївську церкву, 3D-тур Кирилівською церквою, а також Національний парк "Межигір'я" (рис. 1.4, рис. 1.5, рис. 1.6).

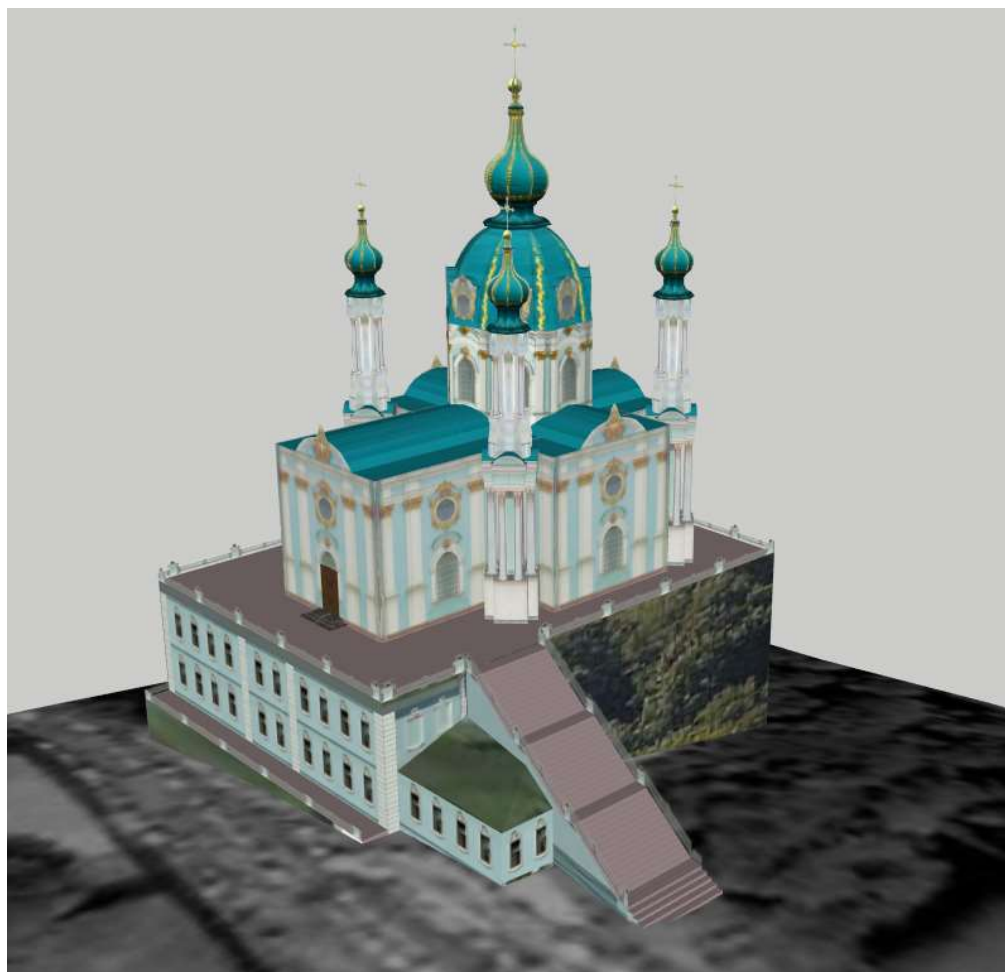


Рис. 1.4 3D модель Андріївської церкви



Рис. 1.5 3D-тур Кирилівською церквою



Рис. 1.6 3D модель Національного парку “Межигір’я”

У квітні 2019 року 24 країни - члени ЄС підписали декларацію про співпрацю з метою оцифрування культурної спадщини. Це друга загальноєвропейська ініціатива після Europeana. Вона спрямована на оцифрування артефактів, пам'яток та історичних пам'яток 3D-культурної спадщини.

Інші проекти оцифрування культурної спадщини ЄС:

1. i-MareCulture – технології, що забезпечують доступ до підводного культурного надбання Європи;
2. GRAVITATE – 3D-реконструкція об'єктів культурної спадщини;
3. ViMM – віртуальні музеї;
4. Matterport - технологія, яке дозволяє створювати інтерактивну 3D-модель приміщення.

1.3 Порівняльний аналіз цифрових моделей об'єктів культурної спадщини

Меш-модельовання - це найефективніший метод моделювання об'єктів нестандартної форми, таких як, промислові деталі, скульптури, декоративні елементи в архітектурі, прототипи для анімації, гірничодобувні обсяги та інше.

Триангуляційною поверхнею між точками називають Mesh модель, тобто це хмара точок, між якими накладається поверхня, а вже потім накладається

текстура. Перевага такої моделі полягає у високій точності та швидкості виконання роботи, але недоліком є те, що вона не параметрична.

Сама модель являє собою полігональну сітку, яка складається з безлічі трикутників. Розмір трикутників, в свою чергу, визначає точність відображення досліджуваної поверхні.

Таким чином, в архітектурі mesh-моделі мають різні рівні деталізації. Чим вище деталізація, тим менший розмір трикутників сітки, і тим більшу вагу має фінальний продукт.

Крім деталізації, на вагу та швидкість обробки даних впливають кольоровість моделі і площа самого об'єкта. Тому дуже важливо з самого спочатку визначити цілі і завдання продукту, щоб оптимізувати процес сканування і моделювання.

Як правило, готові меш-моделі надаються в форматі .stl.

Інформаційне моделювання будівель (ВІМ) – це процес оптимізації проєктування і будівництва. За допомогою ВІМ-технології створюється інформаційна модель, яка забезпечує точне бачення проєкту в цілому.

Технологія інформаційного моделювання будівель полягає в побудові тривимірної віртуальної моделі будівлі в цифровому вигляді, яка несе в собі повну інформацію про майбутній об'єкт. Вона забезпечує можливості керування документами, координації та моделювання на протязі всього життєвого циклу проєкту (планування, проєктування, будівництво, експлуатація та обслуговування).

Дані ВІМ також можна використовувати для організації планування та постачання ресурсами на рівні проєкту, міста або країни. Саме тому інтерес до технології ВІМ стає дедалі більше.

Перевагами ВІМ моделювання є:

1. підвищення точності фінансових розрахунків;
2. зниження кількості просторових колізій;
3. зниження фінансових витрат на будівництво;
4. точність прогнозів;

5. зменшення кількості змін в проєкті;
6. швидке коригування інформаційної моделі;
7. точне планування роботи на майданчику будівельної техніки;
8. створення коректних графіків закупівлі матеріалів;
9. покращення всіх ключових логістичних процесів будівництва та експлуатації.

До недоліків можна віднести:

1. складність освоєння технологій;
2. вагомі витрати – дуже дороге програмне забезпечення, навчання співробітників, консультації фахівців;
3. недосконалість програмного забезпечення BIM - цей недолік є головним аргументом критиків даної технології. Існує багато проблем з випуском проектної документації, яка б відповідала існуючим стандартам.

Виходячи з усього вище сказаного, можна зробити висновок, що застосування BIM-технологій значно полегшить працю проєктувальників і поліпшить якість проектної документації. Як мінімум, виключаються помилки невідповідності, і сильно скорочується час на виконання робіт.

CAD моделювання - це система, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проєктування, являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проєктування, що включає комплекс технічних, програмних та інших засобів автоматизації із закладеними в них інженерними рішеннями. CAD моделювання використовується в області архітектури та будівництва. Використовується для проєктування будівель, промислових об'єктів, доріг, мостів та інших об'єктів.

Математичні моделі, що використовуються у випадку необхідності апроксимації геометричних даних називаються CAD моделями. Вони також можуть бути корисними для відображення спрощеної моделі, пам'ятників або при необхідності показати їх просторове положення та розміри без необхідності відображення точних геометричних форм споруди. Так як

пам'ятки культури мають складну геометричну форму, тому CAD моделі математичними методами не описуються і не використовуються.

CAD моделі на відміну від mesh-моделі є параметричною та складається з примітивів (куби, сфери, трикутники). Іншими словами CAD модель це спрощена mesh-модель.



Рис. 1.7 Класифікація цифрових моделей об'єктів культурної спадщини

Висновок до першого розділу

В роботі наведено визначення та класифікація ОКС, вивчено нормативне забезпечення ОКС. Порівняльний аналіз цифрових моделей об'єктів культурної спадщини обґрунтовує доцільність використання технології CAD моделювання при цифровізації ОКС. Розглянуті методика, технології та досвід моделювання ОКС в Україні та Світі свідчать про актуальність напрямку дослідження застосування фотограмметричних методів.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Коваленко В.С.			Створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант		Горковчук Ю.В.					1	
Керівник		Горковчук Ю.В.				31		
Зав. каф.		Карпінський Ю.С.				ІПО КНУБА, група ГСТ-61		

2.1 Розроблення методики моделювання ОКС фотограмметричними методами (з використанням БПЛА)

Для вирішення завдання створення цифрових 3D моделей об'єктів культурної спадщини частіше використовуються фотограмметричні методи, засновані на обробці великої кількості знімків, які перекриваються. Тривимірні моделі створюються з набору фотографій, зроблених під різними кутами. Ці зображення повинні охоплювати всю поверхню об'єкта із значним перекриттям між парами фотографій.

Основними завданнями, які потрібно вирішити при визначенні тривимірних координат точок на поверхні об'єкту фотограмметричними методами, є наступні:

1. *Вибір методики (режимів і конфігурації) зйомки.* Точність і коректність фотограмметричних побудов моделі істотно залежать від параметрів зйомки - геометрії розташування знімальних камер і їх орієнтації, масштабу знімків, а значить і лінійного дозволу на об'єкті, складності форми об'єкта, умов освітлення, а також деяких обмежень, що накладаються умовами зйомки. Тому для забезпечення необхідних показників якості моделі, а саме метричної точності і фото-реалістичності, в кожному конкретному випадку необхідно вирішувати задачу обґрунтованого вибору параметрів і умов зйомки.

2. *Калібрування знімальному системи та підготовка мережі опорних точок (знімальної основи).* Під завданням калібрування розуміються визначення елементів внутрішнього орієнтування фотокамер і проектування положення мережі знімальної основи.

3. *Зйомка та фотограмметрична обробка знімків і створення стереомодель об'єкта.* Головним завданням на цьому етапі є отримання координат у відносній системі координат моделі об'єкта необхідної кількості точок поверхні моделі (хмари точок).

4. *Розрахунок тривимірних координат хмари точок об'єкта складної форми в локальній системі координат, масштабування і орієнтація моделі в заданій системі координат.*

5. *Апроксимація тривимірної поверхні моделі об'єкта* по хмарі точок, її текстура, «розфарбування» моделі і перетворення її в один із спеціалізованих форматів для зберігання і візуалізації.

Особливості використання БПЛА:

1. відносно мала висота польоту (дозволяє проводити зйомку на висотах від 100 до 3700 м);

2. наявність на борту GPS-приймача і відповідного знімального обладнання дозволяє отримувати цифрові знімки надвисокої роздільної просторового дозволу до декількох сантиметрів (2-4 см) в різних спектральних діапазонах;

3. через великого впливу вітру на політ БПЛА, маршрут слід проектувати з поздовжнім перекриттям не менше 80% і поперечним не менше 40%, щоб виключити розриви;

4. високий дозвіл на місцевості (видно найдрібніші деталі рельєфу і об'єкти навіть сантиметрового розміру);

5. можливість створення панорамних знімків (супутникова і традиційна аерофотозйомка не мають такої можливості);

6. можлива детальна зйомка невеликих об'єктів, технологія аерофотозйомки з БПЛА дозволяє проводити аерофотозйомку невеликих об'єктів і малих майданчиків там, де зробити це іншими видами аерофотозйомки нерентабельно, а в ряді випадків і технічно неможливо;

7. оперативність (весь цикл від виїзду на зйомку до отримання кінцевих результатів займає кілька годин протягом одного дня);

8. низька вартість (значно дешевше традиційних методів аерофотозйомки);

9. екологічна безпека (для роботи використовується електричний двигун, що забезпечує практичну безшумність і екологічну чистоту польотів).

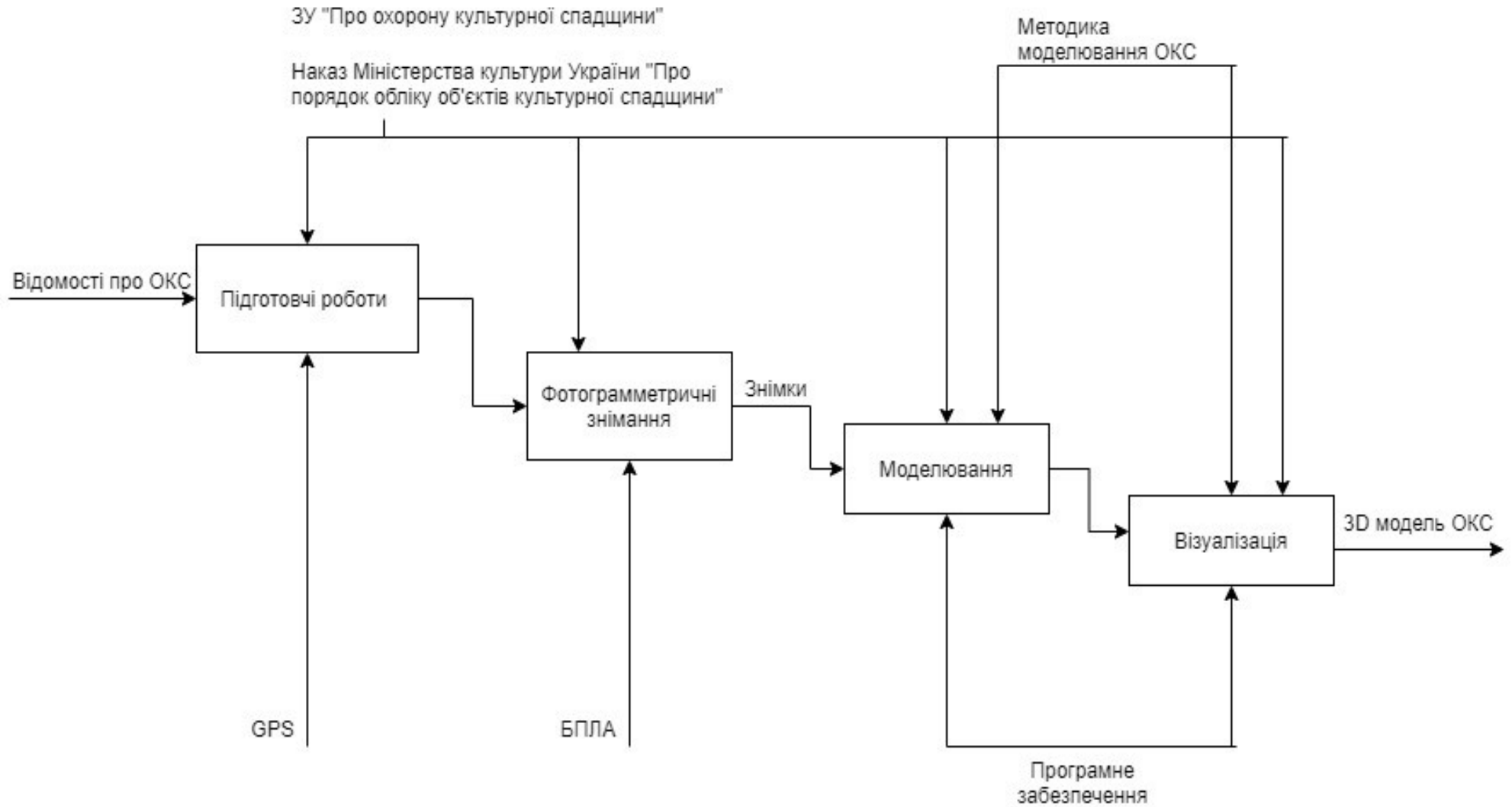


Рис.2.1 Методика моделювання ОКС фотограмметричними методами

2.2 Технологія фотограмметричного знімання об'єктів культурної спадщини

Технологія фотограмметричного знімання з використанням БПЛА

Для того щоб отримати матеріали з високою точністю і якістю з польових робіт треба врахувати метод отримання фотографій місцевості (повітряний, наземний, змішаний). Враховуються такі критерії при отриманні фотознімків з БПЛА:

1. тип місцевості/об'єкту;
2. тип камери;
3. мета проекту;
4. висота зальоту, перекриття зображень, кут нахилу камери;
5. маршрут зальоту.

Доступні типи маршруту польоту БПЛА: коридорний, у вигляді сітки чи кругових місій.

Підбір параметрів камери є важливим кроком, оскільки неправильно виставлені параметри камери можуть призвести до зображень з розмиттям, шумом, чи спотворенням.

В підготовці до польових робіт необхідно вибрати спосіб геоприв'язки зображень. Вона може бути виконана за допомогою зовнішнього або вбудованого в камеру GPS приймача.

Для побудови моделі в автоматичному режимі треба отримати зображення з достатньою кількістю перекриття між знімками. Для цього детально розробляють план знімання. План знімання залежить від необхідного розширення вихідної моделі місцевості (см на піксель), що залежить від специфікації проекту і типу місцевості/об'єкту, що моделюється. Поганий план знімання призведе до недостатнього перекриття між знімками або спотворень геометрії майбутньої моделі.

Основним завданням при побудові плану знімання є підтримка високого перекриття між зображеннями. Рекомендоване поздовжнє перекриття в більшості випадків становить щонайменше 75%, а поперечне

не менше 60%. Для отримання зображень рекомендується будувати маршрут у вигляді регулярної сітки (рис 2.2).

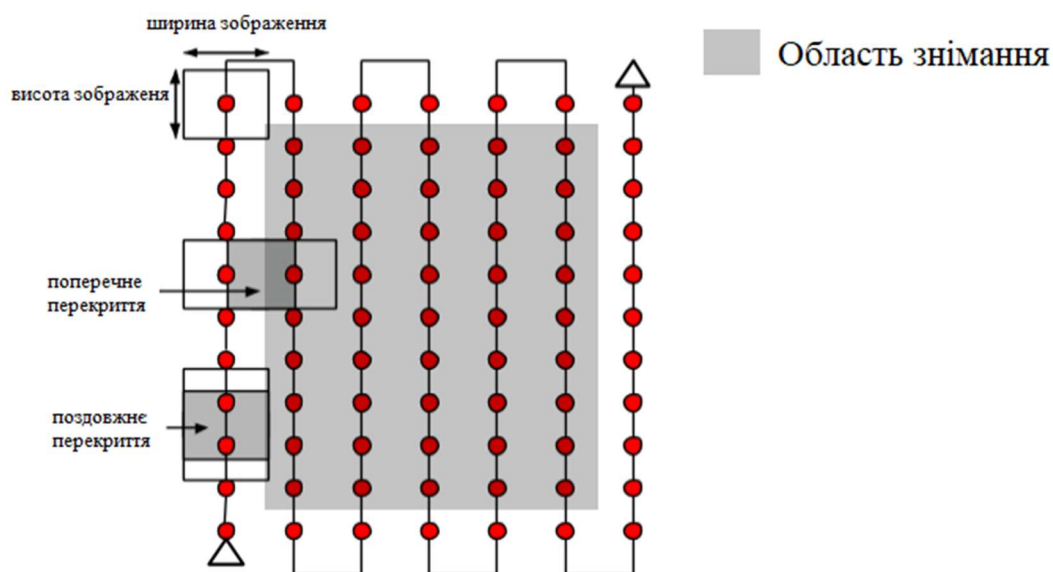


Рис. 2.2 Побудова плану знімання

Необхідно, щоб камера постійно знаходиться на одній висоті аби забезпечити незмінність роздільної здатності вихідного ортофото.

Етап розрахунку параметрів польоту розпочинається з розрахунку роздільної здатності вихідної моделі або Ground Sampling Distance (GSD) – це відстань на земній поверхні між центрами двох сусідніх пікселів. Вона впливає на точність і якість кінцевих результатів, а також деталей, які видно в кінцевому ортофотоплані.

Висота польоту H , яка необхідна для отримання заданої GSD залежить від фокусної відстані камери, ширини сенсора камери [мм], а також ширини зображення [пікселі] (рис. 2.3).

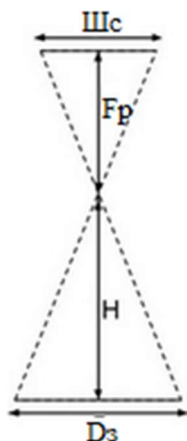


Рис.2.3 Розрахунок висоти знімання

$Шс$ = фізична ширина сенсора камери [мм]

$Fр$ = реальне фокусна відстань [мм]

H = висота польоту [м]

$Dз$ = відстань, пройдена на землі на одне зображення в напрямку ширини [м]

На основі рівняння:

$$H/F_p = D_z/Ш_c \quad (2.1),$$

висота знімання H буде дорівнювати:

$$H = (D_z * F_p) / Ш_c \quad (2.2),$$

Відстань, пройдена на землі на одне зображення в напрямку ширини (ширина сліду) буде дорівнювати:

$$D_z = (Ш_z * GSD) / 100 \quad (2.3),$$

Де D_z – відстань, пройдена на землі на одне зображення [м],

$Ш_z$ – ширина зображення [пікселі],

GSD – бажана роздільна здатність вихідної моделі [см/піксель].

Розрахувавши за рівняннями (2.1) і (2.2) роздільну здатність вихідної моделі (GSD) = 0,0038 [м] або 3.8 [мм] та підставивши це значення у рівняння (2.3), $D_z = 13,98$ [м].

Комбінуючи рівняння (2.2) і (2.3), висота польоту визначається за формулою:

$$H [м] = (Ш_z * GSD * F_p) / (Ш_c * 100) \quad (2.4),$$

Висота знімання отримується в метрах, якщо бажана роздільна здатність моделі буде вимірюватись в см/піксель.

Для отримання висоти польоту, необхідно знати роздільну здатність вихідної моделі (GSD) - 3,8 см/піксель з використанням камери з реальною фокусною відстанню - 10,3 мм і реальною шириною сенсора - 9 мм. Розраховуючи, що 3648 пікселів - ширина зображення, тоді з використанням рівняння (2.4), висота польоту повинна бути 16 м.

Виходячи з розрахунків, роздільна здатність знімків на об'єкті становила з інтервалом від 1 мм до 4 мм, так як, під час зйомки на максимальній висоті зальоту 16 м відстань до об'єкту змінювалась.

$$H = (Ш_z * GSD * F_p) / (Ш_c * 100) = (3648 * 3,8 * 10,3) / (9 * 100) = 16 \text{ м.}$$

В налаштуваннях камери також потрібно враховувати швидкість затвору, діафрагми та чутливість ISO. Існує залежність між цими параметрами. Для обробки, знімки повинні бути чіткими і мати найменшу

кількість шумів. Такі знімки можна отримати, якщо сцена однаково освітлена і параметри камери добре відрегульовані. Якщо сцена недостатньо освітлена, зображення будуть розмиті, з шумами, що призводить до погіршення результатів обробки.

Геоприв'язка знімків є не обов'язковою для успішної побудови моделі, але знання координат БПЛА під час знімання значно спрощує та прискорює обробку даних. Якщо знімки не мають геоданих, програмні засоби потребують введення опорних точок для локалізації масштабування та орієнтації моделі. В більшості випадків зручно використовувати камеру з вбудованим GPS трекером. Тоді дані про положення камери під час фотографування записуються у файл зображення як EXIF – дані.

Наявність у БПЛА RTK GPS приймача, координати знімків отримуються з точністю 2-4 см, що забезпечує високу якість моделі навіть без опорних точок виміряних на земній поверхні.

Технологія фотограмметричного знімання показана на рис. 2.4.

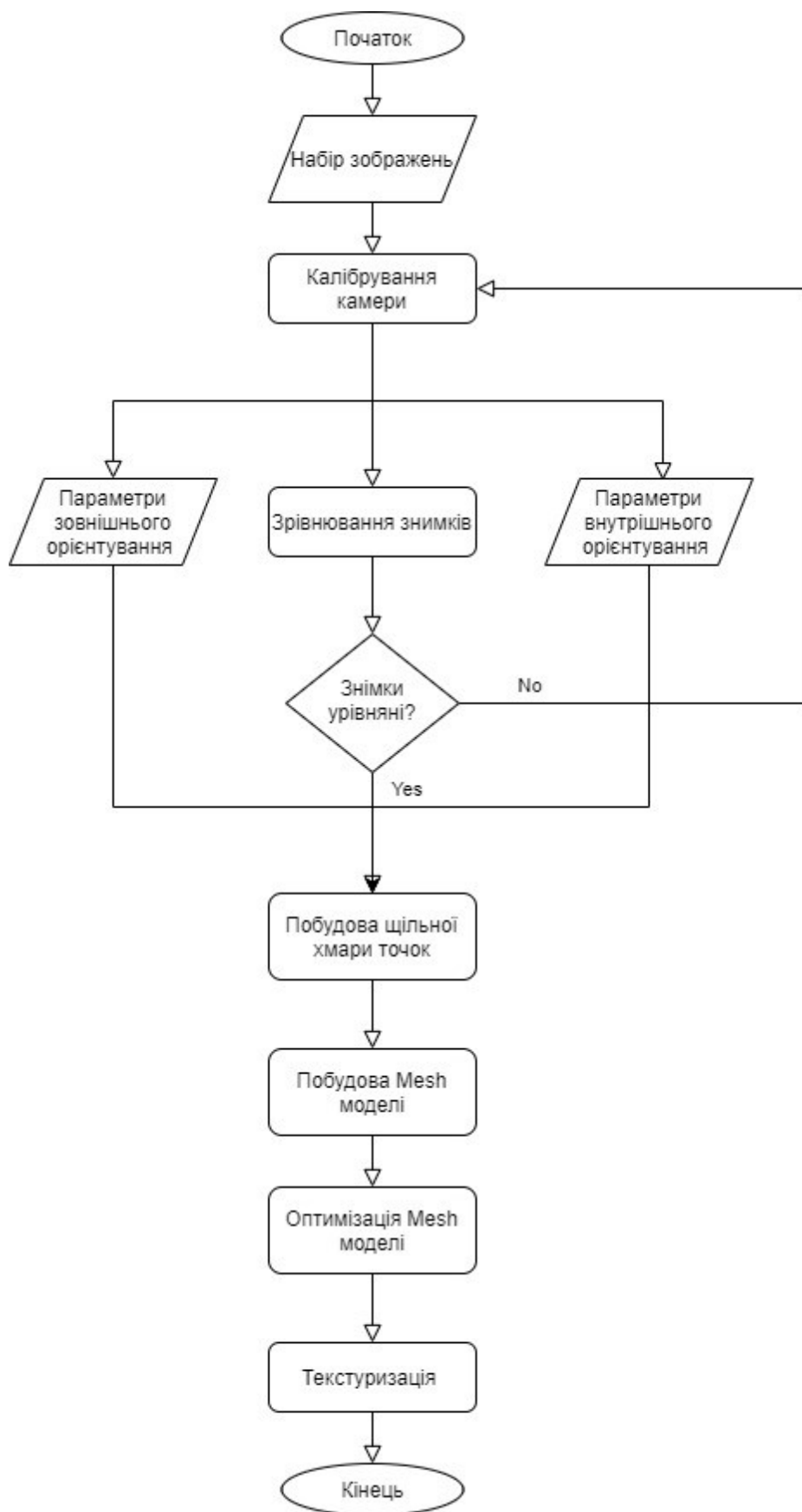


Рис. 2.4 Технологія фотограмметричного знімання об'єктів культурної спадщини

Технологія лазерного сканування

Технологія лазерного сканування заснована на методі визначення тривимірних координат кожної окремої точки на об'єкті, що знімається.

3D-сканування - це процес переведення координат точок реальних об'єктів, з метою отримання їх полігональних моделей, в цифрові, які в подальшому можуть модифікуватися в спеціальних редакторах для утворення остаточної 3D моделі. Для здійснення сканування застосовують спеціальні пристрої, які називаються 3D-сканерами. Процес створення 3D-моделей за допомогою них значно спрощується та пришвидшується, а також дозволяє вирішувати такого роду задачі з максимальною наближеною точністю до оригінального об'єкта.

Принцип роботи 3D-сканера базується на принципі стереозору. Сканер має дві камери та здатний визначити відстань до об'єкту і його розміри. Після отримання необхідної інформації, 3D-сканер будує 3D-модель об'єкту. Для уникнення неточностей, 3D-сканер обладнаний підсвічуваннями для кожної з камер.

Використання при фотограмметричній зйомки ОКС тривимірного наземного сканування дозволяє значною мірою спростити процес фотограмметричної обробки знімків, і в кінцевому підсумку скоротити терміни виконання робіт.

Тривимірна наземна лазерна зйомка проводиться шляхом визначення тривимірних координат точок об'єкта методом полярної зарубки з одночасною фіксацією інтенсивності відбитого сигналу. Принцип наземного сканування для визначення координат точок об'єкта полягає в тому що, координати точки M об'єкта ($X_c Y_c Z_c$) в системі координат сканера S ($X_s Y_s Z_s$) визначаються за значеннями вимірних горизонтального γ і вертикального ν кутів променя візування SM і похилій дальності до знімається точки $SM = D$, яка визначається за допомогою імпульсного або фазового лазерного далекоміра (рис. 2.5)

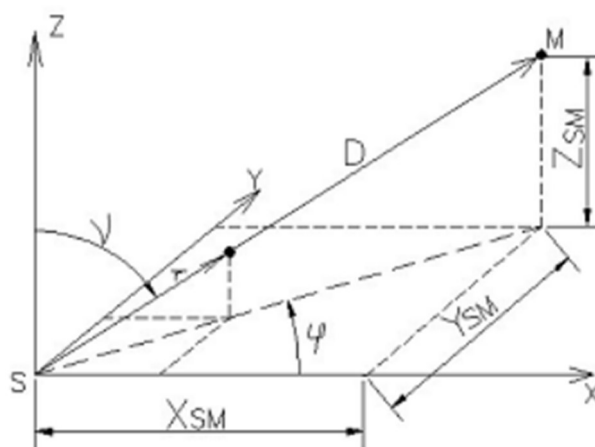


Рис. 2.5 Принцип наземного лазерного сканування для визначення координат точок об'єкта

Далекомір має високу швидкість вимірювань - від декількох сотень до десятків тисяч операцій в секунду. Координати точок, отримані в результаті сканування об'єкта, об'єднуються у великі групи точок (від сотень до мільйонів), так звані хмари точок.

Зйомка об'єкта здійснюється шляхом послідовного визначення координат точок об'єкта, розташованих в перетинах об'єкта площинами сканування, що проходять через вісь Z з системи координат сканера. В кожній площині вимір точок проводиться шляхом циклічного повороту навколо горизонтальної осі сканера на кут Δ .

Після завершення вимірювань точок в одній вертикальній площині відбувається поворот сканера навколо вертикальної осі на кут Δ і вимірювання виконуються при новому положенні площини сканування. В результаті зйомки виходить якийсь масив (хмара) точок, що описує об'єкт в системі координат сканера. При необхідності зйомка виконується з декількох точок стояння приладу з перекриттям хмар точок на об'єкті.

Потім, в спеціалізованому програмному, забезпеченні виконується взаємне і зовнішнє орієнтування хмар точок. Взаємне орієнтування виконується за загальними точкам в зоні перекриття, а зовнішнє по опорним точкам, координати яких визначені в системі координат об'єкту. В якості опорних точок можуть бути використані природні контурні точки об'єкта,

але частіше використовуються спеціальні марки, заздалегідь встановлені на об'єкті.

Наземне лазерне сканування має ряд переваг:

1. дає можливість сканувати об'єкти без текстури;
2. краще виконує сканування поверхонь з великою або раптовою зміною глибини;
3. немає необхідності знати попередньо наближене значення глибини;
4. не потребує марок або чітких контурів на парі фотознімків;
5. дає можливість сканувати поверхні вночі без додаткового освітлення.

Таблиця 2.1.

Технічна характеристика результатів просторового сканування

Характеристика	Наземне лазерне сканування	Фотограмметричне знімання
Тип отриманих даних	Хмара точок (набір просторових координат точок)	Текстурована полігональна модель(поверхня об'єкту у вигляді полігонів)
Формат даних:	obj, ply,xu3	obj,3tl
Цільове призначення	Визначення гемометричних параметрів об'єкту	Побудова мережі трикутників, що відтворює поверхню об'єкту
Точність	Об'єктно-залежна, перші міліметри-сантиметри	Залежить від характеристики поверхні що знімається, перші міліметри-сантиметри.
Обсяг даних	Залежить від типу вихідного файлу, до десятків гігабайт	Залежить від щільності полігонів у побудованій моделі, до десятків гігабайт
Програмні комплекси	Leica Cyclone, Faro Scene, Autodesk Recap (Програмні продукти для зшивання окремих точок сканування)	Agisoft Photoscan, Bentley Context Capture, Reality Capture (Програмні продукти для реконструкції тривимірних об'єктів по цифровим фотознімкам)
Вартість обладнання	Висока вартість апаратного обладнання	Висока вартість та ресурсоемність програмних комплексів

2.4 Особливості використання програмних засобів створення 3D моделей об'єктів культурної спадщини

Залежно від матеріалу, отриманого за допомогою БПЛА, створюються детальні 3D моделі ОКС. Дані, отримані внаслідок зйомки, підлягає фотограмметричній обробці за допомогою автоматизованого програмного забезпечення. Існує безліч програм для фотограмметрії, які можна використовувати для обробки знятих зображень.

На сьогоднішній день найпопулярнішими програмами є:

- AgisoftPhotoScan
- RealityCapture
- TrimbleUASMaster
- Pix4D

AgisoftPhotoscan - це програмне забезпечення, що виконує фотограмметричну обробку цифрових зображень і генерує тривимірні просторові дані та дозволяє створювати 3D моделі, ортофотоплани і ЦММ.

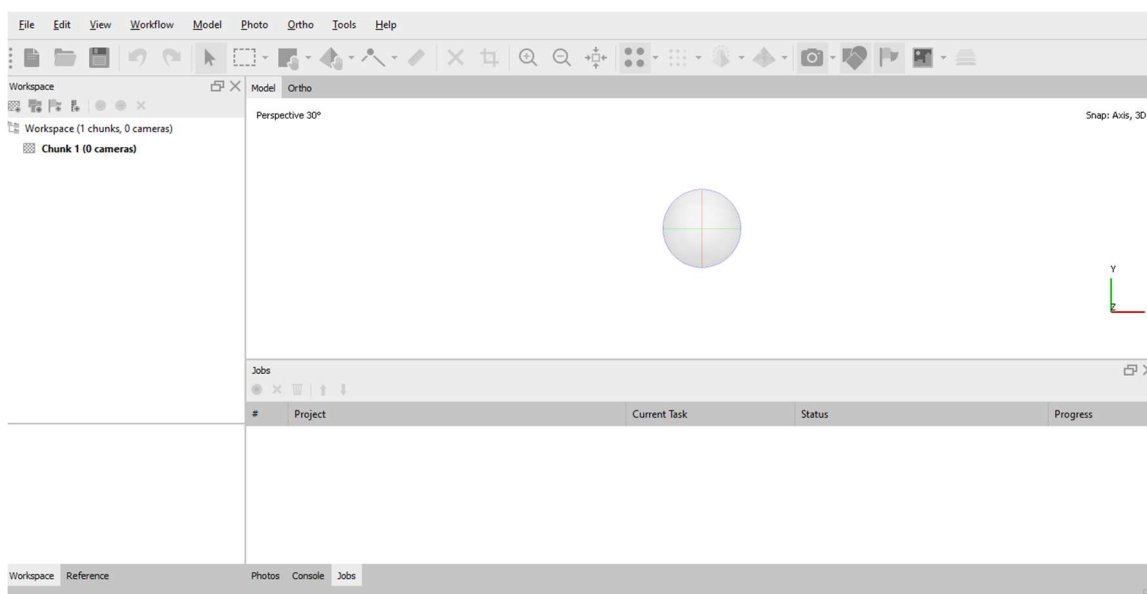


Рис. 2.6 Інтерфейс програми AgisoftPhotoScan

RealityCapture - це програмне забезпечення, яке автоматично створює 3D-моделі з високою роздільною здатністю по фотографіях або лазерним сканам. RealityCapture може обробляти тисячі зображень і сканувань протягом декількох хвилин і може створювати дуже докладні 3D-моделі, які

підходять для широкого спектру застосувань - культурної спадщини, візуальних ефектів, ГІС, 3D-карт, промисловості, вмісту 3D-друку, вимірювань і аналізу.

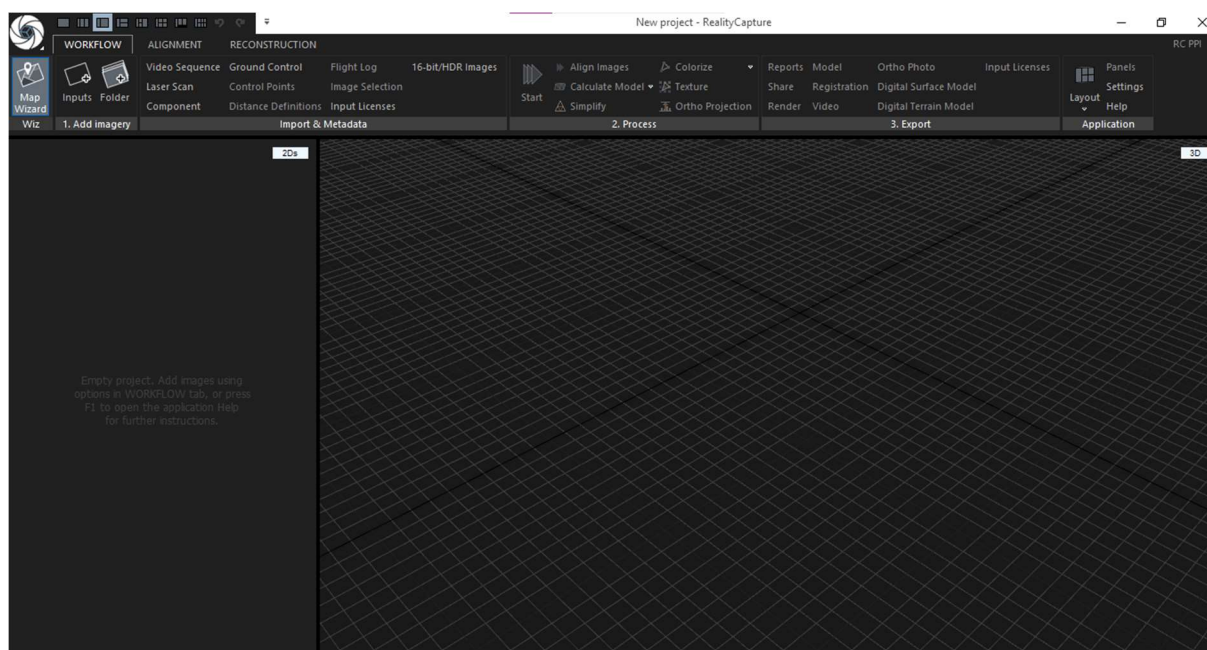


Рис. 2.7 Інтерфейс програми RealityCapture

TrimbleUASMaster - це програмне забезпечення є найбільш придатним інструментом для повної обробки даних, отриманих з БПЛА.

UASMaster містить новітню технологію для фотограмметричної обробки даних. Програмне забезпечення UASMaster легко інтегрується в програмну лінійку INPHO (повнофункціональна фотограмметрична система для всіх стандартних завдань у цифровому фотограмметричному проекті, включаючи геокодування, создание ЦМР, ортотрансформування й стереоскопічну оцифровку), а також в фотограмметричний процесор інших програмних продуктів. Його перевага складається в дуже зрозумілому робочому інтерфейсі, здатному обробляти дані, одержувані з БПЛА майже будь-яких виробників. Також передбачено виконання повністю автоматичного процесу геоприв'язки, калібрування камери, побудови хмари точок і ортомозаїк.

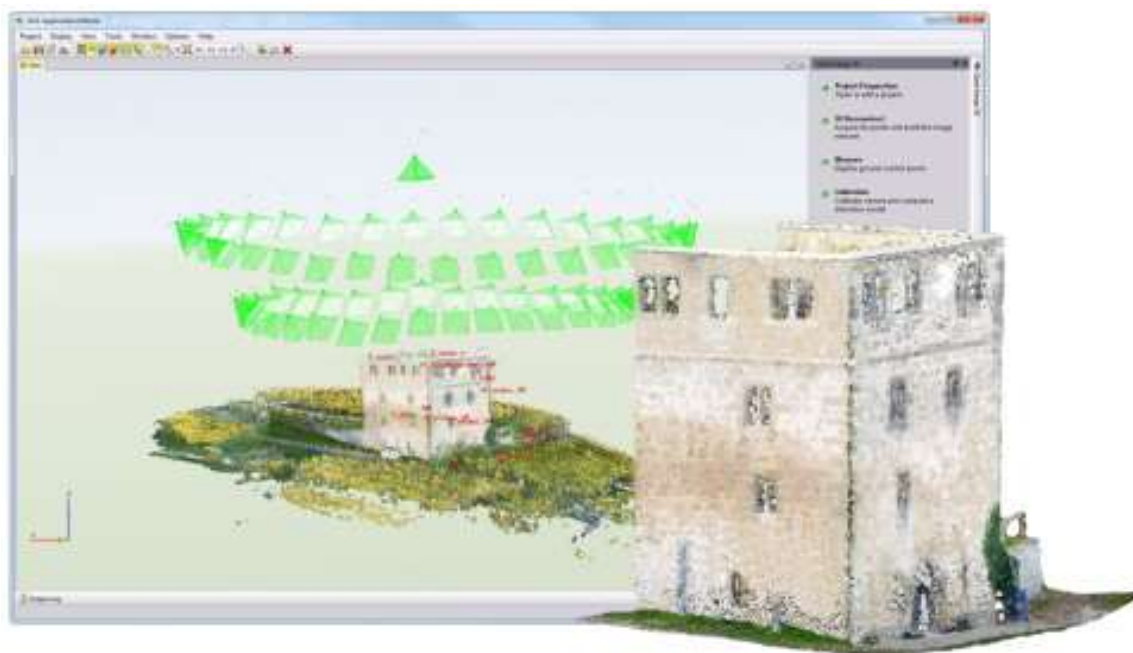


Рис. 2.8 Інтерфейс програми TrimbleUASMaster

Pix4D - програмне забезпечення, яке призначене для фотограмметричної обробки даних з БПЛА. Програма дозволяє в атоматичному режимі знімати на камеру квадрокоптера сотні фотографій з різних ракурсів, які за допомогою спеціального алгоритму обробляються і об'єднуються в одну топографічну карту або 3D-модель, розраховуючи при цьому необхідне перекриття між знімками використовуючи дані GPS з дрону. За виконавцем залишається лише керування польоту.

Після завершення зйомки отримані дані необхідно імпортувати в програму *Pix4D* або відправити в хмарне сховище для обробки. За допомогою технології розпізнавання образів почнеться пошук спільних або «зв'язуючих» точок на фотографіях: шукаються унікальні схожі поєднання пікселів за кольором і геометричному розташуванню на різних фотографіях, в результаті чого це збіг стає ключовою крапкою. Для побудови точки цієї моделі в просторі необхідно збіг мінімум на трьох фотографіях, але краще на більшій кількості, а це можливо якщо перекриття фотографій становить не менше 60% в поперечному і 75% в поздовжньому напрямках.

У програмну лінійку від *Pix4D* входять такі продукти, як *Pix4Dmapper*, *Pix4Dfields*, *Pix4Dmodel*, *Pix4Dbim*.

Саме за допомогою Pix4Dmodel виробляють оцифровку історичних пам'яток, всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, архітектурних споруд. Отримані моделі можуть бути використані як інтерактивні об'єкти в програмах для VR-гарнітур або для створення відеороликів польоту і подальшої публікації. Доступний експорт отриманої моделі в різних популярних форматах (.bj, .fbx, .dxf, .ply) для використання в програмах моделювання та 3D-друку.

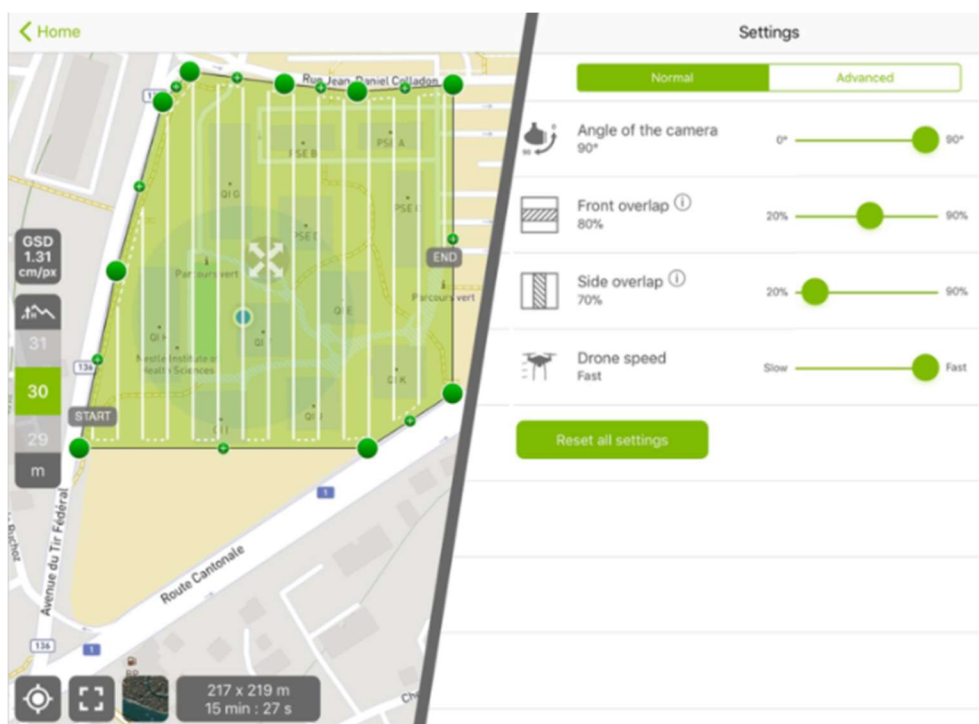


Рис. 2.9 Інтерфейс програми Pix4D

Таблиця 2.2 Порівняння програмного забезпечення

Назва	Переваги	Недоліки
AgisoftPhotoScan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відмінна математична модель; 2. Прекрасно реалізована робота з опорними точками; 3. Є функція авто розпізнавання маркерів, підтримка масштабних лінійок; 4. Для моделей з заданим масштабом вимірюється відстань і розраховується площа поверхні і об'єм масштабування моделі; 4. Гнучкий і нелінійний процес обробки; 5. Підтримує зовнішні Python скрипти; 6. Автоматична генерація ЦМР відмінної якості; 7. Редагування і класифікація щільної хмари точок; 8. Можна створювати дуже складні 3D моделі для друку або графіки. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Складність освоєння “просунутого” функціоналу; 2. Немає автоматичного розбиття сцени на частини; 3. При великій кількості знімків час обробки досить великий.
RealityCapture	<ol style="list-style-type: none"> 1. Процес обробки від вирівнювання знімків до побудови ортофото не перериваючись; 2. Автоматична генерація полігональної сітки; 3. Висока швидкість обробки зображень; 4. Програма дає хороші результати навіть при поганій якості зйомки; 5. Функція швидкої фототріангуляції; 6. Експорт сіток може здійснюватися у форматах FBX, OBJ або PLY. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не вмє робити ЦМР; 2. При обробці великих обсягів даних з’їдає всі ресурси ПК; 4. Швидка обробка даних.

TrimbleUA SMAster	<ol style="list-style-type: none"> 1. Легко інтегрується в програмну лінійку INPHO; 2. Виконання повністю автоматичного процесу геоприв'язки, калібрування камери, побудови хмари точок і ортомозаїк. 	
Pix4D	<ol style="list-style-type: none"> 1. Використовується для обробки аерофотознімків і отримання високоточних ортофотопланів, 3D-моделей, ЦММ, ЦМР; 2. Автоматичний режим знімання на камеру квадрокоптера сотні фотографій з різних ракурсів, які за допомогою спеціального алгоритму обробляються і об'єднуються в одну топографічну карту або 3D-модель; 3. Точність зйомки становить від 1 до 2 см / піксель в площинах X і Y, а також від 1 до 3 см / піксель в площині Z; 4. Підтримка роботи з більшістю сучасних дронів, що прискорює і спрощує процес фотограмметрії, оцифровки і побудови 3D-моделей. 	

Висновок до другого розділу

У другому розділі було розроблено методика щодо моделювання ОКС фотограмметричними методами, використанням БПЛА та розписана технологія фотограмметричного знімання, а саме сценарій зйомки БПЛА для успішного моделювання, та описана технологія лазерного сканування. Також наведена характеристика результатів просторового сканування у таблиці. У цьому розділі були описані інструментальні програмні забезпечення, які використовуються для подальшого моделювання ОКС, а також їх особливості.

**РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ
МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ
КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ**

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Коваленко В.С.			Створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант		Горковчук Ю.В.					1	
Керівник		Горковчук Ю.В.				49		
Зав. каф.		Карпінський Ю.С.				ІПО КНУБА, група ГСТ-61		

3.1 Характеристика об'єкту дослідження

Пам'ятник Богданові Хмельницькому в Києві – пам'ятка мистецтва ХІХ століття, один із символів Києва. Урочисто відкритий 11 (23) липня 1888 року рамках святкування 900-річчя Хрещення Русі.

Пам'ятник Богдану Хмельницькому в Києві знаходиться в самому центрі міста і розташований в центрі Софійській площі Цей монумент був встановлений більше 100 років тому і є третім найстарішим київським монументом, і однією з головних визначних пам'яток і емблем української столиці (рис. 3.1).



Рис 3.1 Пам'ятник Богданові Хмельницькому в Києві

Загальна висота монумента становить 10,85 метрів, максимальний габарит - 59,8 метрів, площа - 223,44 м² а на відлив фігури пішло близько 26 тон металобрухту.

Композиційно пам'ятник представляє собою постамент у вигляді скелі, на якій височіла фігура Богдана Хмельницького на коні. Реалістичне відтворення рис обличчя гетьмана, деталей одягу, руху здибленого коня доповнюється загальної романтичної трактуванням скульптурного образу, підкресленого динамічністю композиції.

Скульптура відрізняється складністю ракурсів і чіткістю контурів, ретельним опрацюванням деталей, які добре сприймаються завдяки невисокому постаменту, що нагадує степову козацьку могилу. Особливо виразний силует коня, граціозний вигин її ніг і шиї.

3.2 Фотограмметричні знімання об'єкта дослідження

Дана аерозйомка виконувалась сучасним квадрокоптером DJI Mavic 2 Pro (рис. 3.2)



Рис.3.2 БПЛА DJI Mavic 2 Pro

Таблиця 3.1 Характеристики БПЛА DJI Mavic 2 Pro

Розмір матриці	1" CMOS
Кількість ефективних пікселів	20 Мп
Фокусна відстань	35 мм
Діапазон ISO	100-12800
Супутникові системи позиціонування	GPS/ГЛОНАСС

Mavic 2 Pro оснащений камерою Hasselblad L1D-20c. Камера дозволяє робити знімки з повітря з роздільною здатністю матриці в 20 мегапікселів.

Цей квадрокоптер знімає відео в 4К-форматі. Максимальний розмір зображення 5472 × 3648 пікселів. Об'єктив FOV 77 35 мм формат, еквівалент - 28 мм.

Mavic 2 Pro може розвивати швидкість до 72 км / ч. Максимальна висота польоту - 6000 метрів. Також має супутникові системи

позиціонування GPS/ГЛОНАСС. Квадрокоптер оснащений фронтальними, задніми, верхніми, нижніми і бічними сенсорами.

Для отримання високої точності при аерозйомці, необхідно дотримуватись таких вимог:

1. Проектувати аерофотозйомку з перекриттями (поперечний - 80% уздовж, поздовжнє 90% поперек маршруту), щоб, отримати знімки без розривів для відображення всіх фігур і деталей об'єкта;

2. Найкраще проводити зйомку в похмурий день, щоб уникнути непотрібних тіней на знімках через сонце. Використання спалаху не рекомендується;

3. Об'єкт зйомки повинен залишатися у фокусі і займати по можливості більшу частину кадру;

4. Вибір аерофотоустановки для виключення впливу розмитості на якість аерофотознімків.

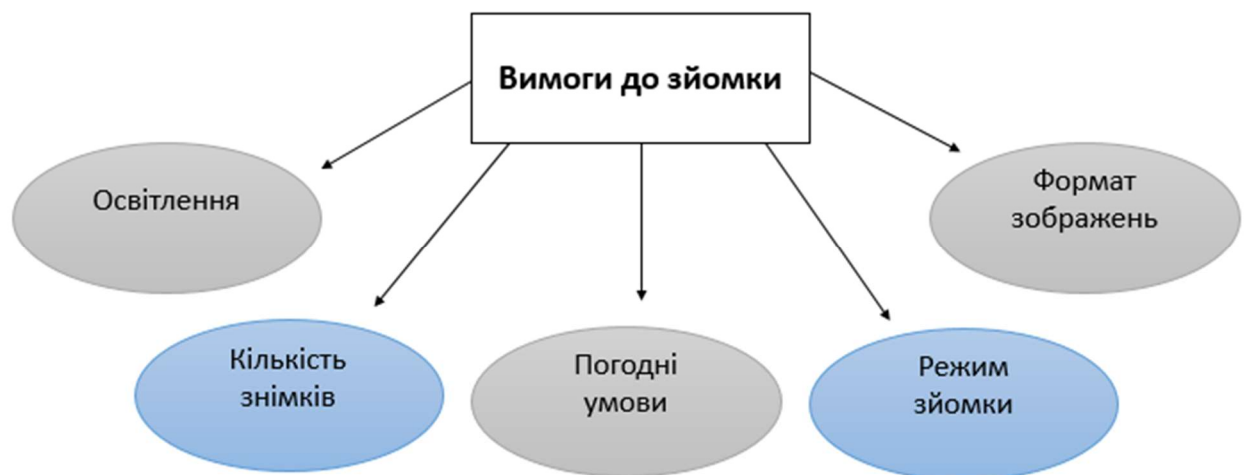


Рис.3.3 Вимоги до аерофотозйомки об'єкту

Для виконання фотограмметричних знімань за допомогою даного БПЛА розроблено декілька спеціалізованих програмних засобів. В нашому випадку використовувалось програмне забезпечення 3Dsurvey Pilot, яке дозволяє планувати місії, робити знімки в автоматичному режимі, розраховуючи необхідне перекриття між знімками використовуючи дані GPS з дрону. За виконавцем залишається лише керування польоту.

Процес зйомки складався з трьох місій знімання об'єкта:

1. Grid зйомка – використовується для розроблення плану/бази зйомки об'єкту для подальшої прив'язки до нього усіх інших перспективних знімків;
2. Кругова зйомка;
3. Ручна зйомка.

В результаті було зібрано 375 знімків розміром 5472×3648 пікселів.

Висота польоту становила 16 м.

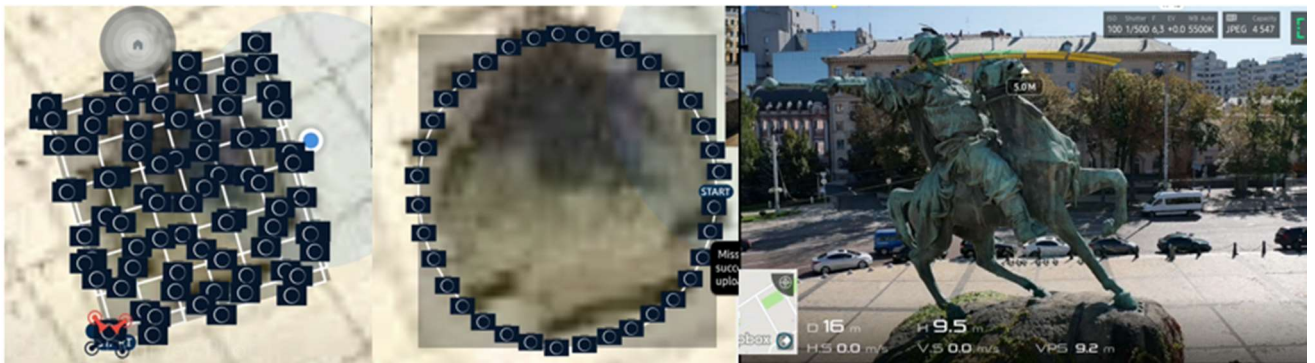


Рис.3.4 Способи знімання об'єкту БПЛА (grid зйомка, кругова зйомка, ручна зйомка)

Переміщення БПЛА навколо об'єкта виконувалось послідовно крок за кроком таким чином, щоб кожен наступний кадр перекривався з попереднім. Відстань від камери до об'єкта повинна бути однаковою. Також було зроблено додаткові кадри зверху і знизу об'єкта. Так як об'єкт великий і має безліч складних деталей, то додатково знімалися детальні елементи пам'ятника. Для визначення координат центрів фотографування використовувався встановлений в БПЛА супутникові системи позиціонування GPS.

Лазерне сканування об'єкта з використанням лазерного сканеру Leica ScanStation C10

Для того, щоб якісно оцінити точність побудови тривимірної моделі було виконано лазерне сканування пам'ятника. Сканування об'єкту виконувалось сканером Leica ScanStation C10.

Leica ScanStation C10 - імпульсний, високошвидкісний лазерний сканер, з двовісним компенсатором, великим діапазоном вимірювання

відстаней, повним полем зору, вбудованою відеокамерою і лазерним центриром.

Швидкість сканування 50 тис. вимірювань в секунду, дальність сканування до 300 метрів, висока точність далекоміра на всьому діапазоні відстаней, кутова точність 12 ", двовісний компенсатор - все це дозволяє цій моделі бути надійним інструментом вирішення безлічі завдань.

Систему дзеркал, що містить дана модель автоматично для швидко обертається повного купола в 360 °. Сканер комплектується вбудованою відеокамерою, що подає потокове відео в реальному часі для ефективнішого задання області сканування і локалізації марок. Одною з головних інновацій є можливість застосування GPS Smart Antena для сканера Leica ScanStation C10, за допомогою якої можна визначати координати точки стояння не прив'язуючись до опорної мережі, що значно зменшує час на об'єкті сканування.

Характеристики приладу:



СКП вимірювання кута	12''
СКП вимірювання віддалі	4мм
СКП положення точки	6 мм

Рис.3.5 Leica C10 Scan Station

3.3 Моделювання об'єкта дослідження та оцінка точності результатів

Наступним етапом після аерофотозйомки – камеральні роботи.

В даній роботі використовуються два методи для отримання даних про реальне середовище - тривимірне лазерне сканування і модернізована

фотограмметрія. Перший метод використовує активний датчик - лазер, а другий - пасивний датчик - фото. Обидва методи широко використовуються для 3D моделювання пам'яток культурної спадщини.

Результати фотограмметричного знімання було опрацьовано в декількох різних програмах AgisoftPhotoScan та Reality Capture, які включали в себе фотограмметричну обробку аерофотоматеріалів.

Блок-схема технології створення реалістичних текстурованих 3D моделей в цих програмах показана на рис. 3.6.

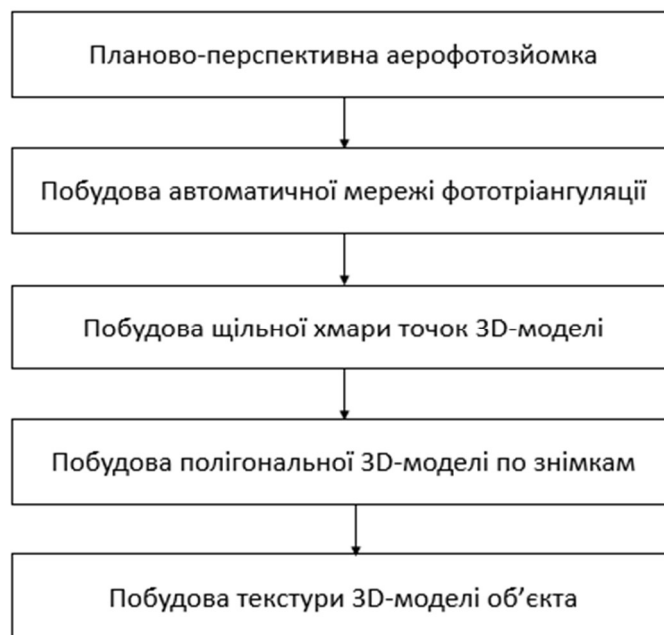


Рис. 3.6 Блок-схема технології створення реалістичних текстурованих 3D моделей

Вихідними даними для фотограмметричної обробки матеріалів аерофотозйомки з БПЛА служать аерофотознімки в одному з прийнятих системою форматів, геодезичні дані про місцевість і параметри знімальної камери.

В результаті обробки даних фотозйомки в автоматичному режимі, визначаються положення і орієнтація фотокамер, шляхом вибору спільних точок на фотографіях, що перекриваються, створюється тривимірна модель об'єкту у вигляді щільних хмар точок. Тривимірна полігональна модель поверхні будується на підставі щільних хмар.

Останній етап включає в себе побудову текстури моделі на підставі щільного хмари точок для отримання по ним точну тривимірну модель.

Детальніший процес обробки знімків у AgisoftPhotoScan та Reality Capture можна розділити на наступні етапи:

- 1) орієнтування знімків
- 2) побудова опорної хмари точок
- 3) побудова ущільненої хмари точок
- 4) побудова поверхні по хмарі точок
- 5) побудова текстурованої хмари точок

Робота над створенням цифрової моделі, виконана у програмному забезпеченні Agisoft PhotoScan:

1. Вирівнювання знімків та побудова щільної хмари точок (рис. 3.7)

Під час процесу вирівнювання фотографій PhotoScan оцінює значення параметрів внутрішньої і зовнішньої орієнтації камери, також, параметри калібрування камери забезпечують зв'язок координат точки місцевості.

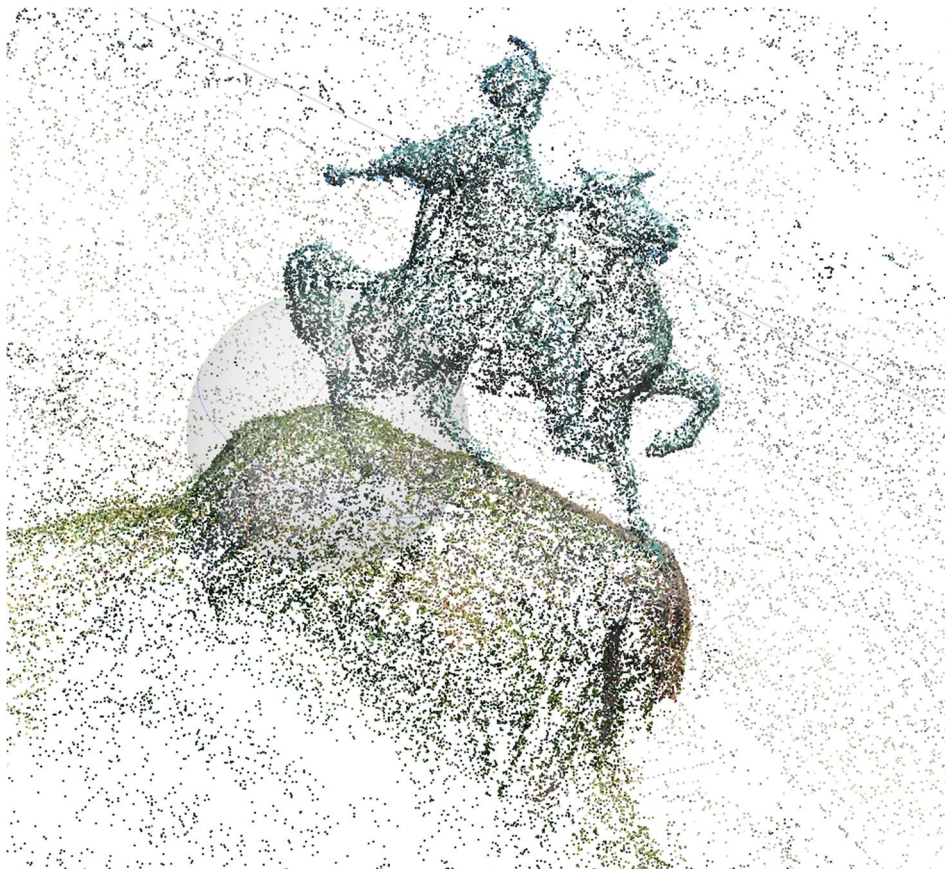


Рис. 3.7 Вирівнювання знімків та побудова щільної хмари точок

2. Побудова mesh моделі



Рис. 3.8 Побудована mesh модель

3. Після етапу побудови mesh моделі накладаємо текстуру та отримаємо повністю готову тривимірну модель пам'ятника.

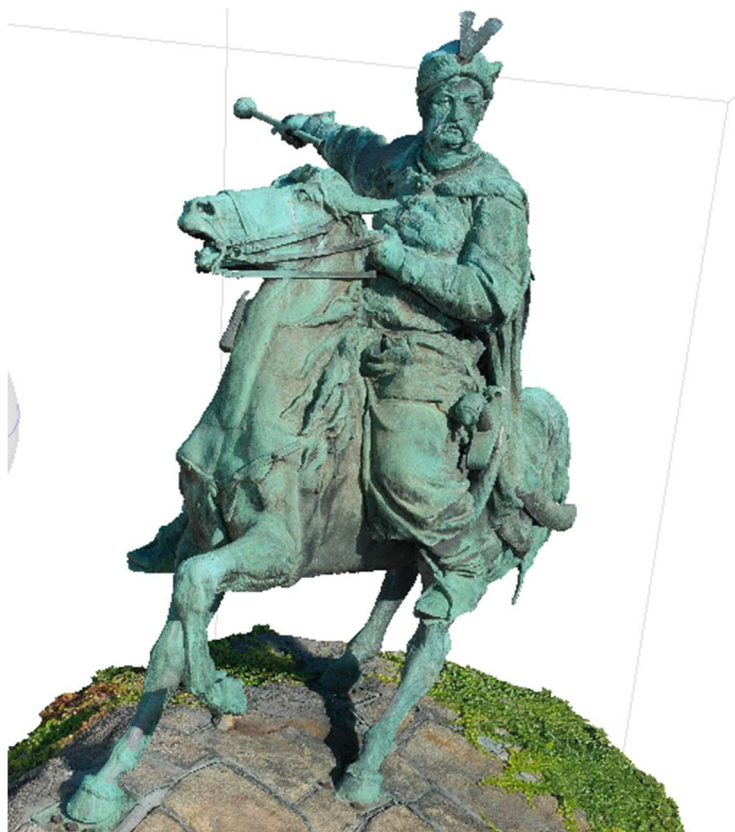


Рис. 3.9 Готова 3D модель пам'ятника у ПЗ Agisoft PhotoScan

Процес побудови цифрової моделі у Reality Capture значно простіший, так ПЗ дозволяє одразу створювати тривимірну модель, проходячи всі етапи обробки якісно та швидко.

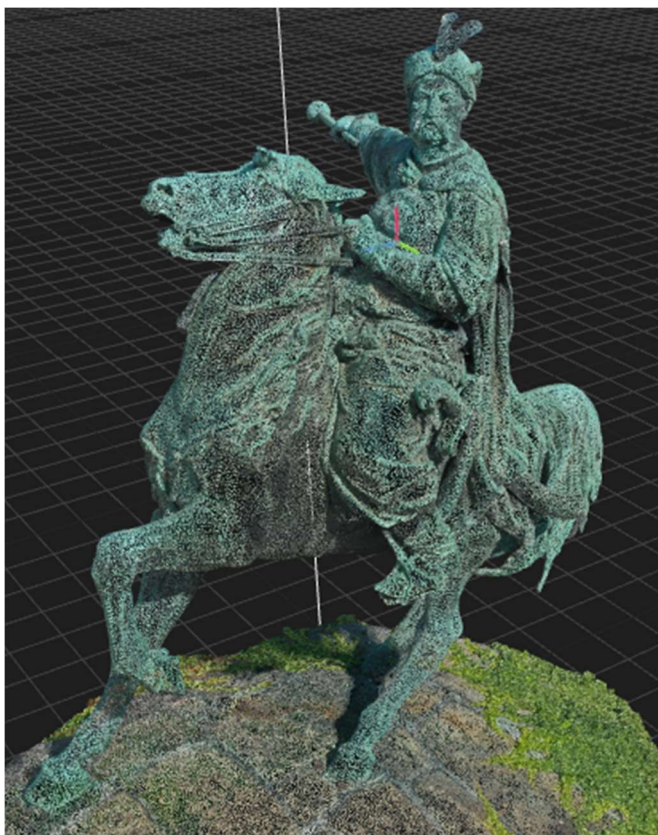


Рис. 3.10 Вирівнювання знімків та побудова хмари точок



Рис. 3.11 Результат створення 3D моделі у ПЗ Reality Capture

В результаті побудови модель побудувалась у високій якості. Просторова роздільна здатність побудованої моделі у ПЗ Agisoft PhotoScan та Reality Capture - 0.3 мм на піксель.

Таблиця 3.2 Похибки побудови моделі

СКП	Agisoft Metashape errors, мм	Reality Capture errors, мм
	0,3	0,3

Виходячи з розмірів найменших елементів скульптури (візерунки на одязі, виси обличчя) детальність склала 0,5 см.

Порівняння результатів фотограмметричного знімання та лазерного сканування

Лазерне сканування забезпечує високу геометричну точність об'єкту, тому результати аерофотознімання будуть порівнюватись із лазерним скануванням.

Для порівняння Mesh модель лазерного сканування (рис 3.12) та хмару точок фотограмметричного знімання зручно користуватись програмним комплексом Cloud Compare та модулем цієї програми Compute Cloud to Mesh Distance. За основу доречно буде прийняти Mesh модель лазерного сканування, оскільки вона теоретично має найбільшу щільність хмари точок та накласти на неї хмару точок фотограмметричного знімання, таким чином буде порівнюватися поверхні. Порівняння виконувалось в діапазоні 1 см.



Рис 3.12 Mesh модель лазерного сканування

Результат поєднання лазерного сканування і фотограмметричного знімання показаний на рис. 3.13 та рис. 3.14:

- Червоним та синім кольорами відображаються невеликі відхилення, які через важкодоступні місця, що не відзнялися сканером;
- Жовтий колір показує відхилення через відображення на знімках тіней через сонце, так як, від якості фотографій залежить точність моделі, на рис. 3.13 видно, що ліва сторона пам'ятника точніша за праву рис. 3.14 ;
- Зеленим кольором відображені місця, які було якісно знято лазерним сканером та камерою на БПЛА, де середня квадратична похибка відхилення правої сторони пам'ятника – 0.28 см, а лівої сторона – 0.32 см.

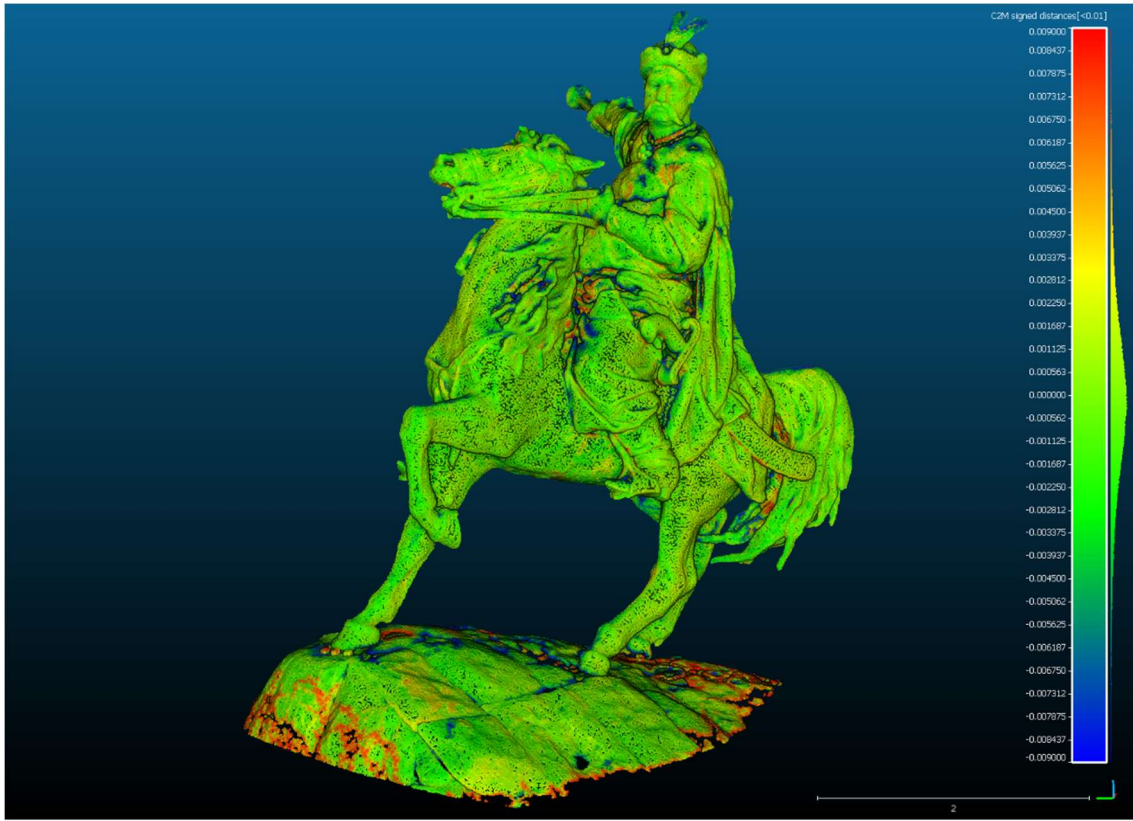


Рис. 3.13 Результат поєднання хмар точок лазерного сканування та фотограмметрії (ліва сторона)

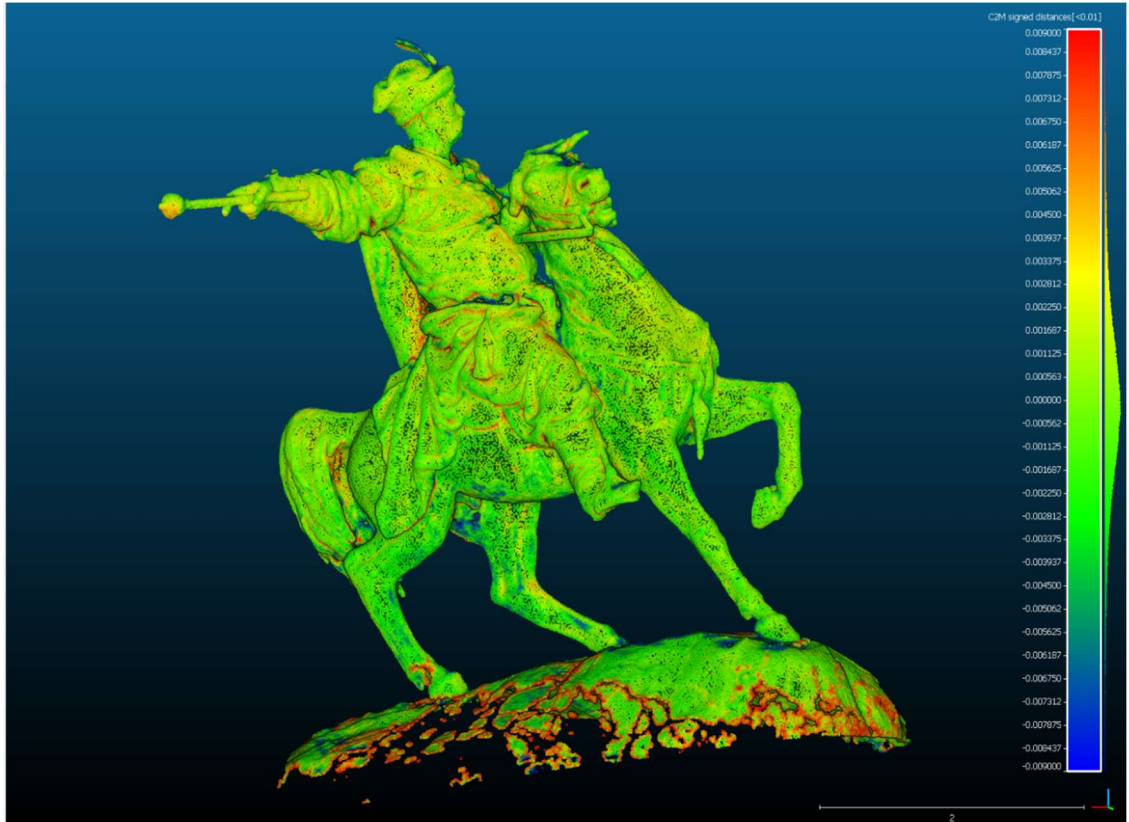


Рис. 3.14 Результат поєднання хмар точок лазерного сканування та фотограмметрії (права сторона)

За результат такого порівняння отримуємо графік розподілу відхилень (рис. 3.15).

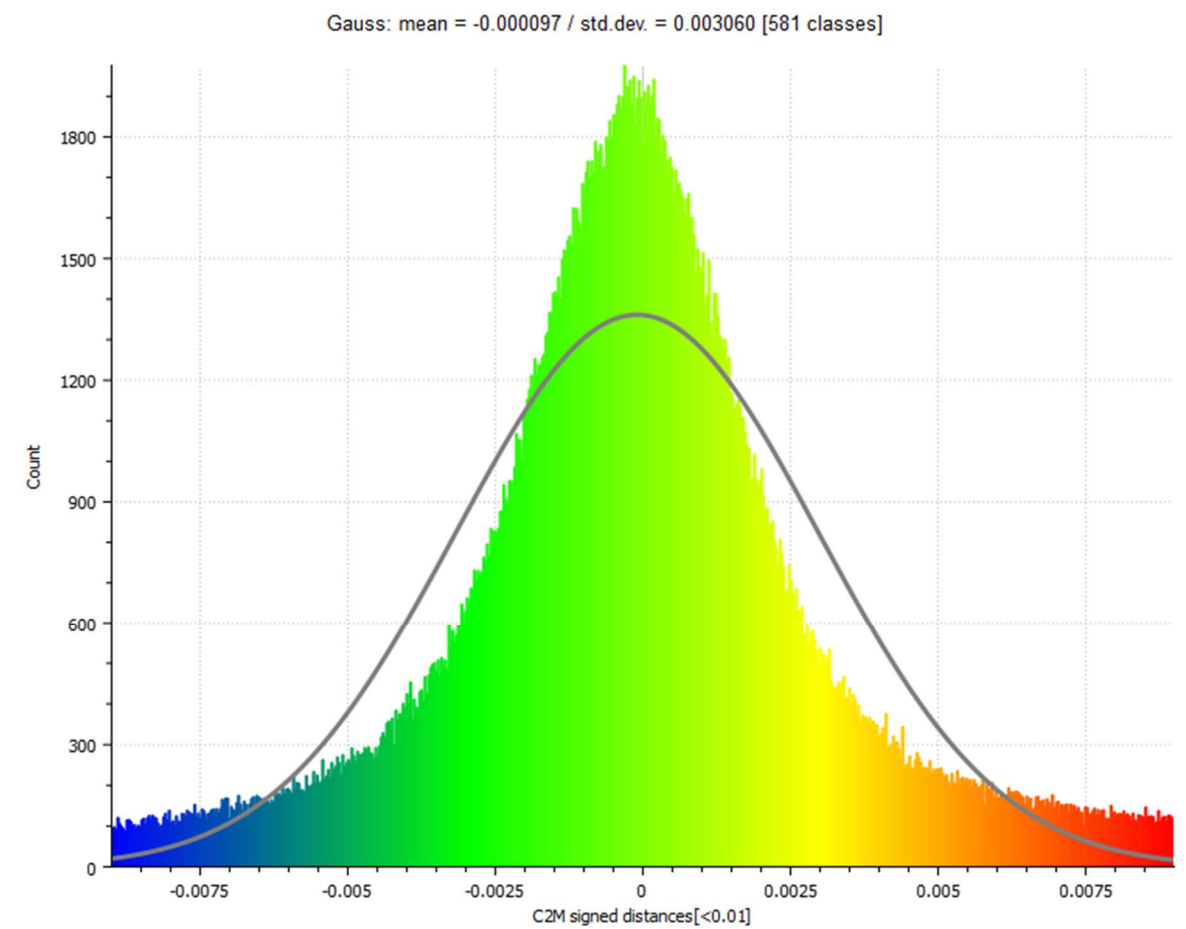


Рис. 3.15 Графік розподілу відхилень між лазерного скануванням і фотограмметричним зніманням

Висновок до третього розділу

В третьому розділі була описана практична частина дипломної роботи. Було охарактеризовано об'єкт моделювання. Описане фотограмметричне знімання, його особливості, вимоги до знімання, процес зйомки та БПЛА, яким виконувалась аерофотозйомка. Також наведені характеристики та переваги лазерного сканеру Leica ScanStation C10. В останньому пункті розділу виконувалось моделювання пам'ятника у двох ПЗ AgisoftPhotoScan та Reality Capture та виконане порівняння у програмному комплексі Cloud Compare лазерного сканування та фотограмметричного знімання. Зроблена оцінка точності результатів та наведений графік розподілу відхилень між лазерного скануванням і фотограмметричним зніманням.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА КОШТОРИС, ОХОРОНА ПРАЦІ

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Коваленко В.С.			Створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант		Горковчук Ю.В.					1	
Керівник		Горковчук Ю.В.				63		
Зав. каф.		Карпінський Ю.С.				ІПО КНУБА, група ГСТ-61		

4.1. Кошторис на створення цифрових моделей об'єктів культурної спадщини

Для визначення вартості виконання робіт по створенню тривимірних моделей необхідно розробити кошторис на фотограмметричне знімання.

Кошторис складено на основі:

1. Збірник цін на вишукувальні роботи для капітального будівництва М. 1984 р.

2. Доповнення до збірника цін {1} Держбуду СРСР від 25.12.90 р. № 21 – Д та від 01.03.90 р. №22

3. ДСТУ Б Д.1.1-7:2013 «Правила визначення вартості проектно-вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво», зміна №3 від жовтня 2018р.

Таблиця 4.1

Кошторис на виконання робіт

№	Вид робіт	Одиниця	Обсяг	Категорія	Розцінка	Індекс		Вартість одиниці	Кошторисна вартість
1	Стереотопографічна зйомка в масштабах 1:2000-1:10000(комплекс робіт)	1 км ²	0,3	I §3 табл.3 9	315	40,62	K2*K13	12795,3	3838,59
2	Лазерне сканування			VII I §3 табл.3 9	4,8	40,62	K2*K13	194,97	2534,68
	Всього польові роботи								6373,27

Камеральні роботи									
5	Стереотопографічна зйомка (комплекс робіт)	1 км ²	0,30	I §3 таб л.3 9	213	51,39	K2*K 11*K 12*K 13	10946,0 7	3283,82
6	Складання технічних звітів	звіт	1	IV §3 таб л.8 6	300	51,39	K2*K 11*K 12*K 13	15417	15417
	Всього камеральні роботи								18700,82
	Витрати на внутрішній транспорт						5%		1253,65
	Витрати за несприятливий період року						8,30%		2081,059
	Витрати на організаційно-ліквідаційні заходи						6%		1504,38
	Витрати на метрологічне забезпечення						5%		1253,65
	Всього								31164,27
	ПДВ								5194,04
	Всього з ПДВ								36358,31

Коефіцієнт	Величина	Обґрунтування
К 1	1,5	п.7 подпункт "В" Письмо № 22 - за спецрежим, выполнение работ на участке с повышенной радиацией.
К2	1,32	т.3 &1 постановление № 22 от 01.03.90 - к итогу сметной стоимости, с коэффициентом к зарплате К=1,0 .
К3	1,05	п. 14 Постановление № 22 - затраты на метрологию и дополн. амортиз. отчисления.
К4	1,21	Письмо №21-Д. Пост. Держбуду СРСР від 01.03.90 №22) ;
К5	1,25	Постановление № 22 т.86 прим. 1 (при IV-V кат. СЛОЖНОСТИ).;
К6	1,25	Постановление № 22 п.8 к т.4 - на внутренний транспорт.
К7	1,4	Постановление № 22 п.9 т.5 - на внешний транспорт.
К9	1,2	К т.2 &2 - за неблагоприятный период года с $k= 0.5$ на весь период производства работ
К 10	1,3	Письмо Госкомитета Украины по делам градостроительства и архитектуры приказ № 60 от 10.04.97г., ДБН IV-16-96, часть III, дополнение № 1-приказ № 26 от 10.02.1999г.
К 11	1,1	Поправочный коэффициент к камеральным работам. Постановление №22 .Общие положения.
К 12	1,15	Постановление № 2 п. 15 - за обработку камеральных работ на ЭВМ
	1.083	З витратами за неспр. період року:
	0.05 x 1.25	З витратами по внутрішньому транспорту т.4; §2
	0,06	Витрати на організацію та ліквідацію вишукувань т.6; §5
	0,05	З витратами по метрології
	1,32	З К=1.32 (Постанова Держбуду СРСР № 22 від 01.03.90 р.)
К 13	30,78	Індекс визначення кошторисної вартості проектно-вишукувальних робіт. (Наказ Мінрегіону від 08.08.2013 № 374 "Про прийняття національного стандарту ДСТУ Б Д.1.1-7:2013"). Зміна №3 від 16.10.2018

Розрахований кошторис відображає вартість робіт по створенню тривимірної моделі пам'ятника.

Вартість робіт складатиме 36 358 грн, при цьому відповідно до кошторисних довідників дана ціна буде однаковою як для лазерного сканування так і для фотограмметричного знімання. Проте необхідно враховувати різницю в вартості програмних та апаратних засобів. У випадку лазерного сканування, вартість приладів становить орієнтовно – 40 тис \$ за прилад типу leica c10 scanstation та 8 тис \$.

У випадку виконання фотограмметричного цифрового знімання неметричною камерою, встановленою на БПЛА – вартість обладнання становить 2 тис \$. Проте слід також врахувати вартість програмних продуктів необхідних для обробки результатів знімання. При обробці цифрових фотознімків вартість програмного забезпечення може коливатись в рамках від 180 \$ (базова ліценція Agisoft Photoscan на один комп'ютер).

4.2 Нормативне врегулювання застосування фотограмметричних методів при моделюванні ОКС

На сьогоднішній день зйомка БПЛА стає все більш популярною для зйомки ОКС, тому такий спосіб знімання має свої правила і техніку безпеки.

При підготовці і виконанні польотів на БПЛА необхідно чітко дотримуватися правил техніки безпеки. В іншому випадку є ризик завдати шкоди життю і здоров'ю собі і оточуючим. Тому слід дотримуватись таких рекомендацій:

1. Включати схеми, механізми, БПЛА з гвинтами на робочому столі (стенді, стіни боксу), відведеного для виконання екзаменаційного завдання дозволяється тільки після перевірки їх експертами;
2. Необхідно вивчити всі режими польотів, щоб уникнути втрати контролю управління при зміні одного на інший безпосередньо в повітрі;
3. При роботі необхідно стежити, щоб відкриті частини тіла, одяг і волосся не торкалися обертових частин, деталей і вузлів коптера;

4. При використанні Li-Po акумуляторів повинно бути забезпечено їх належне зберігання та облік.

Безпека при підготовці до вильоту

1. Переконатися, що акумулятори або батарейки в апаратурі управління заряджені;
2. Встановлювати пропелери тільки перед вильотом;
3. Перевірити надійність наступних вузлів:
 - а. надійність затягування гайок пропелерів;
 - б. кріплення і цілісність захистів гвинтів;
 - в. надійність кріплення проводів, відсутність бовтаються проводів.

Безпека перед злетом

1. Розташовувати глядачів за спиною пілота або за лінією, що проходить через обидва плеча пілота за спиною пілота;
2. Не допускати виходу глядачів в півсферу перед обличчям пілота;
3. Знати і пам'ятати час польоту, на яке розрахований пілотований апарату і його акумулятор;
4. Знаходиться на відстані не менше 3 м від літального апарату;
5. Виробляти зліт з землі або рівного майданчика, на відстані не менше 3 метри від перешкод.

Безпека при виконанні польотів

1. Літати слід обережно і виконувати тільки ті елементи, в яких немає сумнівів. Забороняється виконувати фігури пілотажу, в успіху яких виникають сумніви і фігури, пов'язані з ризиком;
2. Дотримуватися швидкісного режиму. Швидкість польоту коптера тримати в межах швидкості йде людини;
3. Повернути коптер до місця посадки до обчисленого часу, не допускати повної розрядки акумулятора в польоті;

4. Посадку виконувати тільки на рівну відкриту площадку далеко від перешкод.

Висновок до четвертого розділу

Розрахувавши кошторис можна зробити наступні висновки:

- Вартість робіт при лазерному скануванні та фотограмметричному зніманні для побудови тривимірної моделі одного й того ж об'єкту буде однаковою;

- Вартість обладнання для лазерного сканування значно більша ніж обладнання для фотограмметричного цифрового знімання;

- Вартість обробки результатів знімання у випадку лазерного сканування буде меншою, за рахунок меншої вартості програмних комплексів.

Також необхідно врахувати, що враховуючи специфіку виконання робіт, лазерне сканування значних за об'ємом об'єктів потребує значно більших трудовитрат, ніж фотограмметричне знімання.

В розділі було описано рекомендації та правила, що стосуються безпеки людини при виконанні фотограмметричного знімання за допомогою БПЛА.

Висновок

Об'єкти культурної спадщини в Україні заносяться до Державного реєстру нерухомих пам'яток національного значення та регламентуються Законом України "Про охорону культурної спадщини». Актуальність теми зумовлена гострою потребою збереження, реконструкції або реставрації об'єктів культурної спадщини шляхом високоточного тривимірного моделювання.

Основними завданнями створення цифрових 3D моделей об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами є: вибір методики (режимів і конфігурації) зйомки, калібрування знімальної системи, зйомка та фотограмметрична обробка знімків і створення 3D моделі об'єкта, апроксимація тривимірної поверхні моделі об'єкта.

В роботі запропоновано технологію фотограмметричного знімання історичної пам'ятки з використанням цифрової неметричної камери встановленої на безпілотний літальний апарат та розроблено алгоритм розрахунку роздільної здатності вихідної моделі яка склала 3.8 мм/піксель та максимальної висоти знімання – 16 м. Виходячи з розрахунків, роздільна здатність знімків на об'єкті становила з інтервалом від 1мм до 4 мм, так як, під час зйомки на максимальній висоті зальоту 16 м відстань до об'єкту змінювалась.

Практична реалізація методики моделювання цифрової моделі пам'ятника Богдану Хмельницькому була створена за допомогою безпілотного літального апарату DJI Mavic 2 Pro та додатково використаний лазерний сканер Leica ScanStation C10 для сканування об'єкту та якісної оцінки геометричних характеристик об'єкту. Виконано аналіз основних характеристик лазерного сканеру та цифрової камери, розглянуто їх технологічні особливості які впливають на точність отримання результатів.

Моделювання виконане у програмних забезпеченнях AgisoftPhotoScan та Reality Capture показали однаковий результат з середньою квадратичною

похибкою 0,3 мм/піксель. Та виходячи з розмірів найменших елементів скульптури детальність склала 0,5 см.

Оцінку точності моделювання проведено шляхом порівняння отриманих моделей з еталоном, в якості якого прийнято Mesh модель побудовану за даними лазерного сканування. В результаті середня квадратична похибка відхилення правої сторони пам'ятника – 0.28 см, а ліва сторона – 0.32 см. Причиною різної похибки стала якість фотографій, яка впливає на точність моделі. Також запропоновано графік розподілу відхилень між результатами лазерного скануванням і фотограмметричним зніманням.

Виходячи з цього можна стверджувати, що створення тривимірних моделей історичної пам'ятники фотограмметричними методами є високоточним та ефективним засобом відтворення унікальних ОКС.

Оцінка вартості використання кожного з методів показала, що виконання робіт з використанням цифрового фотограмметричного знімання буде більш економічно доцільним у зв'язку з меншою вартістю обладнання. На даному етапі розвитку цифрових камер та програмних засобів для обробки знімків, використання фотограмметричного знімання для створення просторових моделей не поступається по точності даним лазерного сканера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону культурної спадщини. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2000, № 39, ст.333. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>
2. Постанова Кабінету Міністрів України «Про внесення об'єктів культурної спадщини національного значення до Державного реєстру нерухомих пам'яток України», від 25 червня 2020 р. № 514 Київ. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/514-2020-%D0%BF#Text>
3. Збірник укрупнених кошторисних норм на геологорозвідувальні роботи (ЗУКН), розділ 17, Топографо-геодезичне та маркшейдерське забезпечення геологорозвідувальних робіт (Держкомгеології України, Державний інформаційний геологічний фонд України "Геоінформ", Київ, 1998).
4. Збірник цін на вишукувальні роботи для капітального будівництва М. 1984 р.
5. Доповнення до збірника цін {1} Держбуду СРСР від 25.12.90 р. № 21 – Д та від 01.03.90 р. №22.
6. ДСТУ Б Д.1.1-7:2013 «Правила визначення вартості проектно-вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво», зміна №3.
7. Устінов О.В. «Технические вопросы применения БПЛА для картографии» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ustinov.fr> (дата звернення 18.06.2017).
8. Аналіз експериментальних робіт з створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при 70 Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск II(28), 2014 застосуванні БПЛА / Галецький В., Глотов В., Колесніченко В. [та інші] // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – № 76. – С.85–93
9. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 1) / Зинченко О.Н. // Ракурс. – 2011. – С. 1–12

10. Інструкція користувача Agisoft PhotoScan [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_ru.pdf (дата звернення 18.06.2017)
11. Інструкція користувача RealityCapture [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://realitycapture.ru/>
12. Інструкція користувача Pix4D [Електронний ресурс] https://s3.amazonaws.com/mics.pix4d.com/KB/Getting+Started+PDFs/traduction/s/Pix4Dmapper_Getting_Started_4.0_RUSSIAN.pdf
13. Інструкція користувача TrimbleUASMaster [Електронний ресурс] <https://trimble.club/novyi-uasmaster-obrabatyvaet-dannye-multkoptierov/>
14. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). – Режим доступу: URL: [fly-photo.ru/primenenje-bpla.html]
15. Шульц Р.В. Технологічна схема створення архітектурних 3d моделей за даними цифрового фотознімання та лазерного сканування місцевості. УДК 528.7 2011.
16. Рыльский И.А., Калинин И.В. Сравнение пригодности данных воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъёмки с БПЛА для обеспечения проектных работ // ИнтерКарто. ИнтерГИС – 2017. – №3. – С. 31-46.
17. Купріянич І.П. Фотограмметрія та дистанційне зондування: навч. пос. для студ. вищ. навч. закл. / І.П. Купріянич, Є.В. Бутенко. - К.: МВЦ «Медінформ», 2013 – 392с.
18. Глотов В.М. Колісніченко В.Б. Результати експериментально-випробувальних робіт із застосування безпілотного літального апарату для цілей аерознімання.
19. Шульц Р.В. Технологічна схема створення архітектурних 3d моделей за даними цифрового фотознімання та лазерного сканування місцевості. УДК 528.7 2011.
20. Обиралов, А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гав - ри лова. – М.: КолосС, 2006. – 334 с.

21. Дишлик О., Марков С., Тревого І. Підхід до побудови тривимірних моделей складних просторових об'єктів при комплексному використанні технологій лазерного сканування та фотограмметрії. // Сучасні досягнення геодезичної науки і техніки (II), Львів, 2008 р. – С. 101-105.
22. Алтынов А.Е., Дрыга Д.О., Севастьянова М.Н. Методика и технология получения фотореалистичных метрических цифровых моделей предметов музейных коллекций на специализированном стенде // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка –2017 –№ 3 –С. 74-78.
23. Кучко А.С. Аэрофотография и специальные фотографические исследования. – М. : Недра. – 1988. – 235 с.
24. Михайлов А.П., Чибуничев А.Г. Фотограмметрия. – М.: МИИГАИК – 2016. – С.292.
25. Моржин А., Ходарев А., Князь В., Желтов С., Визильтер Ю. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.:ДМК Пресс. – 2007. – С.464.
26. Guarnieri A., Pirotti F., Vettore A. Cultural heritage interactive 3D models on the web: An approach using open source and free software // Journal of Cultural Heritage. – 2010. – №11. – P.350–353.
27. Boehler W., Marbs A. 3D Scanning and Photogrammetry for Heritage Recording: a Comparison. // Proceeding 12th International Conference on Geoinformatics, University of Gavle, Sweden 7-9 June 2004
28. Ronnholm P., Honkavaara E., Litkey P., Нууппа Н., Нууппа J. Integration of Laser Scanning and Photogrammetry. // IAPRS Volume XXXVI, Part 3, 2007.
29. Remondino, F, Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. Remote Sensing, 3(6), 1104-1138.
30. CloudCompare, 3D point cloud and mesh processing software. www.danielgm.net/cc.
31. Guarnieri A., Pirotti F., Vettore A. Cultural heritage interactive 3D models on the web: An approach using open source and free software // Journal of Cultural Heritage. – 2010. – №11. – P.350–353.

32. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%BC%27%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%A5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83_\(%D0%9A%D0%B8%D1%97%D0%B2\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%BC%27%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%A5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83_(%D0%9A%D0%B8%D1%97%D0%B2))
33. <https://aero3d.com.ua/ru/proekty/>

