

**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.  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

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

на тему:  
**«Застосування наземної фотограмметрії на прикладі об’єкту культурної  
спадщини»**

Виконав: студент групи ГІСТ-20  
спеціальності 193  
“Геодезія та землеустрій”  
спеціалізації 8.08010105  
“Геоінформаційні системи і технології”  
Волков Юрій Олегович  
Керівник: Кінь Д.О., асистент  
*Ідентичність підтверджую*

Київ 2024 р.



### 3.5 Практичні рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів

Висновки

Список використаної літератури

#### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Асистент Кінь Д.О.		
2	Яровий А.А.		
3	Яровий А.А.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту ( роботи )	Примітка
1	Проект завдання дипломної роботи	20.02.2024	
2	ВСТУП	22.02.2024	
3	РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ	19.03.2024	
4	РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ	16.04.2024	
5	РОЗДІЛ 3. ВИКОНАННЯ ЗНІМАННЯ ОБ'ЄКТУ МЕТОДОМ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ	15.05.2024	
6	ВИСНОВКИ	17.05.2024	
7	Розробка графічного матеріалу	17.05.2024	
8	Подача проекту на попередній захист та рецензування	20.05.2024	

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )

Волков Ю. О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
( підпис )

асистент Кінь Д. О.  
(прізвище та ініціали)

# Зміст

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....	7
1.1 Аналіз нормативно-правового забезпечення щодо цифровізації об'єктів культурної спадщини .....	8
1.2 Аналіз методів наземної фотограмметрії для моделювання тривимірних об'єктів .....	13
1.3 Аналіз останніх досліджень щодо моделювання об'єктів культурної спадщини.....	17
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАММЕТРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ .....	23
2.1 Визначення основних етапів дослідження .....	24
2.2 Обґрунтування вибору методу наземної фотограмметрії.....	27
2.3 Технічне забезпечення для виконання робіт .....	31
2.3.1 Огляд обладнання для наземної фотограмметрії .....	31
2.3.2 Критерії вибору обладнання для конкретного дослідження .....	32
2.4 Визначення обмежень дослідження .....	33
РОЗДІЛ 3. ВИКОНАННЯ ЗНІМАННЯ ОБ'ЄКТУ МЕТОДОМ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАММЕТРІЇ.....	38
3.1 Підготовчі роботи та виконання знімання .....	39
3.2 Особливості роботи на території обраного об'єкту культурної спадщини	51
3.3 Опрацювання та аналіз отриманих даних знімання .....	52
3.3.1 Застосування програмного забезпечення для обробки фотограмметричних даних .....	52
3.3.2 Визначення основних параметрів та характеристик об'єкту .....	62
3.4 Виконання оцінки точності отриманих результатів .....	63
3.5 Практичні рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів.....	75
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	82
ДОДАТКИ .....	87

## ВСТУП

Актуальність обраної теми полягає у важливості збереження та відновлення історико-культурних цінностей, для чого вкрай необхідно мати детальні вимірювальні дані. Наземна фотограмметрія є одним з найбільш ефективних та доступних методів цифрової фіксації стану архітектурних та археологічних пам'яток. Застосування цієї технології дозволить охопити більшу кількість об'єктів та забезпечити високу деталізацію їх тривимірного моделювання, що сприятиме подальшим дослідженням та якісним реставраційним роботам.

Сучасні технології відіграють дедалі важливішу роль у збереженні та дослідженні культурної спадщини. Наземна фотограмметрія, як метод отримання тривимірних моделей об'єктів за допомогою послідовних фотографій, набуває все більшої популярності завдяки своїй точності, гнучкості та доступності. Цей метод дозволяє не лише документувати та візуалізувати об'єкти культурної спадщини, але й проводити їх детальні дослідження, аналізувати їх стан та планувати реставраційні роботи.

У цій дипломній роботі досліджується використання наземної фотограмметрії на прикладі конкретного об'єкта культурної спадщини. Метою роботи є аналіз можливостей і переваг цього методу для збереження та документування архітектурних пам'яток, а також визначення практичних аспектів його застосування.

У першому розділі роботи викладені теоретичні основи фотограмметрії, зокрема історичний розвиток цього методу та його сучасні досягнення.

Другий розділ присвячений опису технологій і обладнання, які використовуються для проведення наземної фотограмметрії.

Третій розділ містить детальний аналіз процесу фотограмметричного обстеження об'єкта культурної спадщини, включаючи методику зйомки, обробку даних та створення тривимірної моделі. У заключному розділі наведено результати дослідження, їх обговорення та рекомендації щодо подальшого застосування фотограмметрії у сфері збереження культурної спадщини.

**Метою роботи** є створення тривимірної моделі об'єкта культурної спадщини методом наземної фотограмметрії для подальшого її використання під час розроблення облікової документації про пам'ятку архітектури місцевого значення.

**Основні завдання:**

- 1) проаналізувати теоретичні основи та останні дослідження щодо моделювання об'єктів за допомогою методу наземної фотограмметрії;
- 2) обґрунтувати та визначити обладнання та програмне забезпечення для виконання наземної фотограмметрії;
- 3) виконати фотограмметричну зйомку об'єкта культурної спадщини;
- 4) виконати тривимірне моделювання об'єкта у програмному середовищі Reality Capture;
- 5) зробити оцінку точності отриманих результатів моделювання;
- 6) сформулювати практичні рекомендації щодо подальшого використання створеної тривимірної моделі.

**Об'єкт дослідження:** об'єкт культурної спадщини.

**Предмет дослідження:** тривимірне моделювання об'єкта методом наземної фотограмметрії.

Ця робота виконана в рамках укладеного Договору про партнерство та співробітництво між Київський національним університетом будівництва і архітектури та громадської організації “УКРАЇНА ІНКОГНІТА”, а також у рамках проекту створення цифрових копій об'єктів культурної спадщини міста Києва за підтримки Департаменту охорони культурної спадщини Київської міської державної адміністрації.

**РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ  
МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ**

					<b>БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Виконав		Волков Ю. О.			Застосування наземної фотограмметрії на прикладі об'єкту культурної спадщини	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Арквщів</b>
Консульт.								
Керівник		Кінь Д. О.				КНУБА, група ГІСТ-20		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						

## **1.1 Аналіз нормативно-правового забезпечення щодо цифровізації об'єктів культурної спадщини**

Збереження та відновлення об'єктів культурної спадщини є важливим завданням для будь-якої держави, оскільки вони становлять неоціненну історичну та культурну цінність. Фотограмметрія як метод вимірювання об'єктів за допомогою фотографій відіграє все більш значну роль у цій галузі. Наземна фотограмметрія дозволяє з високою точністю створювати детальні тривимірні моделі архітектурних пам'яток, археологічних знахідок та інших цінних артефактів, забезпечуючи їх докладну цифрову фіксацію та документування.

Питання збереження та реставрації пам'яток культурної спадщини регулюється низкою законодавчих актів як на державному, так і на міжнародному рівні. Серед ключових нормативно-правових документів України можна виділити:

- Закон України "Про охорону культурної спадщини" [1] - визначає основні засади державної політики у сфері охорони культурної спадщини та регулює відносини у цій галузі;

- Закон України "Про музеї та музейну справу" [2] - встановлює правові засади діяльності музеїв, зокрема щодо збереження та використання пам'яток культурної спадщини;

- Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впорядкування окремих питань у сфері охорони культурної спадщини" [3] - вносить важливі зміни та доповнення до чинного законодавства з метою його вдосконалення.

Важливу роль відіграють також підзаконні нормативні акти, зокрема накази Міністерства культури України, які деталізують процедури та вимоги до цифровізації об'єктів культурної спадщини.

Розвиток цифрових технологій та їх все ширше впровадження в галузь збереження культурного надбання спричинив потребу в оновленні та розширенні нормативно-правової бази. Зокрема, актуальними залишаються питання

правового регулювання процесів тривимірного сканування, моделювання, архівування цифрових моделей тощо.

Цифровізація об'єктів культурної спадщини (КС) є важливою складовою сучасного підходу до їх збереження, дослідження та популяризації. Вона передбачає створення цифрових моделей, що описують геометричні, візуальні та інші характеристики об'єктів КС. Цей процес ґрунтується на нормативно-правовій базі, яка визначає його рамки та принципи.

Аналіз нормативно-правових актів свідчить про:

- Закон України "Про культуру" (від 04.09.2000 р. № 1798-IV) визначає завдання щодо збереження та популяризації КС, а також заохочує використання сучасних технологій.

- Національна стратегія розвитку інформаційного суспільства на 2021-2025 роки (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 р. № 119)

- Концепція розвитку цифрової економіки України – Digital Ukraine (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 07.02.2020 р. № 89-р)

Питання цифровізації об'єктів культурної спадщини регулюється низкою нормативно-правових актів, які визначають загальні засади та встановлюють конкретні вимоги до цього процесу. Розглянемо деякі з ключових документів більш детально:

Згідно із Законом України "Про охорону культурної спадщини" [1], одним із принципів державної політики у цій сфері є "сприяння збереженню культурної спадщини шляхом її наукового дослідження, реставрації, ремонту, реабілітації, музеєфікації, консервації, а також впровадження сучасних науково-інформаційних технологій обліку, реєстрації та реставрації".

У Законі України "Про музеї та музейну справу" [2] зазначається, що основними напрямками діяльності музеїв є "формування та облік музейних фондів, їх наукове вивчення з використанням сучасних інформаційних технологій".

Важливим підзаконним актом є Наказ Міністерства культури України "Про затвердження Інструкції з організації обліку музейних предметів" [3], який регламентує процедуру цифрового каталогування музейних експонатів.

На міжнародному рівні провідну роль відіграють принципи ЮНЕСКО, викладені в низці рекомендаційних документів:

- Хартія ЮНЕСКО про збереження цифрового спадку (2003 р.) [4] стосується збереження унікальних цифрових ресурсів, створених при цифровізації;
- Керівні Принципи з тривимірного документування культурної спадщини ЮНЕСКО (2016 р.) [5] містять рекомендації з найкращих практик тривимірного сканування пам'яток;
- Картахенська Конвенція про захист підводного культурного надбання (1997 р.) [6] встановлює вимоги та процедури тривимірного моделювання артефактів підводного походження.

Окрім того, на національному рівні діють державні програми з цифровізації об'єктів культурної спадщини, які визначають пріоритетні напрями, завдання, фінансування та виконавців. Нормативно-правова база постійно оновлюється для врахування розвитку нових цифрових технологій.

Крім законодавства, значну роль відіграють також професійні стандарти та кодекси етики, розроблені профільними організаціями реставраторів та фахівців з цифрового збереження культурної спадщини.

Цифровізація об'єктів культурної спадщини (КС) стає невід'ємною частиною сучасного підходу до їх збереження, дослідження та популяризації. Вона передбачає створення цифрових моделей, що описують геометричні, візуальні та інші характеристики об'єктів КС. Цей процес ґрунтується на розгалуженій нормативно-правовій базі, яка визначає його рамки, принципи та відповідальність.

На національному рівні існує ряд стратегічних документів, які визначають пріоритети та напрями digitization КС:

1) закон України "Про культуру" (від 04.09.2000 р. № 1798-IV) визначає завдання щодо збереження та популяризації КС, а також заохочує використання сучасних інформаційних технологій.

2) національна стратегія розвитку інформаційного суспільства на 2021-2025 роки (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 р. № 119) визначає digitization КС як пріоритетний напрямок розвитку інформаційного суспільства.

3) концепція розвитку цифрової економіки України – Digital Ukraine (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 07.02.2020 р. № 89-р) визначає digitization КС як інструмент для підвищення їх доступності та популяризації.

4) ДСТУ 8259:2016 "Інформація. Документація. Цифрові копії документів. Загальні положення" визначає вимоги до створення цифрових копій документів, що входять до складу КС.

5) ДСТУ ISO/IEC 27001:2013 "Інформаційні технології. Системи менеджменту інформаційної безпеки. Вимоги до систем менеджменту інформаційної безпеки" встановлює вимоги до інформаційної безпеки при digitization КС.

6) ДСТУ EN 16757:2012 "Збереження культурної спадщини. Цифрове документування культурних цінностей" визначає методологію та технічні вимоги до digitization КС.

На локальному рівні музеї, бібліотеки та інші установи, що володіють КС, розробляють власні положення та інструкції щодо їх digitization. Ці документи повинні відповідати вимогам національного та галузевого рівнів, а також враховувати специфіку КС, що знаходяться в їх власності.

Аналіз нормативно-правової бази свідчить про те, що:

- існує чітка політична воля держави щодо digitization КС;
- створено нормативно-правову базу, яка визначає рамки та принципи digitization КС;
- наявність галузевих стандартів та методичних рекомендацій;

- важливість розробки локальних документів з урахуванням специфіки КС.

Окрім національного та міжнародного законодавства, регулювання процесів цифровізації культурної спадщини відбувається також на рівні окремих регіонів та міжнародних об'єднань. Наприклад, Європейський Союз приділяє значну увагу цьому питанню в рамках своїх програм з культури та цифрових інновацій.

План ЄС у сфері цифрових інновацій та культурної спадщини на 2021-2027 рр. [7] визначає пріоритетні напрями: оцифрування культурних ресурсів, тривимірного реконструкції, розробка цифрових рішень для збереження та відтворення пам'яток. Значні кошти виділяються на фінансування відповідних досліджень та проєктів.

Керівні документи ЄС, зокрема Лундські принципи (2014 р.) [8], окреслюють концептуальні засади та рекомендації щодо використання новітніх цифрових технологій, зокрема тривимірного моделювання та візуалізації, у сфері культурної спадщини.

На рівні регіональних об'єднань також приймаються відповідні нормативні акти. Так, Рада Європи у 2017 р. ухвалила Конвенцію про цінність культурної спадщини для суспільства (Конвенція Фаро) [9], яка закликає використовувати цифрові технології для популяризації та забезпечення доступу до культурних цінностей.

Крім того, в деяких країнах приймаються національні цифрові стратегії для сфери культури, що визначають відповідні стандарти та процедури цифровізації. Наприклад, у Великій Британії діє "Цифрова стратегія" від Historic England [10].

Таким чином, нормативно-правова база з питань цифровізації культурної спадщини є багаторівневою та включає законодавчі акти, програми, стратегії, професійні стандарти та керівні принципи різних інституцій - від національних урядів до міжнародних організацій. Це забезпечує комплексний підхід і гармонізацію вимог на глобальному рівні.

## **1.2 Аналіз методів наземної фотограмметрії для моделювання тривимірних об'єктів**

Наземна фотограмметрія є потужним інструментом для створення точних тривимірних моделей об'єктів, зокрема пам'яток культурної спадщини. Цей метод базується на обробці серій фотознімків, зроблених з різних ракурсів, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Розглянемо основні методи наземної фотограмметрії, що застосовуються для тривимірного моделювання.

Структура з руху (Structure from Motion, SfM) [1]. Це широко використовуваний метод, який дозволяє відновити тривимірну структуру об'єкта шляхом аналізу серій перекриваючих фотознімків. Алгоритм SfM виконує виявлення спільних точок на зображеннях, розраховує їх відносне розташування, а потім будує хмару точок, яка представляє геометрію об'єкта. Перевагами SfM є відносна простота використання, висока роздільна здатність та низька вартість.

Фотограмметрія з оператором (Operator-Assisted Photogrammetry) [2]. Цей метод передбачає більш активну участь оператора у процесі моделювання. Спочатку виконується ручне виділення контрольних точок на знімках, після чого програма обчислює координати цих точок та будує тривимірну модель. Такий підхід забезпечує високу точність, але вимагає більше часу та зусиль оператора.

Багатовидова фотограмметрія (Multi-View Photogrammetry) [3]. Цей сучасний метод поєднує переваги SfM та фотограмметрії з оператором. Він використовує автоматизовані алгоритми для виявлення та узгодження точок на знімках, а також дозволяє оператору вручну вносити корективи для підвищення точності. Багатовидова фотограмметрія забезпечує високу продуктивність та якість результатів.

Фотограмметрія з використанням маркерів (Marker-Based Photogrammetry) [4]. У цьому методі на об'єкті розміщуються спеціальні маркери (мітки) із заздалегідь відомими координатами. Ці маркери використовуються для калібрування камери та визначення масштабу моделі, що забезпечує високу точність. Однак розміщення маркерів може бути проблематичним для деяких

об'єктів культурної спадщини. Усі згадані методи мають свої переваги та недоліки, тому вибір конкретного підходу залежить від характеристик об'єкта, вимог до точності, наявного обладнання та досвіду виконавців. Часто для досягнення оптимальних результатів комбінують декілька методів або використовують гібридні підходи, поєднуючи фотограмметрію з іншими методами, такими як лазерне сканування або структурно-світлова проекція.

Сучасний підхід до збереження, дослідження та популяризації об'єктів культурної спадщини (КС) неможливо уявити без їх цифровізації. Цей процес передбачає створення цифрових моделей, які описують геометричні, візуальні та інші характеристики КС, роблячи їх доступними для широкого кола користувачів.

Закон України "Про культуру" (від 04.09.2000 р. № 1798-IV) визначає завдання щодо збереження та популяризації КС, а також заохочує використання сучасних інформаційних технологій.

Національна стратегія розвитку інформаційного суспільства на 2021-2025 роки (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 р. № 119) визначає digitization КС як пріоритетний напрямок розвитку інформаційного суспільства.

Концепція розвитку цифрової економіки України – Digital Ukraine (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 07.02.2020 р. № 89-р) визначає digitization КС як інструмент для підвищення їх доступності та популяризації.

На галузевому рівні існує ряд нормативних актів, які деталізують вимоги до digitization КС:

- ДСТУ 8259:2016 "Інформація. Документація. Цифрові копії документів. Загальні положення" визначає вимоги до створення цифрових копій документів, що входять до складу КС;

- ДСТУ ISO/IEC 27001:2013 "Інформаційні технології. Системи менеджменту інформаційної безпеки. Вимоги до систем менеджменту інформаційної безпеки" встановлює вимоги до інформаційної безпеки при digitization КС;

- ДСТУ EN 16757:2012 "Збереження культурної спадщини. Цифрове документування культурних цінностей" визначає методологію та технічні вимоги до digitization КС;

На локальному рівні музеї, бібліотеки та інші установи, що володіють КС, розробляють власні положення та інструкції щодо їх digitization. Ці документи повинні відповідати вимогам національного та галузевого рівнів, а також враховувати специфіку КС, що знаходяться в їх власності.

Наземна фотограмметрія стає одним із ключових методів для створення тривимірних моделей КС. Цей метод ґрунтується на послідовній фотозйомці об'єкта з різних ракурсів з подальшим обробкою зображень для отримання тривимірної реконструкції.

Окрім наземної фотограмметрії, існує широкий спектр інших методів моделювання КС, кожен з яких має свої особливості та сферу застосування:

- лазерне сканування: цей метод використовує лазерні промені для отримання точних тривимірних точок поверхні об'єкта, що дає можливість створювати детальні моделі складних форм;

- структурне світло: цей метод проектує на об'єкт візерунок світла, а потім використовує стереокамери для його реконструкції, що добре підходить для об'єктів з складною текстурою;

- 3D-друку: ця технологія дозволяє створювати фізичні копії тривимірних моделей КС, що робить їх доступними для тактильного вивчення.

Віртуальна та доповнена реальність: Ці технології дають можливість користувачам візуалізувати та взаємодіяти з тривимірними моделями КС в віртуальному або доповненому середовищі.

Вибір методу моделювання:

Вибір методу моделювання залежить від цілей дослідження, чи потрібна детальна тривимірна-модель, чи лише загальне візуалізування об'єкта:

- технічних характеристик об'єкта: розміру, форми, текстури поверхні;
- доступних ресурсів: фінансових, кадрових, технічних;

Переваги цифрового моделювання:

- збереження: тривимірної-моделі дозволяють документувати КС та створювати їх резервні копії, що важливо для збереження їх культурної цінності;

- дослідження: тривимірної-моделі дають можливість детально вивчати КС, вимірювати їх параметри, аналізувати їх структуру;

- популяризація: -моделі роблять КС доступними для широкого кола користувачів, популяризуючи їх та стимулюючи інтерес до культурної спадщини.

Крім основних методів, описаних раніше, існують також деякі спеціалізовані підходи та модифікації наземної фотограмметрії, які можуть бути корисними для моделювання об'єктів культурної спадщини.

Фотограмметрія з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Цей метод поєднує наземну фотограмметрію з аерофотозйомкою за допомогою дронів або інших безпілотників. Він дозволяє отримувати знімки з різних ракурсів, включаючи зверху, що покращує якість моделювання складних архітектурних форм. Однак використання БПЛА може бути обмеженим у деяких місцях через правила безпеки.

Крім основних методів, описаних раніше, існують також деякі спеціалізовані підходи та модифікації наземної фотограмметрії, які можуть бути корисними для моделювання об'єктів культурної спадщини.

Сферична фотограмметрія (Spherical Photogrammetry) [6]. Ця методика передбачає використання спеціальних сферичних камер або серій окремих знімків, зроблених під різними кутами для отримання повного сферичного огляду об'єкта. Сферична фотограмметрія є особливо корисною для внутрішнього моделювання приміщень та важкодоступних ділянок.

Фотограмметрія з використанням штучного інтелекту (AI-Photogrammetry) [7]. Сучасні алгоритми машинного навчання та комп'ютерного зору дозволяють автоматизувати та покращити процеси виявлення та узгодження точок на зображеннях, що підвищує точність і швидкість фотограмметричного моделювання. Однак ці підходи все ще перебувають на стадії активного розвитку та досліджень.

Фотограмметрія з високою роздільною здатністю (High-Resolution Photogrammetry) [8]. Цей метод передбачає використання високороздільних цифрових камер та об'єктивів для отримання надзвичайно деталізованих знімків об'єкта. Це дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі, які містять найдрібніші деталі та текстури поверхні. Однак обробка великих обсягів даних вимагає потужних обчислювальних ресурсів.

Вибір конкретного методу залежить від характеристик об'єкта, доступного обладнання, необхідної точності та деталізації моделі, а також досвіду та ресурсів виконавців. Часто використовуються комбіновані або гібридні підходи для досягнення оптимальних результатів моделювання пам'яток культурної спадщини.

### **1.3 Аналіз останніх досліджень щодо моделювання об'єктів культурної спадщини**

Моделювання об'єктів культурної спадщини за допомогою цифрових технологій, зокрема фотограмметрії, є активно досліджуваною галуззю протягом останніх років. Розглянемо деякі найбільш значущі та цікаві наукові роботи в цій сфері.

Дослідження з Політехнічного університету Валенсії (2021) [1] присвячене вивченню можливостей інтеграції наземної фотограмметрії та лазерного сканування для створення високоточних тривимірних моделей історичних архітектурних пам'яток. Автори продемонстрували, що комбінований підхід забезпечує максимальну точність та деталізацію моделей порівняно з використанням лише одного методу.

Наукова праця з Університету Любляни (2020) [2] зосереджена на питаннях автоматизації процесів фотограмметричного моделювання культурної спадщини за допомогою алгоритмів машинного навчання. Дослідники розробили нові методи автоматичного виявлення та усунення шуму в фотограмметричних даних, що значно покращує якість кінцевих тривимірних моделей.

Цікава робота із Technische Universität München (2019) [3] присвячена застосуванню багатовидової фотограмметрії з використанням безпілотних

літальних апаратів для моделювання історичних будівель та археологічних знахідок. Результати показали високу ефективність такого підходу для документування важкодоступних ділянок та великомасштабних об'єктів.

Дослідження з Університету Парми (2018) [4] зосереджене на використанні фотограмметрії з високою роздільною здатністю для детального документування та моделювання пошкоджених скульптур та архітектурних елементів. Автори продемонстрували можливість відтворення найдрібніших деталей та фактури поверхні за рахунок використання надвисокоякісних фотографій.

Цікаве дослідження з Массачусетського технологічного інституту (2017) [5] присвячене розробці методів автоматичного текстурування тривимірних моделей культурної спадщини на основі даних фотограмметрії. Запропонований підхід дозволяє точно відтворювати кольори та текстури поверхні об'єктів, значно підвищуючи реалістичність віртуальних моделей.

Ці та багато інших досліджень демонструють широкі можливості фотограмметрії для моделювання об'єктів культурної спадщини та активний розвиток методів і технологій у цій галузі. Основними напрямками є підвищення точності та автоматизації процесів, інтеграція з іншими технологіями, такими як лазерне сканування та штучний інтелект, а також покращення відтворення текстур і деталей об'єктів.

Сучасні дослідження в галузі моделювання об'єктів культурної спадщини (КС) активно розвиваються, пропонуючи нові методи та інструменти для більш точного, детального та ефективного документування та дослідження КС. Цей динамічний напрямок досліджень характеризується наступними ключовими тенденціями:

- автоматизація: зроблені алгоритми для автоматичного виявлення та реконструкції тривимірних моделей КС з фотографій, що значно спрощує процес моделювання та робить його доступнішим для широкого кола користувачів;

- підвищення точності: запропоновано нові методи обробки зображень, які дозволяють отримувати більш точні та детальні тривимірні моделі, especially in challenging lighting conditions, such as low light or overexposed conditions;

- мультимодальність: тривимірні моделі КС поєднуються з даними лазерного сканування, щоб отримати більш повне та точне уявлення про об'єкт;

- штучний інтелект: використовуються методи машинного навчання для автоматичного аналізу тривимірних моделей та виявлення археологічних особливостей;

- безпілотні літальні апарати (БПЛА): Досліджуються можливості використання БПЛА для фотозйомки та моделювання КС, що робить процес більш доступним, швидким та мобільним, especially in remote or inaccessible areas;

- 3D-друк: використовуються методи 3D-друку для створення фізичних копій тривимірних моделей КС.

"Автоматичне тривимірне реконструювання історичних будівель з використанням глибокого навчання" (2023): Дослідження пропонує новий метод автоматичного моделювання історичних будівель з фотографій,

"Інтегроване тривимірне документування археологічних пам'яток за допомогою фотограмметрії та лазерного сканування" (2022): Робота демонструє ефективність використання комбінації фотограмметрії та лазерного сканування.

Окрім вищезгаданих досліджень, слід також відзначити низку інших цікавих наукових робіт, присвячених застосуванню фотограмметрії для моделювання культурної спадщини:

Дослідники з Університету Мілана (2022) [6] запропонували новий підхід до інтеграції наземної та повітряної фотограмметрії для створення детальних тривимірних моделей великомасштабних археологічних пам'яток. Їхня методика дозволяє ефективно поєднувати дані, зібрані з різних ракурсів, забезпечуючи високу точність та повноту моделей.

Цікава робота з Каліфорнійського університету (2021) [7] зосереджена на питаннях семантичного моделювання та автоматичного розпізнавання архітектурних елементів на тривимірних моделях, отриманих за допомогою фотограмметрії. Запропоновані алгоритми дозволяють значно спростити процес інтерпретації та аналізу віртуальних моделей пам'яток.

У дослідженні з Університету Кембриджа (2020) [8] розглядається використання комбінованих методів фотограмметрії, лазерного сканування та структурно-світлової проекції для точного моделювання декоративних елементів та скульптур. Автори продемонстрували можливість відтворення найдрібніших деталей та текстур завдяки синергії цих технологій.

Науковці з Політехнічного університету Мадрида (2019) [9] зосередились на вивченні методів фотограмметричного моделювання підводної культурної спадщини, такої як затонулі кораблі та артефакти. Їхні дослідження показали ефективність фотограмметрії для документування та візуалізації морських пам'яток.

У роботі з Массачусетського технологічного інституту (2018) [10] запропоновано новий підхід до автоматичного текстурування фотограмметричних моделей з використанням нейронних мереж. Цей метод забезпечує високу реалістичність відтворення текстур та кольорів, а також значно підвищує ефективність процесу текстурування.

Актуальні напрямки досліджень:

- розробка методів тривимірного моделювання складних об'єктів: Дослідження фокусуються на покращенні точності та деталізації тривимірних моделей скульптур, фресок, інших об'єктів з складною геометрією та текстурою;
- використання комп'ютерного зору для автоматизації: Розробляються алгоритми для автоматичного виявлення та реконструкції тривимірних моделей КС з відео та інших типів даних, що значно;
- інтеграція тривимірних моделей з іншими джерелами інформації: Досліджуються способи інтеграції тривимірних моделей КС з історичними документами, археологічними знахідками, геоінформаційними системами (ГІС) для створення комплексних цифрових реконструкцій;
- збереження та популяризація КС за допомогою тривимірних технологій: Вивчаються методи використання тривимірних моделей для віртуальних музеїв, інтерактивних екскурсій, освітніх програм, що робить КС більш доступними для широкого кола.

Europeana: Цифровий архів, що містить тривимірні моделі КС з різних країн Європи.

UNESCO World Heritage Centre: Сприяє використанню тривимірних технологій для документування та збереження об'єктів Всесвітньої спадщини.

SyArk: Некомерційна організація, яка використовує тривимірне сканування для документування культурних пам'яток, що знаходяться під загрозою зникнення.

Дослідження в галузі моделювання КС активно розвиваються, пропонуючи нові методи та інструменти для кращого розуміння, збереження та популяризації культурної спадщини. Цей напрямок досліджень має великий потенціал для розширення знань про КС.

Висновок:

Працюючи над характеристикою предметних сфер моделювання об'єктів культурної спадщини, можна зробити такі висновки. Що збереження та реставрація пам'яток культурної спадщини на сьогоднішній день регулюється законодавчими актами. Які мають державні і міжнародні рівні. А також контролюються нормативними актами, зокрема наказами Міністерства культури України. Які деталізують процедури та вимоги до цифровізації об'єктів культурної спадщини.

Крім законодавства, значну роль відіграють також професійні стандарти та кодекси етики, розроблені профільними організаціями реставраторів та фахівців з цифрового збереження культурної спадщини.

Таким чином, нормативно-правова база з питань цифровізації культурної спадщини є багаторівневою та включає законодавчі акти, програми, стратегії, професійні стандарти та керівні принципи різних інституцій - від національних урядів до міжнародних організацій. Це забезпечує комплексний підхід і гармонізацію вимог на глобальному рівні

Протягом останніх років можна спостерігати, що моделювання об'єктів культурної спадщини проходить за допомогою цифрових технологій, зокрема фотограмметрії. Цю всю роботу демонструють дослідження, які пропонують

широкі можливості . Дослідження в галузі моделювання активно розвиваються, пропонуючи нові методи та інструменти для кращого розуміння , збереження та популяризації культурної спадщини.

Сучасний підхід до збереження, дослідження та популяризації об'єктів культурної спадщини (КС) неможливо уявити без їх цифровізації. Цей процес передбачає створення цифрових моделей, які описують геометричні, візуальні та інші характеристики КС, роблячи їх доступними для широкого кола користувачів.

## РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ

					<b>БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Волков Ю. О.			Застосування наземної фотограмметрії на прикладі об'єкту культурної спадщини	Літ.	Арк.	Арквщів
Консульт.								
Керівник		Кінь Д. О.				КНУБА, група ГІСТ-20		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						

## **2.1 Визначення основних етапів дослідження**

Для досягнення поставленої мети та виконання завдань дослідження необхідно чітко визначити основні етапи проведення робіт. Процес тривимірного моделювання об'єкта методом наземної фотограмметрії включає такі основні етапи:

- підготовчий етап, який передбачає аналіз об'єкта моделювання, вибір відповідного обладнання та програмного забезпечення, планування процесу знімання;

- польовий етап, що охоплює безпосереднє виконання фотозйомки об'єкта з різних ракурсів та під різними кутами для забезпечення необхідної деталізації та покриття;

- етап обробки отриманих даних, який включає завантаження фотографій до відповідного програмного забезпечення, їх попередню обробку та вирівнювання, створення хмари точок та текстурованої тривимірної моделі;

- завершальний етап передбачає аналіз та оцінку точності отриманої моделі, її оптимізацію та експорт у потрібний формат для подальшого використання.

Чітке дотримання визначених етапів та їх послідовності є важливим для забезпечення високої якості та достовірності результатів моделювання.

Розвиток цифрових технологій та їх використання у різних сферах розвитку суспільства змінило підходи до багатьох областей науки, освіти. Це так само торкнулося й сфер будівництва, архітектури, які почали набувати нові функції та властивості, для реалізації яких необхідно застосовувати передові методи.

Розвиток фотограмметрії в значній мірі визначається прогресом обчислювальної техніки і суміжних геоінформаційних технологій. Особливості і проблеми, які виникають при використанні цифрової техніки з метою фотограмметричної зйомки, є актуальним питанням на сучасному етапі розвитку наземної фотограмметрії, яка безперечно стає цифровою.

Сучасне інформаційно-комп'ютерне проектування для вирішення питань обґрунтування інвестицій різних об'єктів, від будівель, автомобільних шляхів і залізниць до містобудування, потребує оперативного одержання високоточних даних про поверхню землі. Необхідність в якісній топографічній основі місцевості весь час зростає, а терміни виконання всього комплексу вишукувальних робіт скорочуються. Крім того, сучасні ринкові відносини змушують шукати і використати те нове, що може сприяти поліпшенню якості робіт при одночасному скороченні витрат часу, і, отже, підвищувати конкурентоспроможність підприємства. Класичної двовимірної топографічної зйомки вже не завжди достатньо для розробки оптимальних проектних рішень, тому змінюється інструментарій та методика ведення роботи.

На сьогоднішній день топографічні геодезичні дослідження охоплюють такі види робіт: тахеометрична зйомка, космічна зйомка, лазерне сканування, аерофотозйомка і фотограмметрія.

Одним з найпоширеніших видів зйомки, затребуваним у архітектурному проектуванні, як і раніше, залишається метод тахеометричної зйомки, який вимагає витратних польових геодезичних робіт і досить значної тривалості робіт від моменту проведення робіт до отримання плану зйомки. Крім того, при складанні плану в камеральних умовах виключається можливість його порівняння з місцевістю, що приводить до пропусків окремих об'єктів зйомки, певних перекичувань в зображенні рельєфу місцевості.

Особливий інтерес викликає не менш старий метод фотограмметричної побудови поверхні землі, який динамічно розвивається та отримав новий виток з досягненнями науки і техніки.

Фотограмметрія як науково-прикладна дисципліна завжди була скерована на скорочення обсягів польових геодезичних та топографічних робіт, переміщаючи центр ваги з поля у вигідніші та дешевші камеральні умови побудови топографічних або тематичних карт. Аеротріангуляція саме для того і виникла, щоб замінити геодезичне згущення планово-висотної мережі (роботу в

польових умовах) на фотограмметричні способи, що ґрунтуються на камеральному опрацюванні знімків.

Предметом фотограмметрії є вивчення властивостей фотозображення, методів його отримання і вимірювання, розробка приладів для вимірювання і перетворення фотозображень. Найбільш широке застосування фотограмметрія має в геодезії і топографії при картографуванні земної поверхні, а також у космічних дослідженнях.

В архітектурі фотограмметрія застосовується з метою визначення форми, розмірів, просторового положення і якісних характеристик різних архітектурних об'єктів для вивчення і реставрації будівель, особливо тих, які мають історичне значення.

Об'єкти досліджуються щонайменше за двома знімками об'єкту з різних точок простору (стерео-пари) безконтактним визначення координат точок об'єкта і на основі відтворення моделі об'єкта. Використання комп'ютера та програмних засобів для ефективною обробки фотограмметричних матеріалів є їх важливою властивістю.

Основними завданнями такої науково-технічної дисципліни, як фотограмметрія є:

- вивчення геометричних властивостей, обміри та обстеження об'єктів місцевості, що зображені на фотографічних знімках;
- фіксація пам'яток архітектури і містобудування; постійний моніторинг, регулярні спостереження за зміщенням споруд та зміною ситуації на поверхні місцевості;
- отримання різнохарактерної оперативної інформації; складання на основі матеріалів аерофотозйомки та наземної зйомки планових і картографічних відображень і картини місцевості, документів, що використовуються в якості основ для місто-будівного проектування, топографічних карт, даних для геоінформаційних систем.

## 2.2 Обґрунтування вибору методу наземної фотограмметрії

Найбільш широке застосування фотограмметрія має в геодезії і топографії при картографуванні земної поверхні, а також у космічних дослідженнях. Аерокосмічні знімання дають можливість одержати необхідну інформацію в короткий термін. Так, знімки поверхні земної кулі за допомогою штучних супутників Землі можна отримати за декілька діб. Можливість генерувати не тільки віртуальні, безмасштабні чисельні карти, але і такі продукти як кольорові цифрові ортофотокарти, чисельні моделі території, види території у перспективі або ж об'ємні просторові моделі, дозволила застосовувати фотограмметричні методи не тільки в геодезії для розробок карт. У будівництві методами фотограмметрії виконують контрольні вимірювання при зведенні будівель і споруд, а також визначають величини деформацій споруд у процесі їх експлуатації. В архітектурі фотограмметрія застосовується з метою вивчення і реставрації будівель в першу чергу тих, які мають історичне значення. У містобудуванні використовують просторові моделі міст. За знімками, одержаними за допомогою мікроскопа, можна визначити розміри, форму та інші характеристики об'єктів мікросвіту. У військовій справі на фотознімках визначають координати орієнтирів і цілей, рубежі розташування військ та їх переміщення. Аеро-космічні знімання дають можливість досліджувати діяльність вулканів, а також катастрофічні явища природи.

На сучасному етапі фотограмметристами розв'язуються нові завдання: автоматизація стерео-фотограмметричних вимірювань і розробка відповідних автоматичних приладів, створення цифрової фотограмметрії з використанням ЕОМ і геоінформаційних технологій, створення алгоритмів і програм для автоматичного дешифрування фотозображень та інші.[5] В даний час на перший план у фотограмметрії виступають методи цифрового моделювання місцевості (ЦММ), які є новою інформаційною основою містобудівного проектування, здатної замінити або істотно доповнити традиційну форму підготовки топографічних карт і планів. Найбільш широке застосування ЦММ можуть знайти в системах автоматизованого проектування (САПР), оскільки їх

застосування дозволяє порівнювати велике число варіантів розміщення об'єктів на місцевості і вибирати серед них оптимальний.

Сучасні технічні і технологічні можливості фотограмметрії в Україні дозволяють повністю переорієнтуватись на геоінформаційні технології і цифрову фотограмметрію. Значна роль фотограмметричним методам належить у створенні ринку землі і нерухомості. У містобудуванні та сфері управління міським господарством просторове моделювання на базі аерокосмічного знімання дозволить фахівцям приймати в короткі терміни оптимальні управлінські рішення. Використання фотограмметрії разом з ГІС-технологіями та просторовим моделюванням для архівації пам'яток архітектури в археології створюють нові можливості для пошукових, наукових та проектних робіт.

Використання ЦММ гарантує повну об'єктивність і достовірність матеріалів, отриманих на підставі високоточних фотограмметричних вимірювань.

Результатом обробки даних такими програмами може бути :

- ортофотоплан місцевості;
- триангульована тривимірна модель ландшафту або будови;
- тривимірна кольорова хмара точок (техно- логія Point Cloud).

В даний час існує і активно розвиваються досить велика кількість продуктів для створення тривимірної моделі з фотографій в області цифрової фотограмметрії. Деякі з цих програм:

- Agisoft PhotoScan;
- Autodesk ReCap і 123d catch;
- ContextCapture;
- ERDAS IMAGING;
- Pix4D mapper;
- PHOTOMOD.

Автоматизація процесу фотограмметричної обробки даних за допомогою програмного забезпечення дозволяє не тільки фахівцям у галузі геодезії та картографії отримувати топографічну інформацію доступними методами.

Особливо потрібно відмітити просування в цій сфері компанії Autodesk, яка просуває свої додатки в сферу масового використання даної технології, не прив'язуючись тільки до професійних аспектів архітектурної або топографічної діяльності.

Так наприклад, програми Autodesk ReCap Photo, 123d catch, повністю безкоштовні і працюють онлайн, проводячи обчислення в хмарних сервісах Autodesk 360, що дає можливість використовувати дану технологію в проектуванні, студентській діяльності. PHOTOMOD Lite – безкоштовний програмний продукт для фотограмметричної обробки космічних і аерофотознімків, призначений для знайомства з можливостями системи PHOTOMOD, виконання тестових проектів, а також відмінне рішення для підготовки та навчання студентів, інженерів-фотограмметристів або виконання науково-освітніх проектів.

Сьогодні в фотограмметричній практиці країн СНД та України використовується кілька комерційних цифрових фотограмметричних систем (ЦФС) з різною концепцією обробки інформації, відмінним інтерфейсом та параметрами, проте орієнтовані на вирішення основних фотограмметричних задач.

В Україні на базі державного науково-виробничого підприємства «Геосистема» розроблена цифрова фотограмметрична станція «Дельта» (рис. 1), до складу якої входять вісім програмних модулів. Їх комбінація, налаштування і встановлення параметрів ключа захисту дозволяє сформувати два пакети програмного забезпечення, які виконують повний цикл фотограмметричної обробки:

- Дельта (формування, зрівнювання фотограмметричної мережі і побудова ортозображень);

- Digital (створення, редагування, оновлення цифрових карт, рішення земельпорядних та інших задач).



Рис. 2.1. Цифрова фотограмметрична станція «Дельта» [40]

Можна зазначити, що вітчизняні програмні розробки наближаються за функціональними можливостями та продуктивністю до закордонних, а враховуючи їх дешевизну, можуть конкурувати з ними та знаходять більш широке застосування у виробництві. З їх допомогою можна вирішувати конкретні завдання зі створення і оновлення топографічних і кадастрових карт та ортофотопланів та ін.

Серед інших ЦФС слід виділити системи DIAP (ISM), Voxel Imaging Corporation, SoftPlotter (Autometric, Inc.), SUMMIT (DAT/EM System Int.), DVP (Geomatic System Inc.), ATLAS Digital Stereo Plotter (KLT ASSOCIATES), Realistic Map, ТАЛКА, TNT, Z-Space та інші.

У вітчизняній практиці методи цифрової фотограмметрії найчастіше застосовуються в області аерофотозйомки місцевості за допомогою безпілотних літальних апаратів (квадрокоптерів, гексакоптерів) (рис. 3 а, б) тривимірної моделі, отримані в результаті обробки таких знімків мають ряд переваг у порівнянні з тривимірними моделями, розробленими на основі космічної зйомки, а саме: високою точністю визначення координат (від 0,1 до 0,15 м), роздільною здатністю (0,1 – 0,15 м) та незалежністю від погодних умов (хмарності).



Рис.2. тривимірна модель мікрорайону Харкова, створена у ЦФС «Дельта» [39]

## **2.3 Технічне забезпечення для виконання робіт**

### *2.3.1 Огляд обладнання для наземної фотограмметрії*

Для успішного виконання робіт із наземної фотограмметрії та створення високоякісних тривимірних моделей об'єктів культурної спадщини необхідне відповідне технічне забезпечення. Основне обладнання, яке використовується для цих цілей, включає:

- цифрова камера високої роздільної здатності. Зазвичай використовуються дзеркальні цифрові камери з матрицею не менше 24 мегапікселів та об'єктивами з фіксованою фокусною відстанню. Висока роздільна здатність забезпечує детальне відтворення дрібних деталей об'єкта;

- штатив для камери. Він дозволяє зафіксувати камеру в одному положенні під час знімання серії фотографій та забезпечити стабільність зображень;

- масштабна лінійка або інші маркери для масштабування моделі. Ці елементи розташовують поблизу об'єкта знімання для подальшого визначення його розмірів на моделі;

- портативний комп'ютер з потужними характеристиками для обробки великих обсягів даних під час створення тривимірної моделі;

- додаткове освітлення (прожектори, світловідбивачі) для забезпечення рівномірного освітлення об'єкта під час знімання;

- маркери для позначення опорних точок на об'єкті, які допомагають програмному забезпеченню розпізнавати та вирівнювати фотографії.

Вибір конкретних моделей обладнання залежить від специфіки об'єкта моделювання, вимог до точності та деталізації моделі, а також наявного бюджету на придбання техніки.

Крім основного обладнання, існують додаткові пристрої та аксесуари, які можуть бути корисними під час робіт із наземної фотограмметрії:

- системи позиціонування та орієнтації (наприклад, GNSS-приймачі) дозволяють визначати точні координати та орієнтацію камери під час знімання, що підвищує точність моделі;

- безпілотні літальні апарати (БПЛА) або дрони можуть використовуватися для зйомки важкодоступних ділянок об'єкта з повітря, доповнюючи наземне знімання;

- шумопоглинальні бокси або намети забезпечують контрольоване освітлення та захист від зовнішніх факторів під час знімання дрібних предметів;

- спеціальні калібрувальні міри (шахові дошки, куби тощо) потрібні для калібрування камери та визначення її внутрішніх параметрів.

Вибір обладнання значною мірою залежить від розмірів, складності та особливостей об'єкта дослідження, а також від вимог до точності та деталізації кінцевої моделі. Важливо ретельно підібрати комплект обладнання, який забезпечить найкращі результати з урахуванням усіх факторів проєкту.

### *2.3.2 Критерії вибору обладнання для конкретного дослідження*

Вибір відповідного обладнання для проведення робіт із наземної фотограмметрії є критично важливим етапом, який визначає якість та точність кінцевих результатів. Основними критеріями, які слід враховувати при виборі обладнання для конкретного дослідження, є:

- розміри та складність об'єкта моделювання. Великі об'єкти, такі як архітектурні споруди, потребують камер з більшою роздільною здатністю та об'єктивів з відповідною фокусною відстанню для забезпечення необхідної деталізації;

- вимоги до точності моделі. Якщо потрібна висока точність відтворення геометрії та деталей об'єкта, необхідно використовувати більш професійне обладнання з високими технічними характеристиками;

- умови освітлення на об'єкті. У випадку неоднорідного або недостатнього освітлення може знадобитися додаткове освітлювальне обладнання або світловідбивачі;

- доступність та особливості розташування об'єкта. Для важкодоступних ділянок може знадобитися використання БПЛА або альтернативних методів зйомки;

- вимоги до деталізації текстур та кольору. Для точного відтворення кольору та текстур поверхонь необхідно використовувати якісні камери з відповідними налаштуваннями;

- бюджетні обмеження. Вартість обладнання може значно варіюватися, тому необхідно обирати найбільш оптимальний комплект у рамках наявного бюджету;

- портативність та мобільність обладнання. Для польових робіт важливо, щоб обладнання було легким та зручним для транспортування.

Ретельний аналіз усіх критеріїв та особливостей конкретного проекту дозволить підібрати найбільш оптимальне обладнання для успішного виконання робіт із наземної фотограмметрії.

#### **2.4 Визначення обмежень дослідження**

Під час планування та проведення досліджень з використанням методів наземної фотограмметрії для моделювання об'єктів культурної спадщини можуть виникати певні обмеження та труднощі. Важливо заздалегідь визначити та врахувати ці обмеження для забезпечення успішного виконання робіт. Основні обмеження можна розділити на наступні категорії:

Обмеження, пов'язані з об'єктом дослідження:

- складність геометрії об'єкта (наявність дрібних деталей, декоративних елементів, складної архітектури);

- розміри та розташування об'єкта (важкодоступність певних ділянок);

- стан збереженості об'єкта (наявність пошкоджень, руйнувань);
- освітленість об'єкта та навколишнього середовища.

Обмеження, пов'язані з методом наземної фотограмметрії:

- обмеження програмного забезпечення (обмеження на розмір та кількість фотографій, вимоги до їх якості);

- точність та достовірність отриманих тривимірних моделей;
- складність обробки даних для складних об'єктів.

Обмеження, пов'язані з умовами проведення робіт:

- погодні умови (опади, вітер, низька освітленість);

- доступність до об'єкта (наявність перешкод, обмежень на проведення робіт);

- безпека проведення робіт (необхідність застосування спеціального обладнання, дотримання правил безпеки).

Обмеження, пов'язані з людськими ресурсами:

- кваліфікація та досвід виконавців робіт;

- наявність необхідної кількості працівників для проведення польових та камеральних робіт.

Обмеження, пов'язані з фінансовими та часовими ресурсами:

- бюджет дослідження (вартість обладнання, програмного забезпечення, оплата праці);

- терміни та графік виконання робіт.

Ретельне визначення та врахування цих обмежень на етапі планування дослідження дозволить мінімізувати ризики та труднощі, а також забезпечити якісне та ефективне виконання робіт з моделювання об'єктів культурної спадщини методами наземної фотограмметрії.

Окрім загальних категорій обмежень, які було розглянуто вище, під час проведення конкретного дослідження з моделювання об'єкта культурної спадщини методами наземної фотограмметрії можуть виникнути додаткові специфічні обмеження. Необхідно ретельно проаналізувати ці обмеження та врахувати їх при плануванні робіт.

Обмеження, пов'язані з правовим статусом об'єкта:

- необхідність отримання дозволів на проведення робіт від відповідних органів охорони пам'яток;

- обмеження на використання певних видів обладнання (наприклад, безпілотних літальних апаратів) поблизу об'єкта.

Обмеження, пов'язані з розташуванням об'єкта:

- місце розташування об'єкта (міська забудова, віддалені регіони);

- наявність перешкод (споруди, рослинність) навколо об'єкта, що ускладнюють доступ та знімання;

- необхідність облаштування спеціальних майданчиків або підйомників для проведення зйомки.

Обмеження, пов'язані з технічними особливостями об'єкта:

- розміри та масштаби об'єкта (великі архітектурні ансамблі);

- наявність рухомих або змінних елементів (двері, вікна);

- особливості матеріалів та фактури поверхонь об'єкта, що впливають на якість знімків.

Обмеження, пов'язані з вимогами до кінцевого продукту:

- рівень деталізації та точності моделі, необхідний для кінцевого використання;

- формати даних та сумісність з іншим програмним забезпеченням;

- необхідність додаткової обробки або текстурювання моделі.

Обмеження, пов'язані з людськими факторами:

- рівень кваліфікації та досвіду виконавців на різних етапах робіт (польові, камеральні);

- необхідність залучення додаткових фахівців (історики, архітектори, реставратори) для консультацій та експертизи.

- ретельне врахування всіх можливих обмежень на етапі планування дослідження дозволить забезпечити якісне та ефективне виконання робіт з моделювання об'єктів культурної спадщини методами наземної фотограмметрії.

Висновок:

Обґрунтовуючи метод наземної фотограмметрії та технічного забезпечення можна виділити такі етапи:

- підготовчий етап, який передбачає аналіз об'єкта моделювання, вибір відповідного обладнання та програмного забезпечення, планування процесу знімання;

- польовий етап, що охоплює безпосереднє виконання фотозйомки об'єкта з різних ракурсів та під різними кутами для забезпечення необхідної деталізації та покриття;

- етап обробки отриманих даних, який включає завантаження фотографій до відповідного програмного забезпечення, їх попередню обробку та вирівнювання, створення хмари точок та текстурованої тривимірної моделі;

- завершальний етап передбачає аналіз та оцінку точності отриманої моделі, її оптимізацію та експорт у потрібний формат для подальшого використання.

Дотримуючись визначених етапів та їх послідовності є важливим на сьогоднішній день для забезпечення високої якості та достовірності результатів моделювання.

Розвиток цифрових технологій та їх використання у різних сферах розвитку суспільства на сучасному етапі змінює підходи до багатьох областей науки, освіти. Це так само торкнулося й сфер будівництва, сучасної архітектури, які почали набувати нові функції та властивості, для реалізації яких необхідно застосовувати передові методи.

Розвиток фотограмметрії в значній мірі визначається прогресом обчислювальної техніки і суміжних геоінформаційних технологій. Особливості і проблеми, які виникають при використанні цифрової техніки з метою фотограмметричної зйомки, є актуальним питанням на сучасному етапі розвитку наземної фотограмметрії, яка безперечно стає цифровою.

Фотограмметрія як науково-прикладна дисципліна завжди була скерована на скорочення обсягів польових геодезичних та топографічних робіт,

переміщаючи центр ваги з поля у вигідніші та дешевші камеральні умови побудови топографічних або тематичних карт.

Найбільш широке застосування фотограмметрія має в геодезії і топографії при картографуванні земної поверхні, а також у космічних дослідженнях.

Сучасні технічні і технологічні можливості фотограмметрії в Україні дозволяють повністю переорієнтуватись на геоінформаційні технології і цифрову фотограмметрію. Значна роль фотограмметричним методам належить зараз у створенні ринку землі і нерухомості. У містобудуванні та сфері управління міським господарством просторове моделювання на базі аерокосмічного знімання дозволить фахівцям приймати в короткі терміни оптимальні управлінські рішення. Що прискорює роботу фахівців.

Правильність вибору обладнання значною мірою залежить від розмірів, складності та особливостей об'єкта дослідження, а також від вимог до точності та деталізації кінцевої моделі. Важливо ретельно підібрати комплект обладнання, який забезпечить найкращі результати з урахуванням усіх факторів проекту.

Ретельне визначення та врахування цих обмежень на етапі планування досліджень дозволить мінімізувати ризики та труднощі, а також забезпечити якісне та ефективне виконання робіт з моделювання об'єктів культурної спадщини методами наземної фотограмметрії.

### РОЗДІЛ 3. ВИКОНАННЯ ЗНІМАННЯ ОБ'ЄКТУ МЕТОДОМ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ

					<b>БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Застосування наземної фотограмметрії на прикладі об'єкту культурної спадщини			Літ.	Арк.	Аркшів
Виконав		Волков Ю. О.								
Консульт.										
Керівник		Кінь Д. О.								
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.			КНУБА, група ГІСТ-20					

### 3.1 Підготовчі роботи та виконання знімання

Мета зйомки: створення цифрової тривимірної моделі об'єкта для подальшого використання її у роботах з відновлення споруди або реконструкції фасаду.

Метод знімання: було виконано фотографування об'єкта культурної спадщини з дотриманням основних правил фотографування, тобто метод наземної фотограметрії.

Обладнання: цифровий дзеркальний фотоапарат Nikon D700.



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд обладнання [42]



Рис. 3.2. Цифрова панель [42]

Технічні характеристики обладнання:

- матриця формату FX має розміри 23,9\*36 мм. У цьому контексті "FX" означає "повний кадр" (англ. Full-frame). Цей формат матриці дозволяє знімати зображення з високою якістю, оскільки великий розмір матриці забезпечує кращу чутливість до світла та більш глибокий кут огляду;

- повнокадрова 12,1 мегапіксельна матриця. Чим більше мегапікселів, тим більше деталей можна зафіксувати на зображенні;

- чутливість: ISO 200-6400 (розширювана до 100 - 25600). Це характеристика чутливості камери до світла, яка вказує на те, наскільки швидко камера може зафіксувати зображення при різних рівнях освітлення;

- процесор обробки зображень: Nikon EXPEED. Ці процесори відповідають за обробку інформації, яка збирається з матриці камери під час зйомки, та перетворення її в готові зображення, які можна зберегти на карту пам'яті;

- 51-точкова система автофокусування Multi-CAM3500FX, 15 перехресних датчиків. Дозволяє точно та швидко фокусуватися на об'єктах у різних ситуаціях;

- видошукач: 95% покриття кадру. 95% площі, яка буде зареєстрована на фотографії, буде видно через видошукач. Це означає, що у вас є досить точне уявлення про те, що буде знято, коли ви дивитесь через видошукач;

- швидкість зйомки: 5 кадрів в секунду з автофокусом;

- 3-х дюймовий 922000 піксельний (роздільна здатність) РК-монітор.

Вибір об'єкта дослідження:

Будинок на бульварі Тараса Шевченка, 34, належить Івану Миколайовичу Терещенку. Родина Терещенків протягом багатьох поколінь дбала про цей будинок і захищала його від незаконної забудови у 2017 році. (Костянтин Чернічкін).

Ця вікторіанська споруда у неоготичному стилі був побудований архітектором Андреасом Фердинандом Крауссом у 1874–1875 роках. Протягом

свого тривалого існування він став свідком багатьох історичних подій, включаючи події 1918 року, коли, за повідомленнями, Володимир Винниченко публічно висловив намір використовувати збройний опір проти України, яка залишалася частиною Російської держави.

Цей будинок був у родини Терещенків протягом багатьох поколінь. Першим, хто його володів, був Іван Терещенко, який був художником і сином Миколи Терещенка, одного з найбільших цукрових промисловців у Російській імперії. У цьому будинку була колекція картин Михайла Терещенка (який згодом став міністром закордонних справ Росії у 1917 році). Цю колекцію було майже повністю знищено під час більшовицької революції 1917 року.

Незважаючи на те, що це охоронна пам'ятка, будівлю майже знищили, щоб звільнити місце для незаконного будівництва між старим будинком і сусіднім готелем Hilton. Його врятувала швидка робота активістів у 2017 році. Екс-депутат Київради та активістка Олена Терещенко-Єскіна, дружина Мішеля Терещенка, нащадка власника маєтку, а нині мера Глухова один із захисників будівлі.

Після довгих тяганин, споруда перейшла у комунальну власність і тепер належить місту Києву. Посадовці оголосили тендер на відновлення цієї споруди.



Рис. 3.3. Особняк Івана Миколайовича Терещенка [41]

Виконання знімання:

1. Перед початком фотограметричного знімання необхідно підготувати фотоапарат та пристрої до нього:

- вибір правильного об'єктива для зйомки.

В даному випадку було обрано світлосильний надширококутний об'єктив Nikon AF-S NIKKOR 20mm f/1.8G ED формату FX з фіксованою фокусною відстанню 20 мм та максимальною діафрагмою f/1,8. Діафрагма означає, що об'єктив може відкритися дуже широко. У фотоапараті діафрагма контролює, як багато світла потрапляє на фотоапаратну плівку або матрицю.



Рис. 3.4. Зображення об'єктива [42]

Ширококутний об'єктив обирався спеціально для умов виконання зйомки, тому що фокусна відстань і обхват зображень мав бути майже з близької відстані 1,5-2 метри, базувалося це на тому, що ширина тротуару не дозволяла відійти трохи далі, і до того є заважали припарковані автомобілі [44].



Рис. 3.5. Приклад фото з Nikon D700

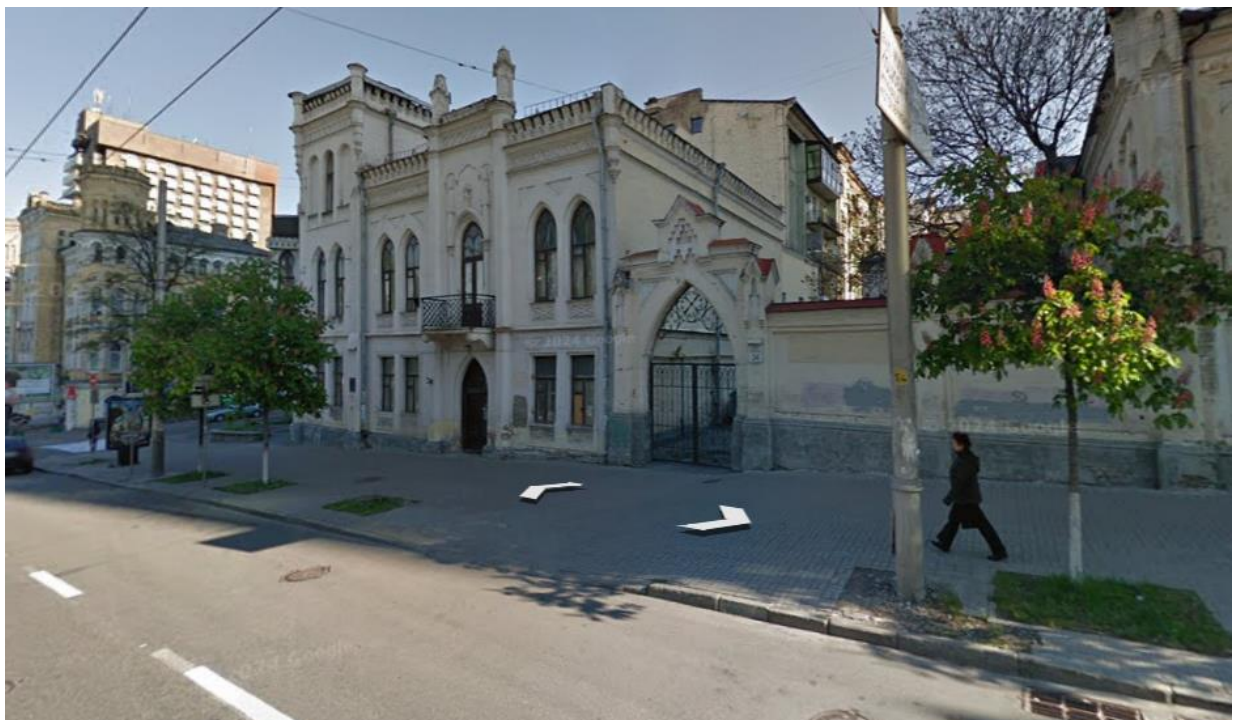


Рис. 3.6. Зображення з ресурсу Google Earth [43]

Надширокий кут: значне збільшення перспективи, розширення простору та створення зображень з ефектом повної присутності. Ідеально підходить для

зйомки інтер'єрів, вуличних репортажів. Зображення з високою роздільною здатністю: цей об'єктив сумісний із матрицями, які мають високу роздільну здатність. З його допомогою можна створювати чудові фотографії та відеоролики у форматі HD. Сучасна оптична конструкція забезпечує високу роздільну здатність та контраст. Точкові джерела світла відтворюються з мінімальними сагітальними коматичними засвіченнями [44].

- налаштування параметрів зйомки:



Рис. 3.7. Меню налаштування [45]

Налаштовано фокусування так, щоб камера захоплювала 51 точку фокусування. А потім для деяких знімків, які потребують особливого фокусу, зробити мінімальною до 9 точок.

Nikon D700 відрізняється одним із найкращих датчиків фокусування який складається з 51 точки з можливістю зменшення зони покриття до 9 чи до 21 точки.

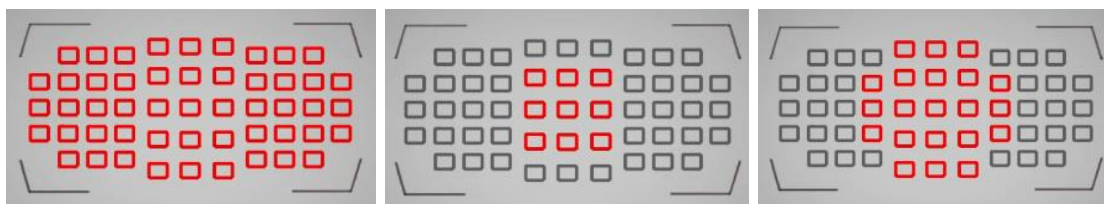


Рис. 3.8. Зображення зміни фокусування [45]

Налаштувати камеру по ISO, тобто підвищити або знизити в залежності від погодніх умов чутливість датчику, щоб зробити правильно експозицію. Але в даному випадку було поставлено режим AUTO і камера впоралася чудово.

- збереження даних на картку

## 2. Планування зйомки

Визначено місця, з яких фотографувати, щоб зробити детальну і точну тривимірну модель об'єкта. Це може включати вибір оптимальної висоти і кутів зйомки, розташування контрольних точок для підвищення точності моделі, а також планування маршруту переміщення з фотоапаратом.

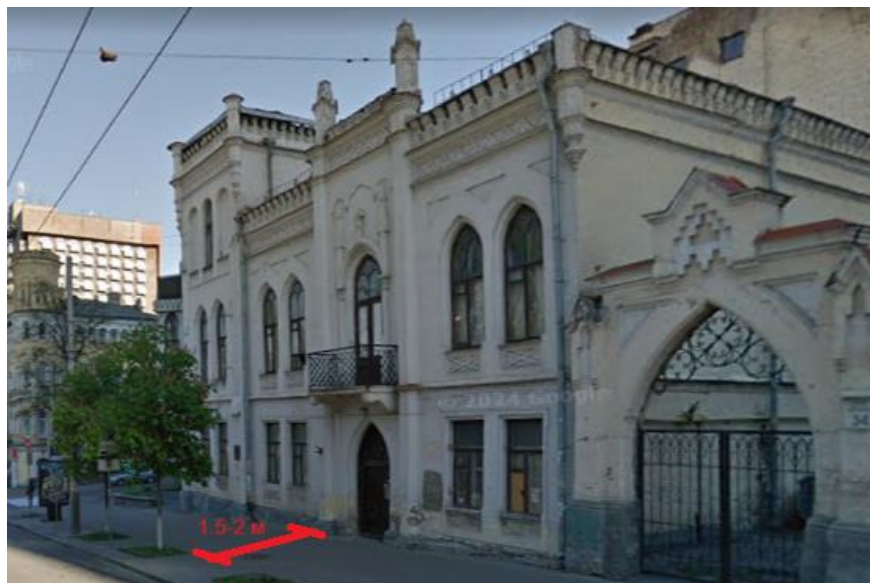


Рис. 3.9. Зображення дистанції [43]

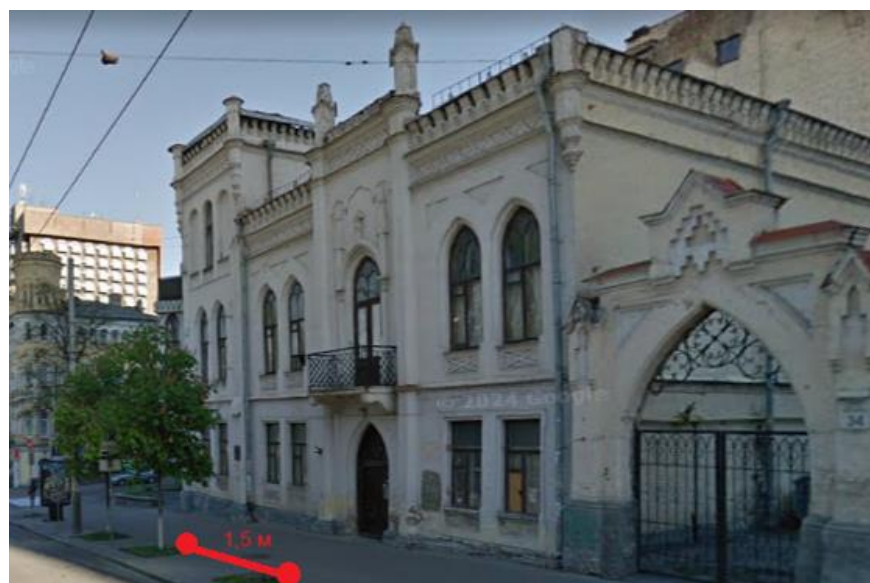


Рис. 3.10. Зображення інтервалу між фотографуванням [43]

### 3. Зйомка

Виконання знімків об'єкта з різних кутів і позицій, з урахуванням вимог фотограметричної обробки. Важливо забезпечити перекриття знімків (близько 60-70%), тобто часткове або повне перекриття кожної області об'єкта на сусідніх знімках.

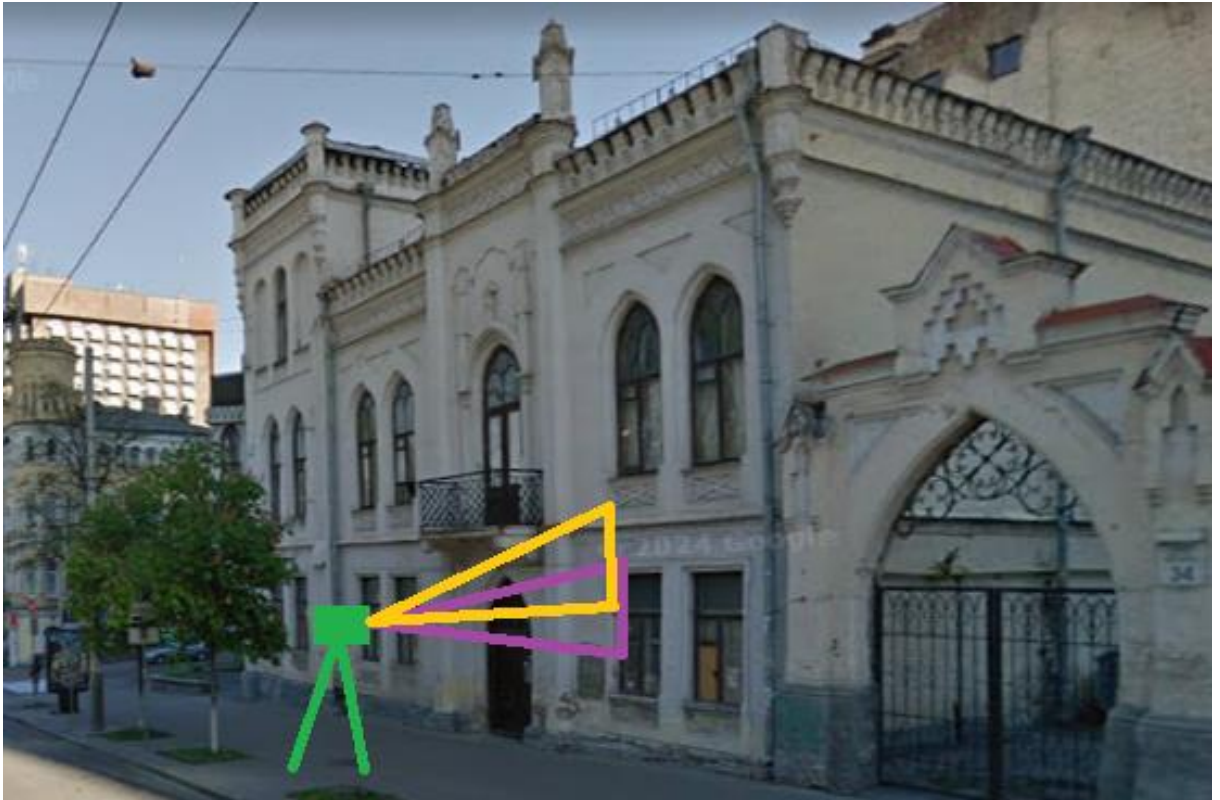


Рис. 3.11. Зображення 60% перекриття між фото [43]

Обрано оптимальну дистанцію та висоту для фотографування, яка підходить для людини, що виконує зйомку. З земної поверхні відфотографовано будівлю по периметру. Якщо потрібно зробити зйомку цоколя і рівня тротуару, використано маленький штатив або підставку, для зменшення висоти підняття камери і збільшення кута захоплення об'єкта.

Моделювання того, як проводилася зйомка наводиться на зображеннях:

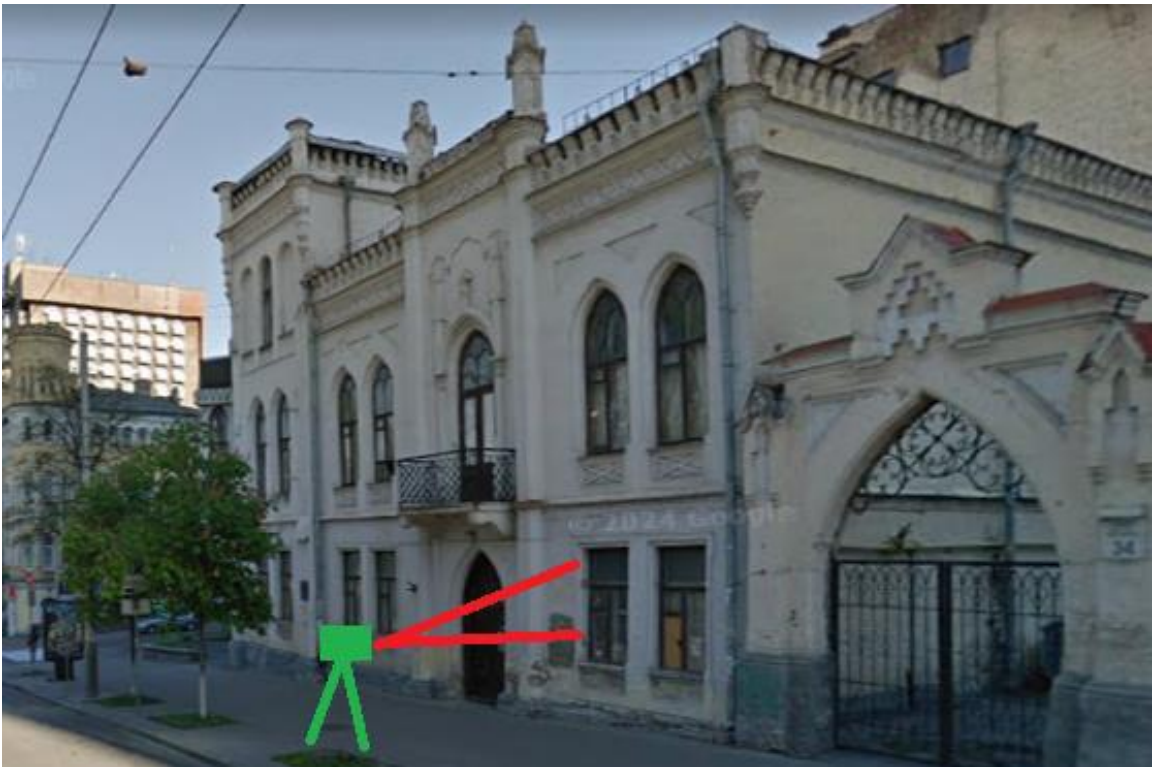


Рис. 3.12. Зображення оптимальної висоти і кута зйомки, стоячи на землі [43]

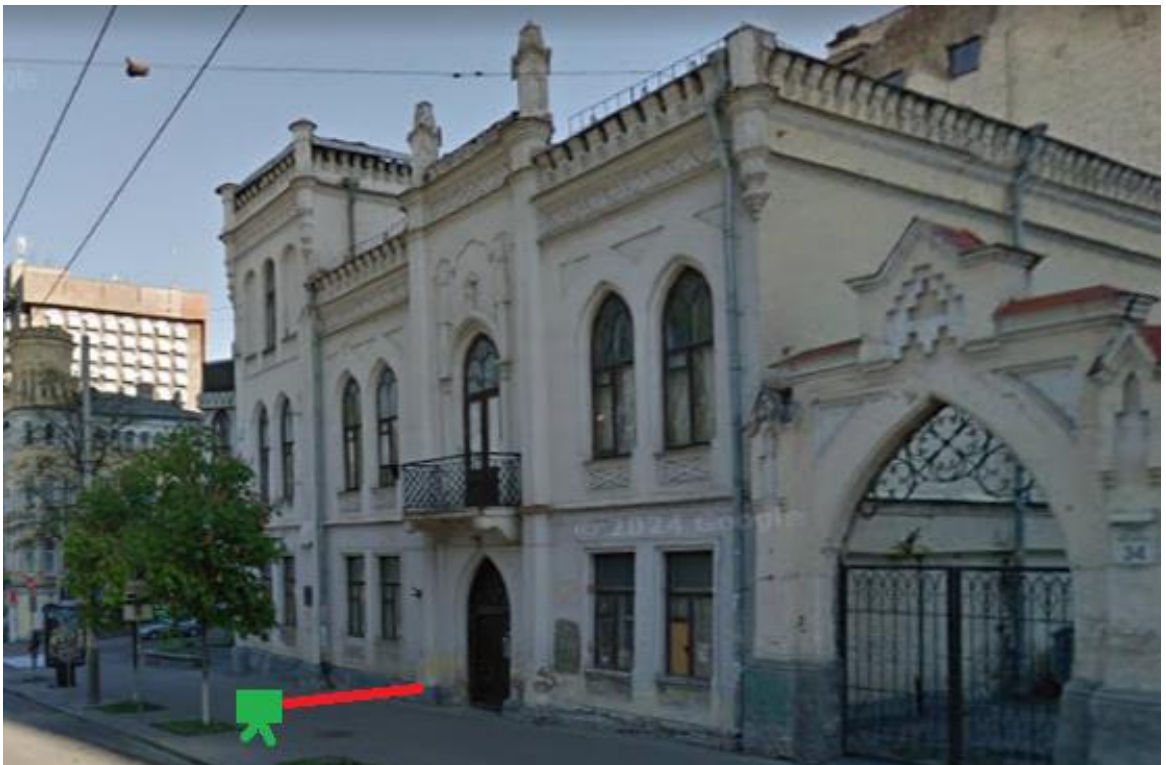


Рис. 3.13. Зображення оптимальної висоти і кута зйомки, при охопленні земної поверхні і цокольної частини споруди [43]

Для висотної зйомки споруди закріплено фотоапарат на штативі, витягнуто підпорочні ніжки на максимальну довжину і піднято пристрій догори, щоб фотографувати верхню частину будівлі.

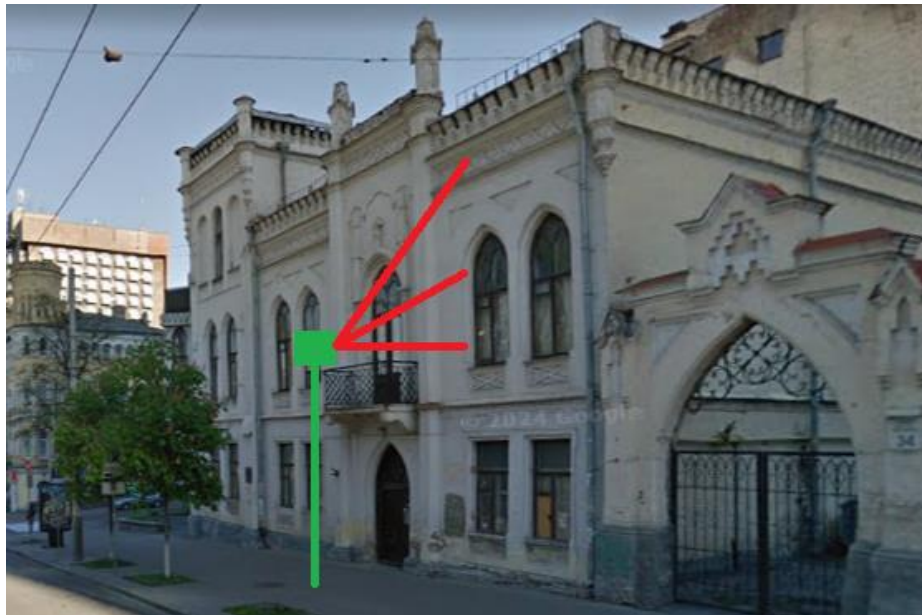


Рис. 3.14. Зображення оптимальної висоти і кута зйомки [43]

#### 4. Контроль якості знімків

Аналіз знімків для виявлення будь-яких аспектів, таких як розмитість, відхилення та відблиски, які можуть вплинути на точність обробки фотограметрії.



Рис. 3.15. Чітке фотографування будівлі [Nikon D700]



Рис. 3.16. Приклад засвічування камери сонцем [Google]



Рис. 3.17. Зображення, яке вийшло при засвічуванні камери сонцем [Nikon D700]

## 5. Обробка зображень

Використано спеціальні програми для обробки фотографій, щоб створити тривимірну модель об'єкта. Це означає, що відредаговано фотографії, щоб виправити перспективу та використано різні алгоритми для визначення місць на зображеннях у просторі.

Для визначення точних розмірів та форм будівлі в програмі введено розміри, які зняті на марках, попередньо приклеєних на будівлю. І зроблено прив'язку розмірів у програмі.



Рис. 3.18. Спеціальні марки на будівлі [Nikon D700]



Рис. 3.19. Нотування розмірів у натурі між точками [Iphone]

## 6. Перевірка та розгляд отриманих результатів

Перевірено тривимірні моделі, щоб побачити, наскільки вони точно відображають оригінальний об'єкт, і вивчено дані, щоб вирішити конкретні завдання або проблеми.

### **3.2 Особливості роботи на території обраного об'єкту культурної спадщини**

Робота на території об'єкту вимагає дотримуватись певних правил, особливостей і ряду підходів через особливий статус та значення культурної спадщини.

До таких критеріїв входять:

- захист і збереження. Об'єкти культурної спадщини відіграють ключову роль у збереженні історичної, культурної та художньої цінності. Тому дотримання всіх нормативів і законів, спрямованих на їх збереження і захист, є надзвичайно важливим. Це може включати обмеження щодо використання та втручання в територію об'єкту;

- збереження принципів етики і поваги. Під час роботи на території культурної спадщини обов'язкове дотримання етичних норм і виявлення поваги до історичного та культурного значення цього місця. Це включає обережне ставлення до будівельних структур та об'єктів, уникання пошкоджень і неправомірних втручань;

- отримання спеціального дозволу та документації на проведення робіт. Для будь-яких робіт на території зазвичай необхідно мати спеціальний дозвіл або отримати згоду від компетентних органів чи адміністрації. Крім цього, може знадобитися детальна документація щодо проведених робіт та їх впливу на об'єкт спадщини;

- консультація з експертами. Перед початком будь-яких робіт корисно звертатися до істориків, архітекторів, консерваторів та інших фахівців з великим досвідом у роботі з цими об'єктами. Їхні знання та рекомендації допоможуть зберегти історичну та культурну цінність об'єкту, а також уникнути можливих помилок чи пошкоджень;

- освіта та інтерес аудиторії. Культурна спадщина відіграє ключову роль у формуванні культурної ідентичності суспільства, тому важливо активно привертати увагу до неї через освітню діяльність та інформування громадськості про історію та значення цих об'єктів. Це може включати організацію екскурсій, проведення лекцій, розробку інформаційних матеріалів та доступ до об'єктів для широкої аудиторії;

- поширення результатів робіт громадськості. Проведення роботи на території культурної спадщини може охоплювати створення програм та ініціатив, які спрямовані на впровадження об'єкта в місцеве оточення та забезпечення його доступності для місцевих мешканців і гостей.

### **3.3 Опрацювання та аналіз отриманих даних знімання**

#### *3.3.1 Застосування програмного забезпечення для обробки фотограмметричних даних*

Обробку фотографій проведено у програмі Reality Capture 1.4.

Reality Capture 1.4 – це програма, яка робить зображення у тривимірному форматі із фотографій. Її головна перевага – швидкість і здатність обробляти великі кількості фотографій без втрати якості. Програма стала швидшою та здатною обробляти більше фотографій, що дозволяє створювати тривимірні моделі швидше і працювати з великими проектами. Тепер програма може автоматично видаляти фон на зображеннях, що спрощує процес створення тривимірних моделей. Крім того, вона підтримує роботу з високороздільними зображеннями, що дозволяє отримувати більш деталізовані моделі. Інтерфейс користувача також став зручнішим, а програма підтримує експорт моделей у різноманітні формати, що робить їх універсальними для використання в інших програмах.

Задано такі параметри текстуризації:

- **режим накладання: загальний.** Режим параметризації Загальний є режимом за замовчуванням і дозволяє зробити параметризацію текстури атласу для довільної геометрії. В цьому випадку PhotoScan не робить ніяких припущень

щодо типу оброблюваної сцени і намагається створити настільки рівномірну текстуру, наскільки це можливо;

- **режим змішування: мозаїка.** Встановлює принцип, за яким значення точок з різних фотографій змішуються між собою в підсумковій текстурі. Мозаїка – використовує поетапне змішування: змішує низькочастотні компоненти на кадрах, що перекриваються, щоб уникнути проблем по лініях різку (використовується середньозважене значення, залежне від ряду параметрів, в тому числі від положення розглянутого пікселя щодо центру кадру), в той час як високочастотні компоненти, відповідальні за деталі текстури, беруться з зображення, що представляє цікаву область в хорошій роздільній здатності (при цьому площа кадру максимально близька до паралельної щодо поверхні в даній області);

- **розмір і кількість текстур:** 8192x1. Розмір (висоту і ширину) текстурного атласу в пікселях і число експортованих файлів текстури. Створення декількох файлів текстури при експорті дозволяє досягати більшої роздільної здатності текстури кінцевої моделі, тоді як експорт текстури з високою роздільною здатністю в один файл може виявитися неможливим через обмеження оперативної пам'яті (RAM);

- **увімкнено корекцію кольорів.** Ця функція корисна для наборів даних з варіативністю яскравості в екстремально широких межах;

- **увімкнено заповнення отворів.** Ця функція допомагає уникнути диспергування текстури в випадках, коли реконструюються поверхню ускладнена численними дрібними деталями, затіняють інші частини моделі.

Хід роботи:

1. Завантажено папку з фото

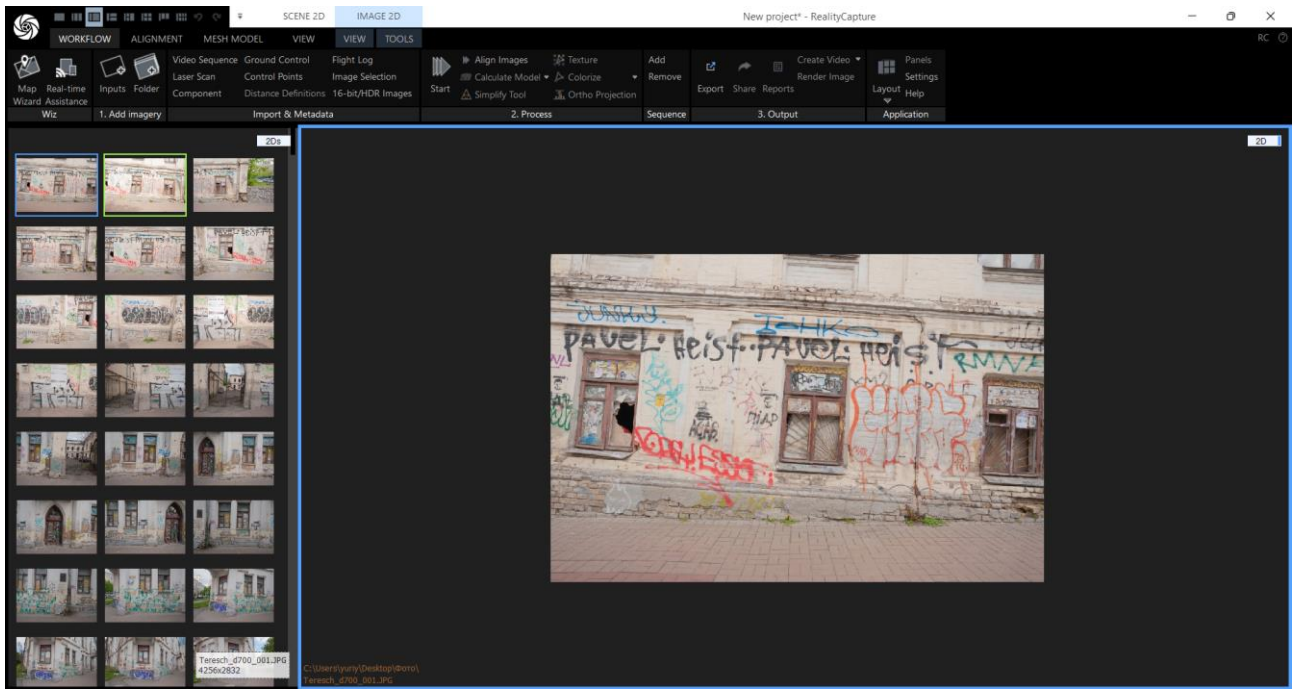


Рис. 3.20. Вікно програми з завантаженими даними [Reality Capture 1.4]

## 2. Знайдено маркери, які попередньо повісили на будівлю

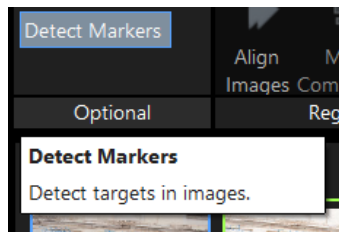


Рис. 3.21. Обрана опція в інтерфейсі [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.22. Результат обробки маркерів [Reality Capture 1.4]

Програма знайшла контрольні точки

3. Вирівняно фотографії вручну

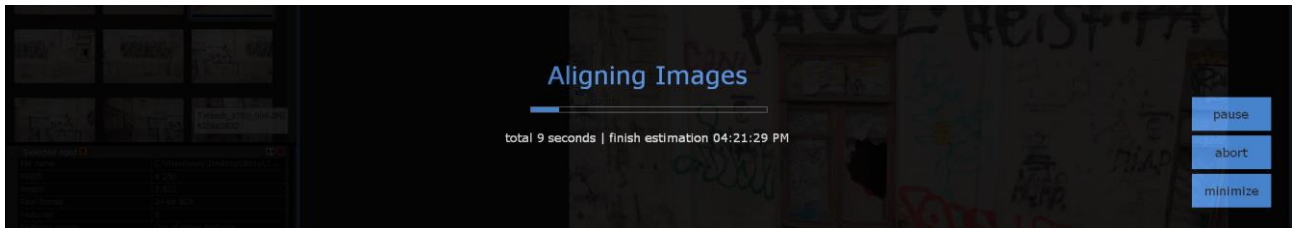


Рис. 3.23. Обробка фотографій за допомогою функції «Вирівнювання фотографій» [Reality Capture 1.4]

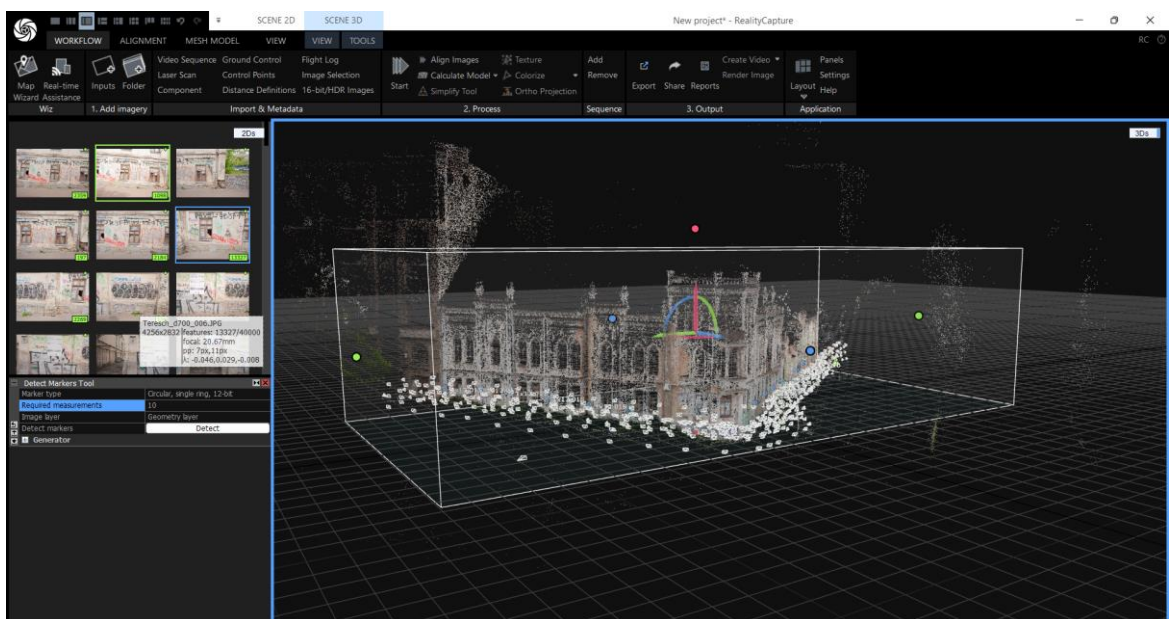


Рис. 3.24. Результат виконання вирівнювання фотографій [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.25. Після вирівнювання, модель представлена у хмарі точок [Reality Capture 1.4]

Після того, як модель вирівнялась, можемо бачити, що тепер вона показана у хмарі точок.

Регульовано область, у якій будуть проходити розрахунки моделі. Це можна зробити по контрольним точкам, щоб була більша точність.

Додано розміри між нашими маркерами задля більшої точності побудови моделі у правильному масштабі.



Рис. 3.26. Додавання розмірів об'єкта [Reality Capture 1.4]

#### 4. Побудовано полігональну модель

Обрано якість обробки Normal Detail. Ця модель може бути зроблена близько з 10 мільйонів трикутників.

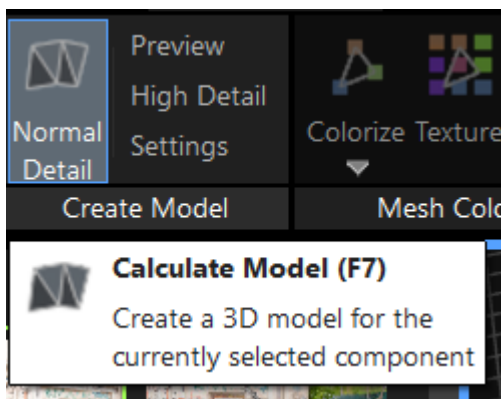


Рис. 3.27. Виконання функції «Побудова моделі» [Reality Capture 1.4]

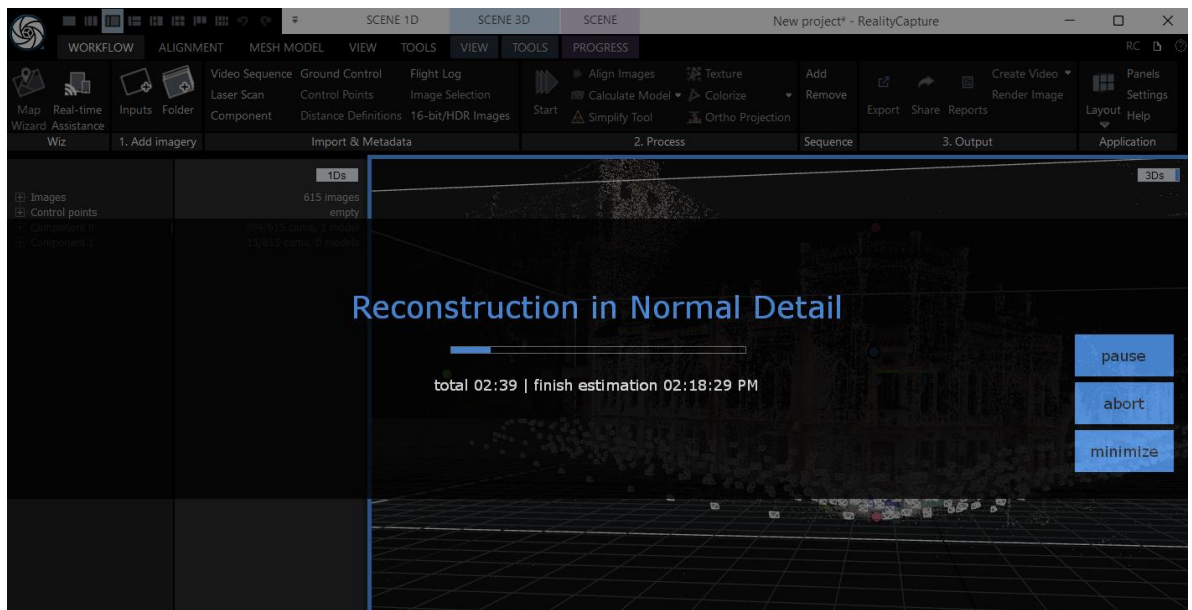


Рис. 3.28. Процес обробки реконструкції [Reality Capture 1.4]

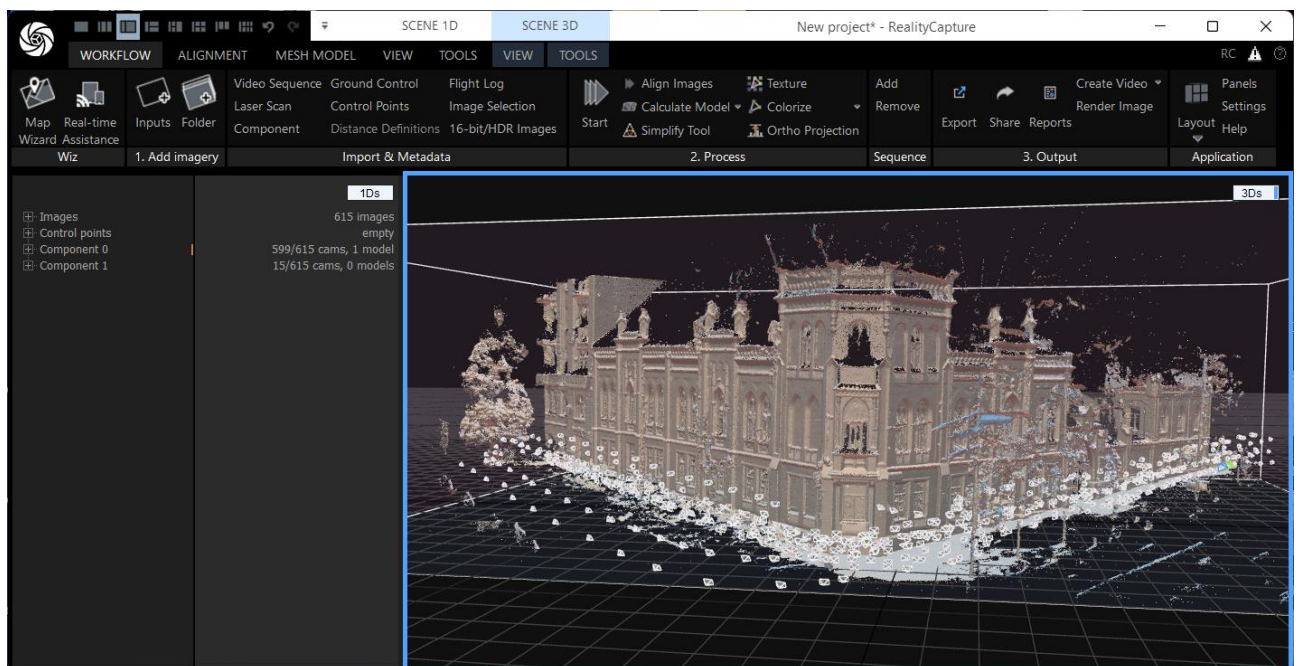


Рис. 3.29. Результат обробки [Reality Capture 1.4]

Вийшов ось такий Mesh з 22 мільйонів трикутників. Розглядаючи модель зі сторін, можемо бачити, що вона вийшла досить непоганою.

### 5. Обробка полігональної моделі

За допомогою функції Filter Selection виділено непотрібні нам артефакти, об'єкти і видалено їх.

Відфільтровано залишкові елементи, які не прилягають до нашого основного об'єкта.

Загладжено поверхню за допомогою функції Smoothing tools



Рис.3.30. Результат згладжування - чистий текстурований Mesh файл [Reality Capture 1.4]

6. Закрито отвори і пропуски за допомогою функції Close holes.

Ця функція допомагає уникнути диспергування текстури в випадках, коли реконструюються поверхню ускладнена численними дрібними деталями, затінують інші частини моделі.



Рис. 3.31. Представлення моделі після поглиблених редагувань [Reality Capture 1.4]

## 7. Побудувано текстуровану модель

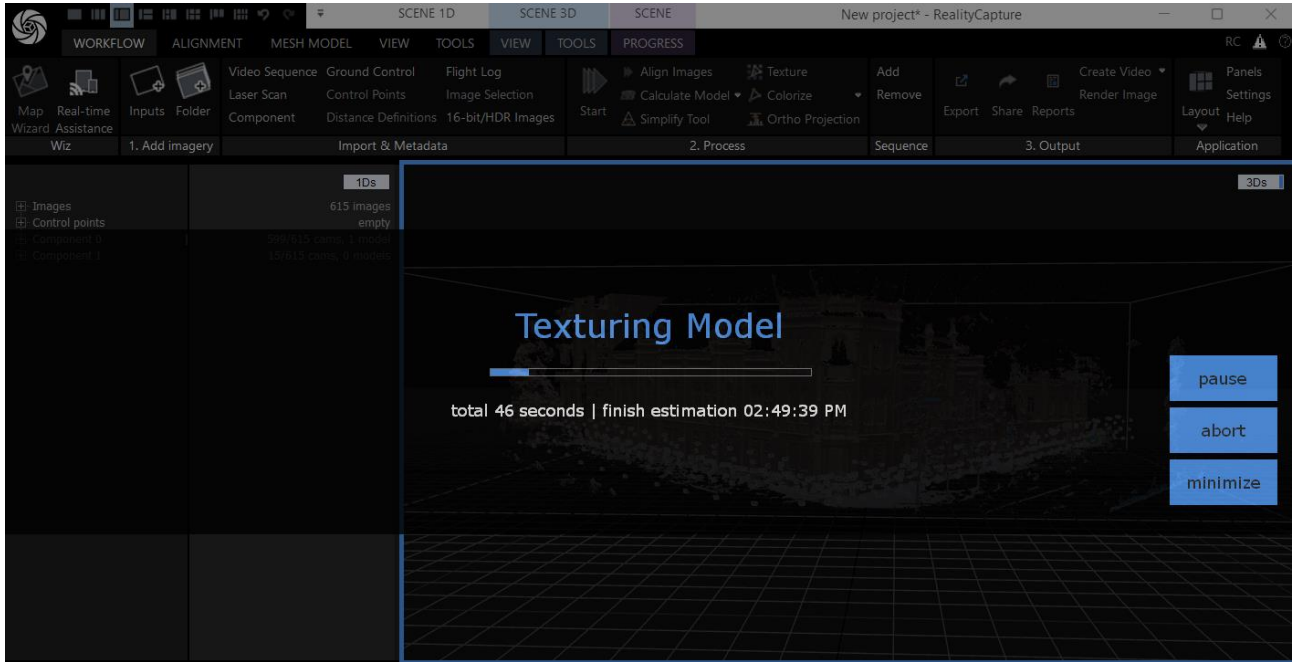


Рис. 3.32. Побудова текстури моделі [Reality Capture 1.4]

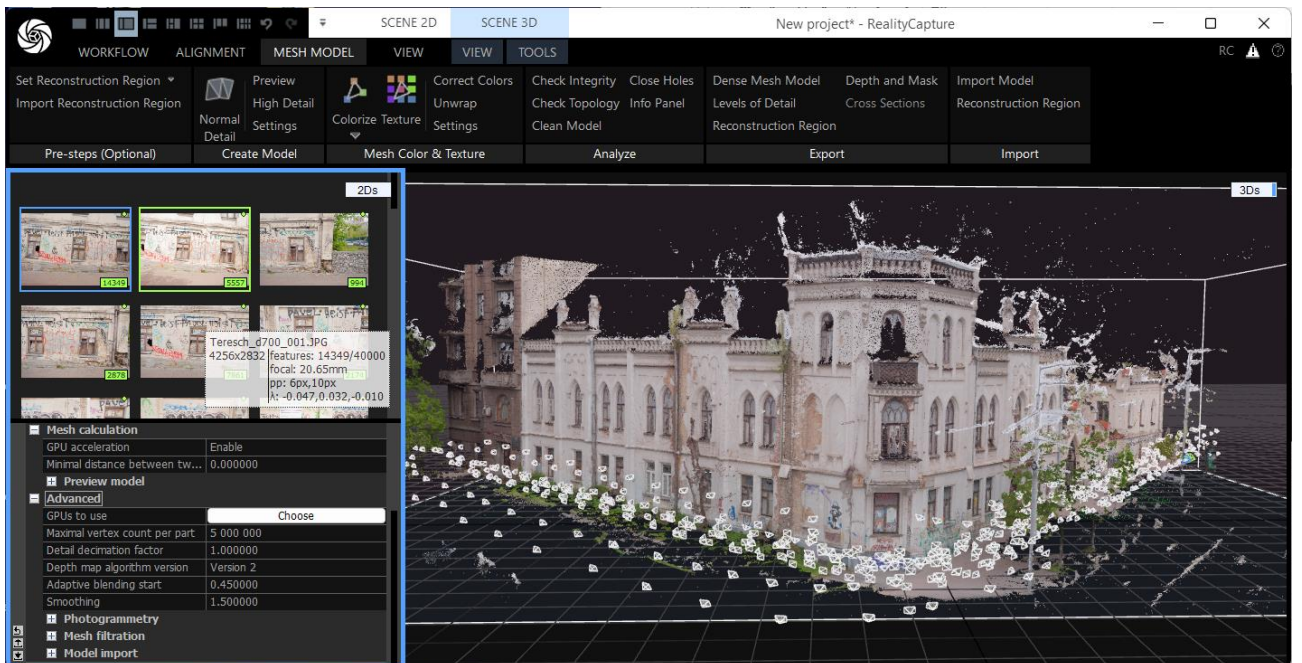


Рис. 3.33. Результат побудови текстури [Reality Capture 1.4]

## 8. Кольоризація зображення

Ця функція корисна для наборів даних з варіативністю яскравості в екстремально широких межах

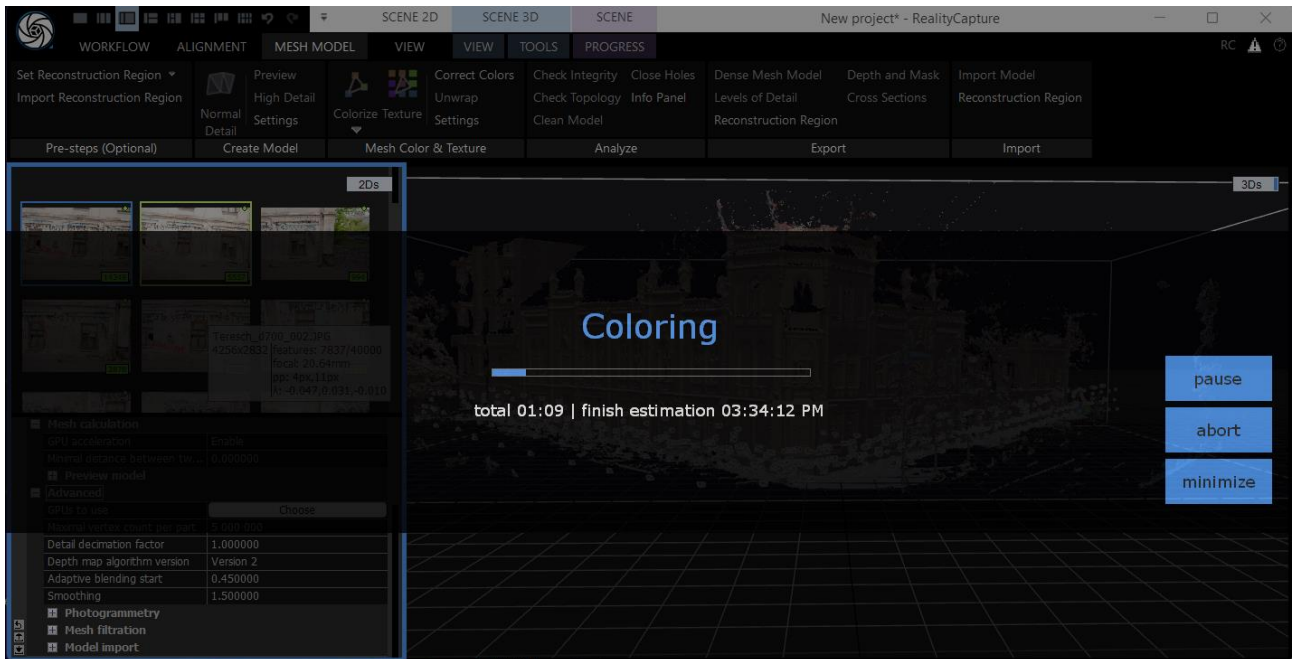


Рис. 3.34. Процес кольоризації моделі [Reality Capture 1.4]

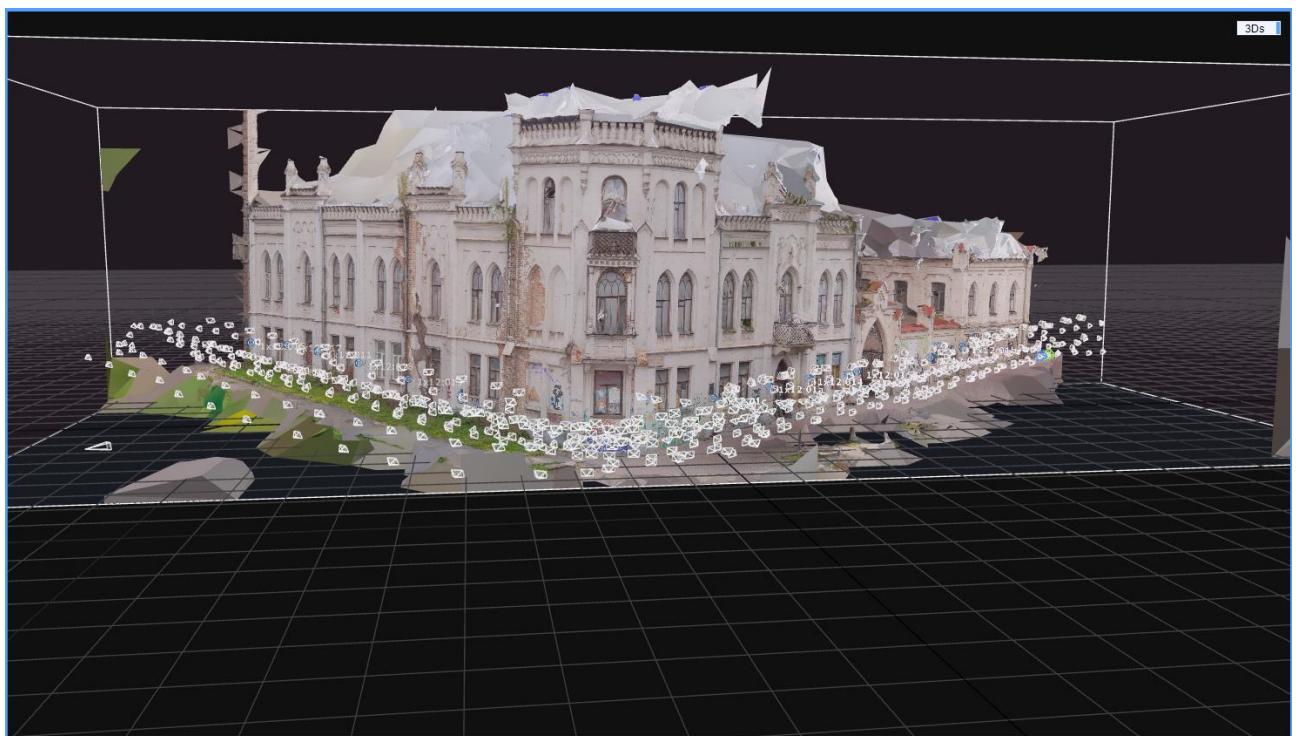


Рис. 3.35. Результат обробки в кольоровому вигляді [Reality Capture 1.4]

Після ще деяких поглиблених налаштувань і оброблень моделі, можемо побачити ось такий гарний результат



Рис. 3.36. Результат обробки моделі в поглиблених налаштуваннях [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.37. Результат обробки моделі в поглиблених налаштуваннях [Reality Capture 1.4]

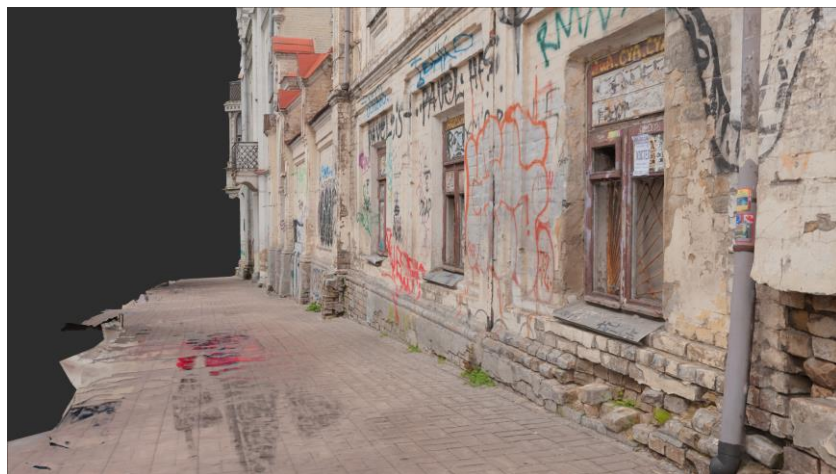


Рис. 3.38. Результат обробки моделі в поглиблених налаштуваннях [Reality Capture 1.4]

### *3.3.2 Визначення основних параметрів та характеристик об'єкту*

#### 1. Координати точок

Це просторові координати точок на об'єкті, які вимірюються або обчислюються з фотограмметричних зображень.

У фотограметрії, щоб знайти місце точок на зображеннях, використовуються різні способи, такі як вимірювання відстаней та кутів між ними. Наприклад, можуть застосовувати техніки, які використовують трикутники, пари зображень або аналіз текстури для визначення цих координат у просторі.

#### 2. Висота положення камери

Відстань, на якій знаходиться камера під час зйомки. Важлива величина для визначення масштабу та деталізації знімків.

Обов'язково тримати однакову відстань при фотографуванні з різних точок, оскільки це допомагає забезпечити точність отримання даних, тому що від неї залежить правильність кута направленою на об'єкт, який фотографується. Дотримання відстані сприяє полегшенню процесу обробки, оскільки спрощує алгоритми визначення положення точок на зображеннях. Також при зміні відстані до об'єкта можуть змінюватися параметри камери, такі як фокусна відстань. Це може призвести до неправильної калібрування камери і зміни її характеристик.

#### 3. Роздільна здатність

Це ступінь деталізації зображення, вимірюється кількістю пікселів на одиницю довжини. Чим вища роздільна здатність, тим більше деталей на знімку.

З більшою кількістю пікселів на зображенні можна зловити більше дрібних деталей та особливостей об'єктів, що дозволяє отримувати більш детальну інформацію про їх структуру та форму для точних та якісних результатів при реконструкції тривимірних об'єктів з фотографій. Це особливо важливо для створення точних і реалістичних тривимірних моделей.

#### 4. Перекриття

Ступінь перекриття між сусідніми знімками. Високе перекриття сприяє покращенню якості та точності результуючої моделі. Кожна точка на об'єкті має бути видимою на декількох знімках. Якщо дотримуватися хоча б 60% перекриття поверхні, то можна забезпечити той факт, що всі деталі об'єкта були зафіксовані та враховані під час процесу фотограметрії. Також збереження цієї процедури несе за собою виявлення помилок та невідповідностей у знімках, або виявлення неправильного розташування певних деталей.

#### 5. Глибина різкості

Відстань між найбільш віддаленими точками, які знаходяться в межах границі гострості. Впливає на чіткість та деталізацію зображення. Висока глибина різкості допомагає забезпечити більш точну та якісну реконструкцію тривимірних об'єктів з фотографій, оскільки кожен елемент сцени буде чітко визначений. Також різкість впливає на загальну картинку, що робить її більш привабливішою для використання в подальшій обробці.

#### 6. Кут огляду

Кут, під яким камера або детектор спостерігає об'єкт. Ширший кут огляду охоплює більше деталей на знімку.

Однакова відстань дозволяє забезпечити стабільний кут зйомки до об'єкта. Це важливо для збереження геометричної стабільності та точності під час реконструкції об'єкта в тривимірному просторі.

Ці параметри та характеристики важливі для точності та якості обробки фотограметричних даних та визначення просторових властивостей об'єкту.

### **3.4 Виконання оцінки точності отриманих результатів**

Виконано заміри у натурі марок (контрольних точок), які закріплені на будівлі:



Рис. 3.39. Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Рис. 3.39. Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Рис. 3.40. Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Рис. 3.41. Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Рис. 3.42. Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]

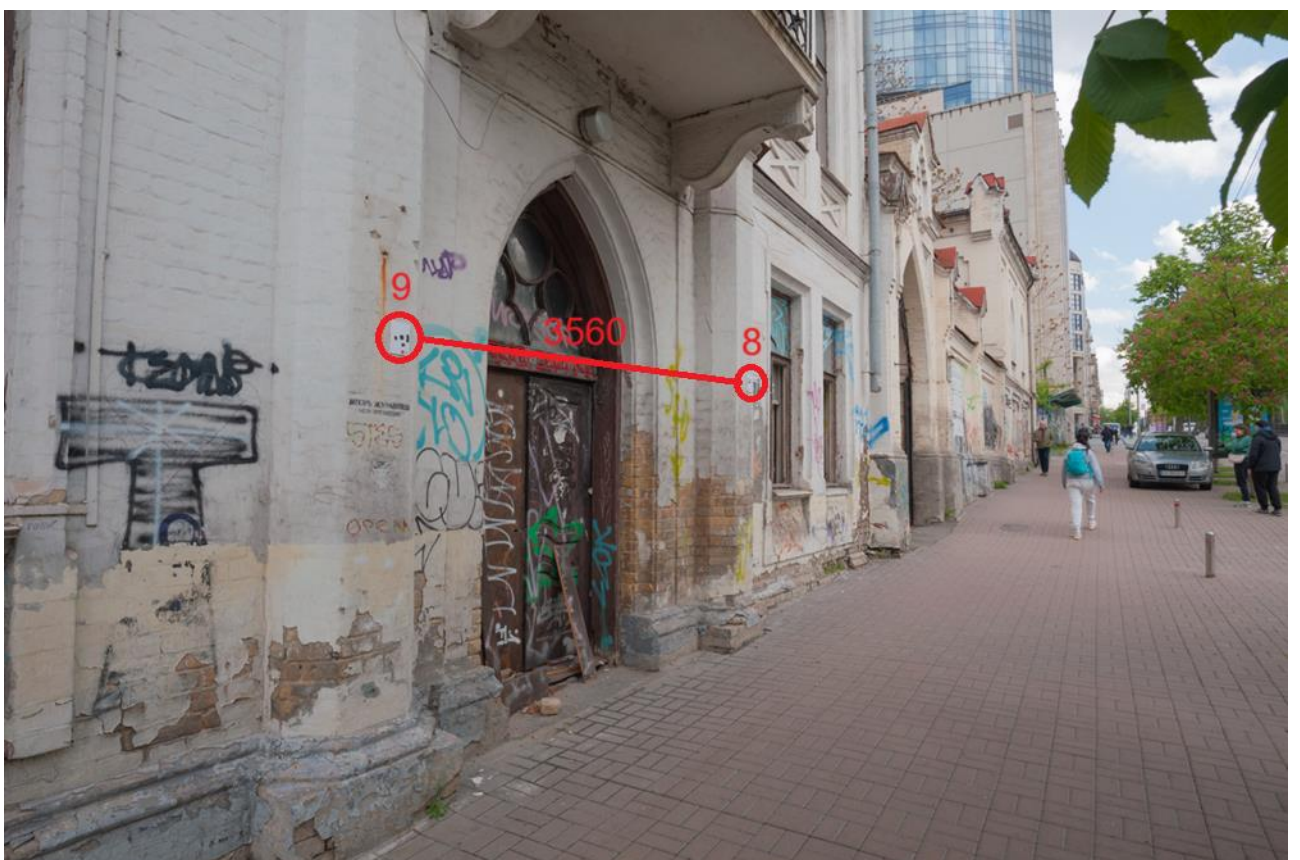


Рис. 3.43. Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Рис. 3.44. Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Рис. 3.45. Зображення відстані між контрольними точками в натурі[Paint]



Рис. 3.46. Зображення висоти споруди [Paint]

Виконано заміри контрольних точок у програмному забезпеченні Reality Capture 1.4:

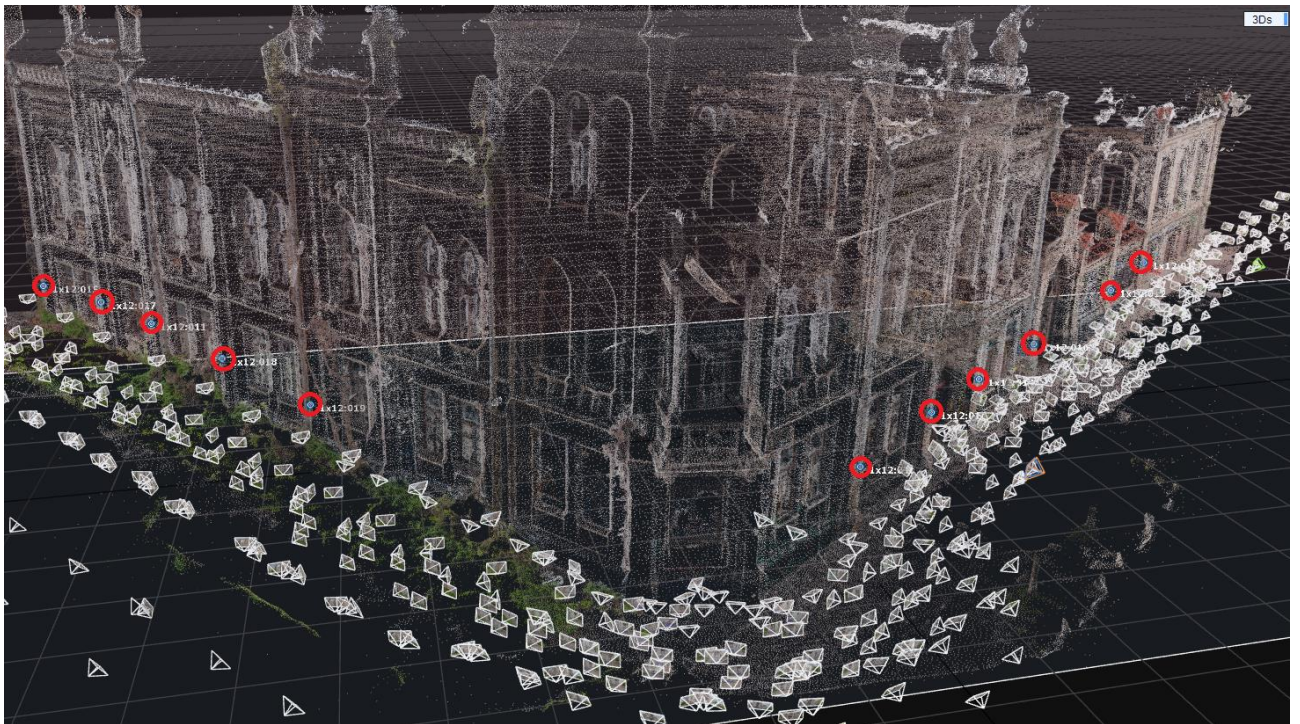


Рис. 3.47. Зображення контрольних точок у програмі [Reality Capture 1.4]

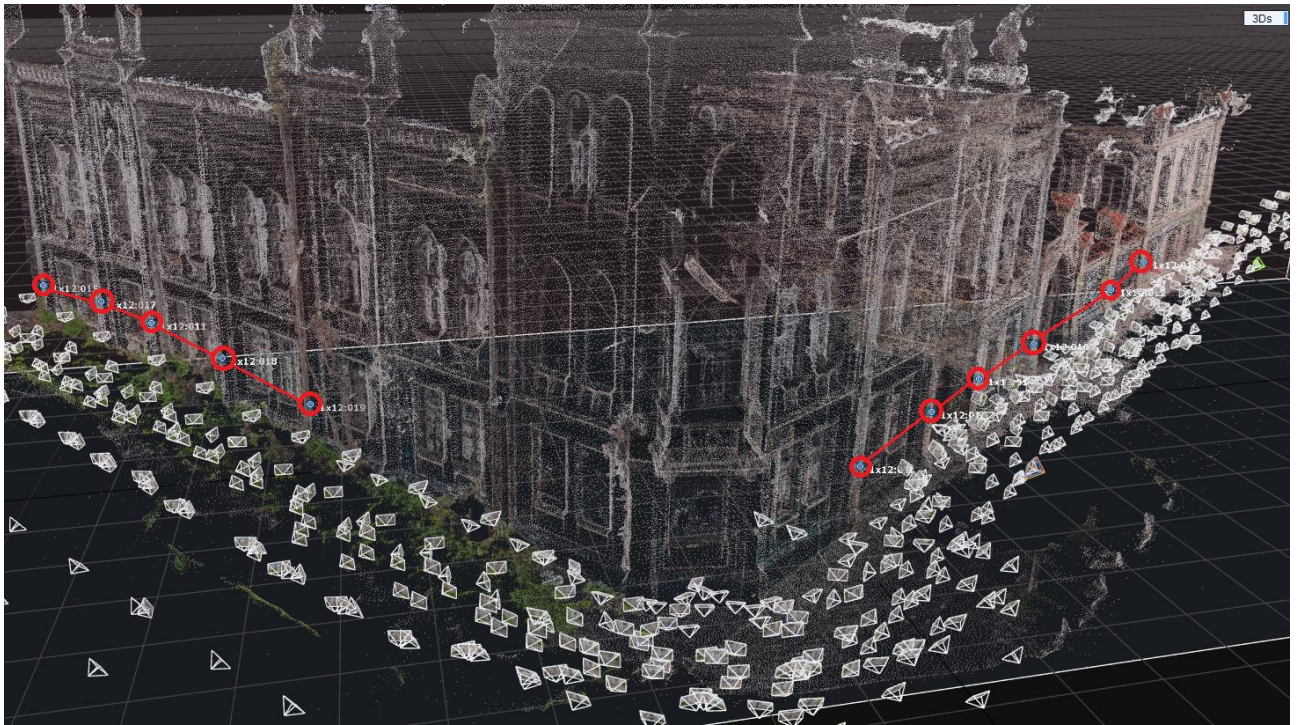


Рис. 3.48. Загальний вигляд вимірювання відстаней між контрольними точками у програмі [Reality Capture 1.4]

Reality Capture 1.4 некоректно відображає одночасне поєднання відображення точок і відстаней між ними. Тому наведено приклад з окремими скріншотами, як має виглядати ця процедура:



Рис. 3.49. Результат вимірів першої відстані в програмі Reality Capture 1.4 (4,58 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.50. Результат вимірів другої відстані в програмі Reality Capture 1.4  
(3,44 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.51. Результат вимірів третьої відстані в програмі Reality Capture 1.4  
(4,42 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.52. Результат вимірів четвертої відстані в програмі Reality Capture 1.4 (4,85 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.53. Результат вимірів п'ятої відстані в програмі Reality Capture 1.4 (4,79 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.54. Результат вимірів шостої відстані в програмі Reality Capture 1.4  
(3,49 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.55. Результат вимірів сьомої відстані в програмі Reality Capture 1.4  
(4,74 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.56. Результат вимірів восьмої відстані в програмі Reality Capture 1.4 (3,97 м) [Reality Capture 1.4]

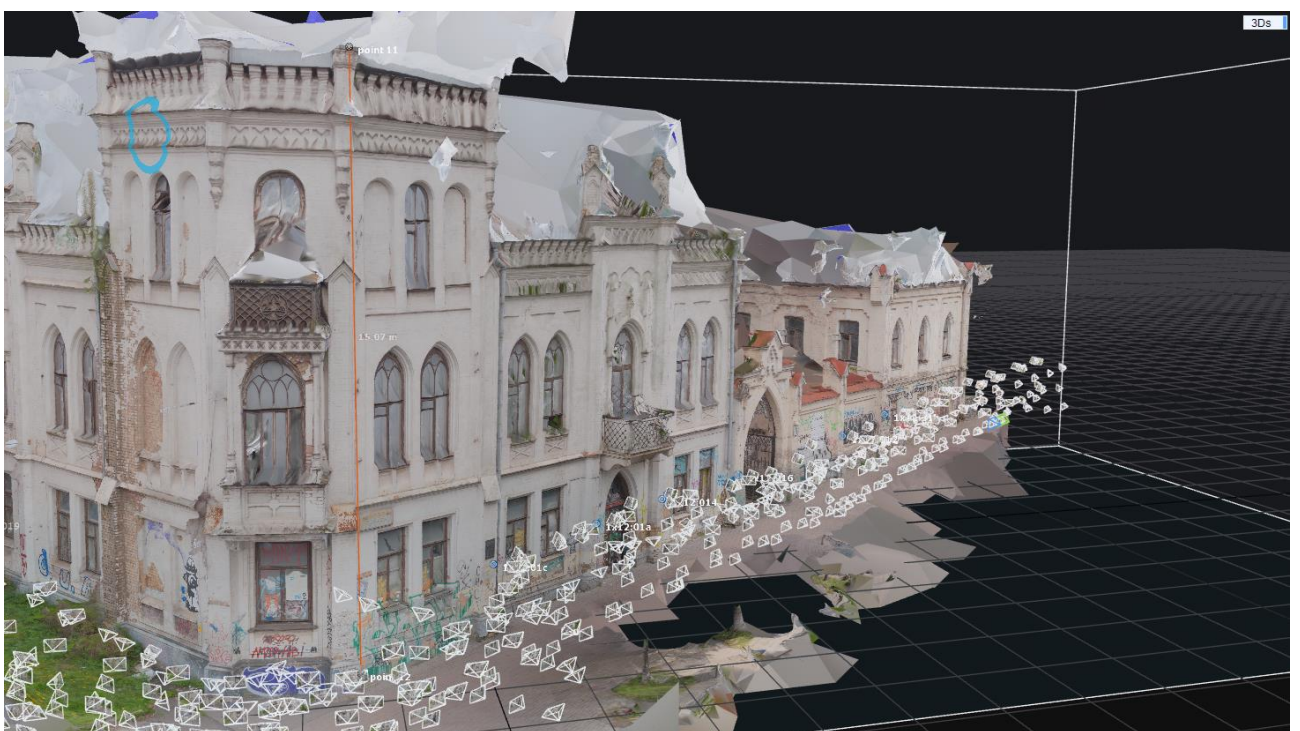


Рис. 3.57. Відображення контрольних точок висоти споруди у програмі Reality Capture 1.4 (15,07 м) [Reality Capture 1.4]



Рис. 3.58. Відображення відстаней між точками у у програмі Reality Capture 1.4  
[Reality Capture 1.4]

Відносна похибка ( $\delta$ ) результату вимірювання дорівнює відношенню абсолютної похибки до виміряного значення фізичної величини.

Результати порівняння довжин, виміряних в натурі та на моделі представлені нижче (табл. 3.1):

## Результати порівняння довжин, виміряних в натурі та на моделі

№	Номери відстаней	Довжини, виміряні в натурі	Довжини, виміряні на моделі	dX	dY	СКП
1	3-6	4.692	4.582	-0.110	-0.110	0.0002722
2	6-1	3.529	3.444	-0.085	-0.085	0.0003556
3	1-10	4.484	4.421	-0.063	-0.063	0.0024969
4	10-5	4.933	4.850	-0.083	-0.083	0.0004702
5	12-9	4.847	4.796	-0.051	-0.051	0.0044809
6	9-8	3.560	3.498	-0.062	-0.062	0.0026402
7	8-4	4.895	4.745	-0.150	-0.150	0.0053389
8	2-11	4.017	3.979	-0.038	-0.038	0.0072802
9	1-9	15.322	15.079	-0.243	-0.243	0.0418569
Середнє арифметичне значення відхилення довжин, м				<b>-0.098</b>	<b>-0.098</b>	
СКП одиниці ваги, м				0.085		

За результати дослідження встановлено, що середня квадратична похибка одиниці ваги складає 0,085 метра. Довжини, виміряні в натурі, були визначені з точністю до 0.001 м за допомогою рулетки першого класу точності. Отже, можна зробити висновок, що відстані, виміряні програмою, в цьому конкретному випадку не є придатними для використання. Це можна пояснити тим, що обробка програмним забезпеченням була виконана на середньому рівні продуктивності. Також важливим фактором було те, що для оптимального розрахунку одиниці СКП потрібно мінімум від 13 вихідних значень для отримання кращих результатів. Але за браком марок було отримано 9 вихідних значень.

### 3.5 Практичні рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів

Сьогодні розвиток сучасних технологій дає нам нові можливості для фіксації та вивчення різнотипних об'єктів історико-культурної спадщини(ОІКС): від архітектурних споруд та нерухомих комплексів загалом до окремих деталей та конструкцій.

Фотограмметрія як актуальний метод вивчення ОІКС активно використовується для безконтактного дослідження пам'яток архітектури та архітектурних ансамблів і різномірних площинних об'єктів, адже дані технології дозволяють значно скоротити час вимірювання об'єкта, скоротити вплив «людського фактору» на процес дослідження, отримати точні дані про геометрію, деформації, обсяг втрати, на підставі даних створити 3D-моделі та обмірні креслення, надати доступ до об'єкту в будь-який зручний для дослідника час. Отримані дані можуть використовуватися для зберігання, реставрації та вивчення об'єктів культурної спадщини і демонстрації їх широкому загалу. Незважаючи на те, що 3D-моделі дозволяють нам дуже детально розглянути об'єкт, питання точності та ефективності фотограмметрії для різних типів об'єктів поки не отримав належної уваги, досвід застосування даної методики при дослідженні архітектурних об'єктів достатньо невивчений.

В разі використання новітніх 3D технологій – частково вирішується низка актуальних задач, які пов'язані з вивченням, оберіганням та популяризацією світової культурної спадщини.

Застосування тривимірного моделювання, по-перше, дає змогу зафіксувати поточний стан об'єкту який досліджується, а по-друге, дає можливість відтворити чи реконструювати його втрачений вигляд. Важливим аспектом 3D моделювання вважається науковий характер і достовірність, тобто моделювання повинно спиратися на архівні документи чи історичний аналіз. Ідеально коли поєднуються історична достовірність та висока якість візуалізації.

Арсенал фотограмметричних методів дослідження об'єктів історико-культурної спадщини є досить широкий, в даній роботі подані лише найчастіше застосовувані в наших реаліях. Великою перевагою даних методів є те, що вони в переважній більшості є дистанційними та дають змогу віртуально візуалізувати архітектурні та площинні об'єкти, що не збереглися до наших часів (ансамблі оборонних споруд, кладовища, братські могили, пам'ятники та ін.)

Тривимірна модель будівлі або споруди зі збереженням усіх фактичних розмірів і текстур. Модель у подальшому може бути застосована як для

детального дослідження дефектів існуючих конструкцій і елементів будівлі, так і як підоснова для розроблення креслень для проекту реконструкції або реставрації залежно від мети дослідження.

З використанням моделі точно встановлено місця, що потребують відновлення, визначено дефекти, які потребують усунення. Оцінено стан конструкцій навіть у важкодоступних місцях. Таким чином наочно показано, що наведена методика обстеження істотно знижує трудомісткість і підвищує ефективність робіт з обстеження конструкцій. Розвиток цифрових технологій та їх використання у різних сферах розвитку суспільства змінив підходи до багатьох галузей науки та освіти, зокрема, і до сфер будівництва, архітектури, які почали набувати нові функції та властивості, що дозволило перейти на якісно новий рівень опису, зберігання та обробки матеріалів дослідження. Впровадження сучасних геодезичних методів вимірювання просторового положення разом із цифровою фотозйомкою значно покращило практику прикладних досліджень. Методи 3D фотограмметрії дозволяють здійснювати збір даних прикладних досліджень більш оперативно та повно. Тривимірна фіксація об'єктів має низку переваг перед традиційними методами документування, оскільки дає можливість створювати моделі, що повністю зберігають просторові характеристики досліджуваних об'єктів. Тривимірна модель дозволяє досліднику детально вивчати об'єкт з усіх кутів і ракурсів, навіть якщо він ніколи не бачив його на власні очі. Крім того, сучасне прикладне програмне забезпечення, що оперує тривимірними цифровими моделями об'єктів, дозволяє проводити просторовий та статистичний аналіз об'єкту дослідження. Розвиток фотограмметрії в значній мірі визначається прогресом обладнання, обчислювальної техніки і суміжних геоінформаційних технологій. Особливості і проблеми, які виникають при використанні цифрової техніки з метою фотограмметричної зйомки, є актуальним питанням на сучасному етапі розвитку наземної фотограмметрії, яка безперечно стає цифровою.

Створені 3D моделі вже займають значну ланку в повсякденному житті людей. Використання їх значно покращує процеси навчання, дослідження,

процеси обміну інформацією. Використання їх в сфері охорони культурної спадщини теж набирає обертів і тому тривимірні моделі – актуальне сьогодення. В роботі розроблений та проаналізований ланцюг трансформації переходу вербальної моделі у цілком реалістичну тривимірну модель: експеримент – опис (фіксація результату) – пояснення – застосування. Вихідною базою слугували археологічні джерела, які вже пройшли етапи археологічної інтерпретації. Технологія тривимірного моделювання розширює функціонал історичних досліджень, додаючи можливості аналізу, синтезу і репрезентації історичної спадщини. Запропонована комп'ютеризована методика наукової верифікації створення моделей і тим самим – адаптації програмного забезпечення з розрахунком специфіки досліджених об'єктів. Фотограмметрія — це спосіб отримання тривимірної моделі місцевості або об'єкта за допомогою серії двовимірних знімків та їх подальшої обробки у спеціальних програмах. Для цього обрану місцевість фотографують з різних точок — в тому числі й згори за допомогою дрона. Отримані знімки завантажують у програму. Вона автоматично реєструє загальні точки між кожним фото та розраховує відстані між ними у системі координат XYZ. Результатом обробки стає хмара точок, яку переводять у формат тривимірної сітки. Якщо потрібно внести зміни в отриману модель — для цього теж є сучасні програмні рішення.

#### Сфери застосування фотограмметрії

За допомогою фотограмметрії вирішують наступні задачі:

- розробляють точні геоінформаційні системи, ортоплани і ортопроекції;
- складають проектну документацію для будівництва;
- проводять археологічний аналіз місцевості;
- слідкують за природними змінами на місцевості;
- створюють цифрові моделі місцевості (наприклад, для подальшого друку макетів).

Фотограмметрію активно використовують у роботі архітектори, геодезисти, картографи, вчені, спеціалісти з виготовлення макетів.



Рис. 3.59. Приклад оформлення креслення споруди за отриманими результатами з програми Reality Capture 1.4

## ВИСНОВКИ

Працюючи над даною дипломною роботою можна зазначити, що її суть полягає у важливому зберіганні та відновлюванні історико-культурних цінностей. Саме для цього вкрай необхідно постійно мати детальні вимірювальні дані.

Наземна фотограмметрія являється одним з найбільш ефективних та доступних методів цифрової фіксації стану архітектурних та археологічних пам'яток. Застосування її технології дозволить охопити більшу кількість об'єктів та забезпечити високу деталізацію їх тривимірного моделювання, що сприятиме подальшим дослідженням та якісним реставраційним роботам.

Для цього у змісті роботи були розкриті основні характеристики предметної сфери моделювання об'єктів культурної спадщини.

А саме був зроблений:

- аналіз нормативно-правового забезпечення щодо цифровізації об'єктів культурної спадщини;
- аналіз методів наземної фотограмметрії для моделювання тривимірних об'єктів;
- аналіз останніх досліджень щодо моделювання об'єктів культурної спадщини.

Були проведені обґрунтування методу наземної фотограмметрії та технічного забезпечення для виконання робіт. Визначені основні етапи дослідження. А також обґрунтування вибору методу наземної фотограмметрії.

Розкриті значення технічного забезпечення для виконання робіт. Були проведені практичні роботи по зніманню.

Збереження та відновлення об'єктів культурної спадщини є важливим завданням для будь-якої держави, оскільки вони становлять неоціненну історичну та культурну цінність.

Фотограмметрія як метод вимірювання об'єктів за допомогою фотографій відіграє все більш значну роль у цій галузі. Збереження та відновлення об'єктів

культурної спадщини є важливим завданням для будь-якої держави, оскільки вони становлять неоціненну історичну та культурну цінність.

Підсумовуючи короткий виклад проблеми розвитку та впровадження фотограмметрії в архітектурі, збереженні культурної спадщини можна зазначити, що необхідним для цього процесу є збір даних дистанційними методами та фотограмметрична обробка отриманих знімків. Незважаючи на те, що сучасні методи фотограмметрії на сьогоднішній день дозволяють вирішувати більшість завдань, в тому числі із застосуванням широко розповсюджених бюджетних камер, її впровадження в реальне виробництво залишається мізерним. Результати фотограмметричної тривимірної реконструкції об'єктів можуть слугувати основою для подальшої обробки в САПР та ВІМ, значно заощадивши час на попередні дослідження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України "Про охорону культурної спадщини" № 5461 від 16.02.2012 р. . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text> (дата звернення 16.05.2024 р.)
2. 3D-документування культурної спадщини ЮНЕСКО (2016). (дата звернення 16.05.2024 р.).
3. Abdel-Wahab, M., & Wenzel, K. (2020). Технічні аспекти наземної фотограмметрії для документування культурної спадщини. Журнал архітектурних/археологічних досліджень, 4(1), 1-21.
4. Alidoost, F., & Arefi, H. (2017). 3D image-based reconstruction for cultural heritage preservation. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(2), 1-7.
5. Brown, M. D. (2014). Manual of stereo photogrammetry. Springer Science & Business Media.
6. Dorozhynsky, O. L., & Tukay, R. (2003). Photogrammetry. Publishing House of the National University "Lviv Polytech- nic", 7-24.
7. Funphoto. Доступно про фотографію. <https://funphoto.ua/nikon-d700.php>
8. Kersten, T. P., & Lindstaedt, M. (2012). Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. Progress in Cultural Heritage Preservation, 331-337.
9. Kersten, T.P., & Lindstaedt, M. (2012). Системи автоматичного 3D документування на основі зображень. Прогрес у збереженні культурної спадщини, 331-337.
10. Kwiatek, K., & Tokarczyk, R. (2015). Photogrammetric applications of immersive video cameras. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2(3), W4.
11. Luhmann, T., Robson, S., & Vorbrüggen, W. (2013). Close-range photogrammetry: methods and applications. De Gruyter.

12. Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2020). Close range photogrammetry: Principles, methods and applications. Whittles Publishing.
13. Misail, D., Furini, S., Nex, F., & Remondino, F. (2022). Machine learning in photogrammetry and computer vision: A review. *Remote Sensing*, 14(9), 2109.
14. Panditta, L., Casamiquela, S., De La Torre, A., Keulen, M., & Charola, A. E. (2022). High resolution photogrammetry for the documentation of archaeological heritage: Case studies from Peru and Italy. *Studies in Digital Heritage*, 6(2), 13-29.
15. Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104-1138.
16. Remondino, F., & Fraser, C. (2016). *Digital photogrammetry: theory and methods*. CRC Press.
17. Remondino, F., & Fraser, C. (2020). Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5), 266-272.
18. Remondino, F., & Rizzi, A. (2010). Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites - techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 2(3), 85-100.
19. Remondino, F., & Rizzi, A. (2010). Техніки, проблеми та приклади тривимірного документування на основі реальності. *Прикладна геоматика*, 2(3), 85-100.
20. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling—current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1), C22.
21. Schöps, T., Schmäzle, F. R., Hanel, J., & Weinmann, M. (2022). Multi-View Photogrammetry: A Review. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 88(5), 325-348.
22. Stilla, U., & Rottensteiner, F. (2013). Web-based 3D reconstruction of cultural heritage sites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, 3-15.

23. The Vienna Memorandum on "World Heritage and Contemporary Architecture - Managing the Historic Urban Landscape" (2005). URL: <https://whc.unesco.org/en/documents/6814>

24. Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.

25. Žarni, K., & Zazulak, N. (2016). Terrestrial laser scanning and photogrammetry for archaeological documentation: a case study of the Roman fort of Ptuj (Slovenia). *Journal of Archaeological Science*, 74, 101-113. [1] - визначає основні засади державної політики у сфері охорони культурної спадщини та регулює відносини у цій галузі.

26. Відеообзор Nikon D700 <https://www.youtube.com/watch?v=JDXWNW6rBAg>

27. Гончаров, Н.Н. (2015). Наземна фотограмметрія в археології. Методичні рекомендації. Санкт-Петербург: Елексіс Принт.

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

29. Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впорядкування окремих питань у сфері охорони культурної спадщини" [3] - вносить важливі зміни та доповнення до чинного законодавства з метою його вдосконалення.

30. Закон України "Про музеї та музейну справу" № 249/95-ВР від 01.01.2024 р. . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text> (дата звернення 16.05.2024 р.). [2] - встановлює правові засади діяльності музеїв, зокрема щодо збереження та використання пам'яток культурної спадщини.

31. Конвенція про охорону всесвітньої культурної і природної спадщини від 16.11.1972 р. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_089](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_089) (дата звернення 16.05.2024 р.).

32. Конвенція про охорону всесвітньої культурної та природної спадщини (ЮНЕСКО, 1972 р.) [4] - створює механізми охорони та збереження надбань людства. (дата звернення 16.05.2024 р.).

33. Кондращенко, О.В. и Мироненко, М.Л. и Шаульський, Д.В. и Дудін, О.А. (2018) ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДИК ФОТОГРАММЕТРИЧНОГО ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЕЛЬНО-МАЙНОВИХ ВІДНОСИН. Комунальне господарство міст (144). С. 94-99. ISSN 0869-1231

34. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Особняк Івана Миколайовича Терещенка. <http://surl.li/tpbvi>

35. Принципи запису культурної спадщини 3D (Віденський Меморандум, 2019 р.) [5] - визначає основні принципи та рекомендації щодо тривимірного сканування пам'яток культури.

36. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впорядкування окремих питань у сфері охорони культурної спадщини: Закон України від 16.01.2020 р. № 440-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/440-20> (дата звернення 16.05.2024 р.).

37. Про затвердження Інструкції з організації обліку музейних предметів: Наказ Мінкультури №51 від 29.01.2016. (дата звернення 16.05.2024 р.).

38. Про музеї та музейну справу: Закон України від 29.06.1995 р. № 249/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/249/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 16.05.2024 р.).

39. Про охорону культурної спадщини: Закон України №1805-III від 08.06.2000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>. (дата звернення 16.05.2024 р.)

40. Про охорону культурної спадщини: Закон України від 08.06.2000 р. № 1805-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14>. (дата звернення 16.05.2024 р.).

41. Capsada, X., & Guidi, G. (2021). Terrestrial photogrammetry: the basis for 3D documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 48, 240-251.
42. Сервіс Google Earth: <http://surl.li/tpktz>
43. Технічні характеристики обраного об'єктива: [https://fotosale.ua/ua/product\\_N61777.htm](https://fotosale.ua/ua/product_N61777.htm)
44. ТОВ «Аналітика» спільно з ДНВП «Геосистема» займається розробкою та виробництвом обладнання та програмного забезпечення для цифрової фотограмметрії та картографії. (<http://vingeo.com/geosyst.html>)
45. Хартія ЮНЕСКО про збереження цифрового спадку (2003). (дата звернення 16.05.2024 р.).

## ДОДАТКИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

# ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАММЕТРІЇ НА ПРИКЛАДІ ОБ'ЄКТУ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

**Виконав:** студент 4 курсу, групи ГІСТ-20  
Напрямок підготовки 193 «Геодезія та землеустрій»  
Спеціалізація «Геоінформаційні системи і технології»  
**Волков Ю. О.**

**Керівник:** асистент, **Кінь. Д.О**

Київ 2024

# Мета, об'єкт, предмет дослідження

## Мета магістерської роботи:

Метою роботи є створення тривимірної моделі об'єкта культурної спадщини методом наземної фотограмметрії для подальшого її використання під час розроблення облікової документації про пам'ятку архітектури місцевого значення.

## Об'єкт дослідження

Об'єкт культурної спадщини.

## Предмет дослідження

Дослідження: тривимірне моделювання об'єкта методом наземної фотограмметрії



Особняк Івана Миколайовича Терещенка



Особняк Івана Миколайовича Терещенка

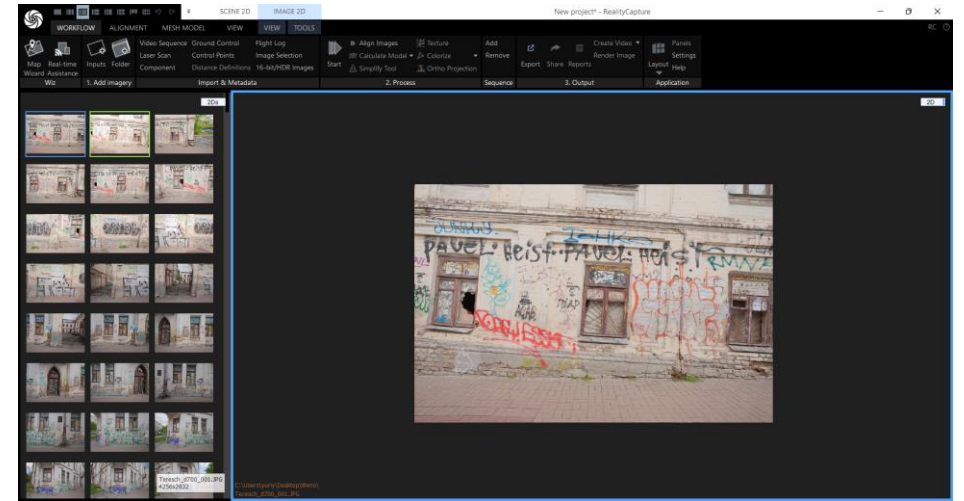
# ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

## Аналіз нормативно-правового забезпечення щодо цифровізації об'єктів культурної спадщини

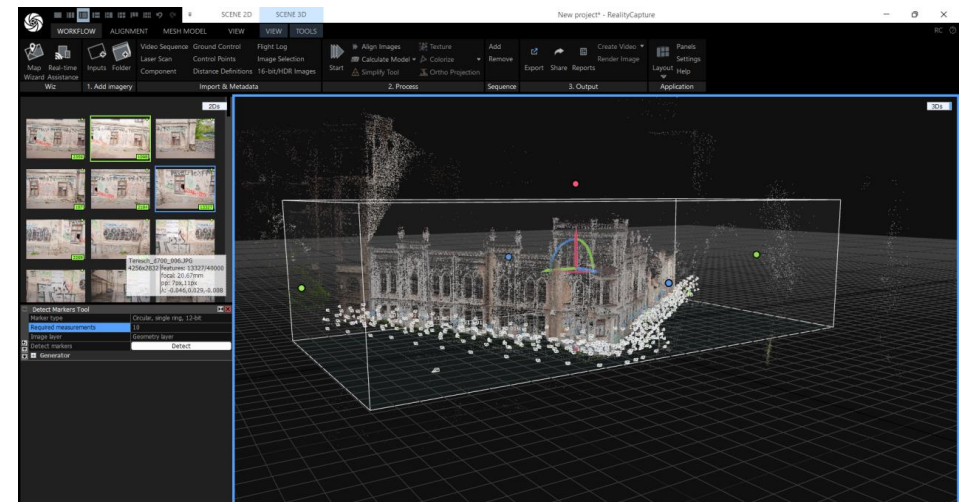
**Пам'ятка культурної спадщини** — це об'єкт культурної спадщини, який має історичну, культурну, художню, наукову або археологічну цінність і внесений до Державного реєстру нерухомих пам'яток України або взятий на державний облік відповідно до законодавства.

Розвиток цифрових технологій та їх все ширше впровадження в галузь збереження культурного надбання спричинив потребу в оновленні та розширенні нормативно-правової бази. Зокрема, актуальними залишаються питання правового регулювання процесів тривимірного сканування, моделювання, архівування цифрових моделей тощо.

Цифровізація об'єктів культурної спадщини (КС) стає невід'ємною частиною сучасного підходу до їх збереження, дослідження та популяризації. Вона передбачає створення цифрових моделей, що описують геометричні, візуальні та інші характеристики об'єктів КС. Цей процес ґрунтується на розгалуженій нормативно-правовій базі, яка визначає його рамки, принципи та відповідальність.



Вікно програми з завантаженими даними



Результат виконання вирівнювання фотографій

# Нормативно-правові акти

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АКТИ

### ЗАКОНИ

Закон України "Про культуру" (від 04.09.2000 р. № 1798-IV) визначає завдання щодо збереження та популяризації КС, а також заохочує використання сучасних технологій.

Закон України "Про охорону культурної спадщини" №1805-III від 02.10.2023 [1], одним із принципів державної політики у цій сфері є "сприяння збереженню культурної спадщини шляхом її наукового дослідження, реставрації, ремонту,

### ПОСТАНОВИ

Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Положення про Державний реєстр нерухомих пам'яток України" [№ 1760 від 27.12.2001](#)

### МІЖНАРОДНІ ТА ДЕРЖАВНІ СТАНДАРТИ

- ДСТУ 8259:2016 "Інформація. Документація. Цифрові копії документів. Загальні положення" визначає вимоги до створення цифрових копій документів, що входять до складу КС.

ДСТУ ISO/IEC 27001:2013 "Інформаційні технології. Системи менеджменту інформаційної безпеки. Вимоги до систем менеджменту інформаційної безпеки" встановлює вимоги до інформаційної безпеки при digitization КС.

ДСТУ EN 16757:2012 "Збереження культурної спадщини. Цифрове документування культурних цінностей" визначає методологію та технічні вимоги до digitization КС.

### МІЖНАРОДНІ ДОГОВОРИ

Картахенська Конвенція про захист підводного культурного надбання (1997р.) встановлює вимоги та процедури тривимірного моделювання артефактів підводного походження.

# Технічне забезпечення для виконання робіт

## Огляд обладнання для наземної фотограмметрії

Для успішного виконання робіт із наземної фотограмметрії та створення високоякісних тривимірних моделей об'єктів культурної спадщини необхідне відповідне технічне забезпечення. Основне обладнання, яке використовується для цих цілей, включає:



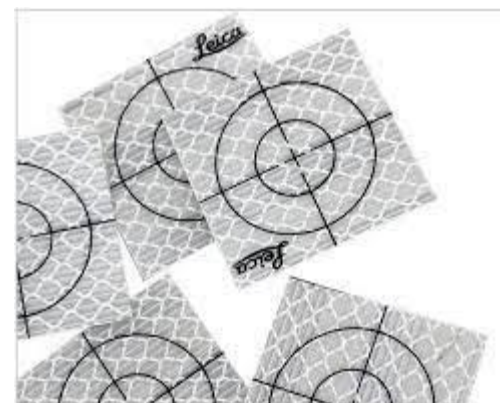
Цифрова камера високої роздільної здатності



Лінійка або вимірювальна рулетка для масштабування моделі.

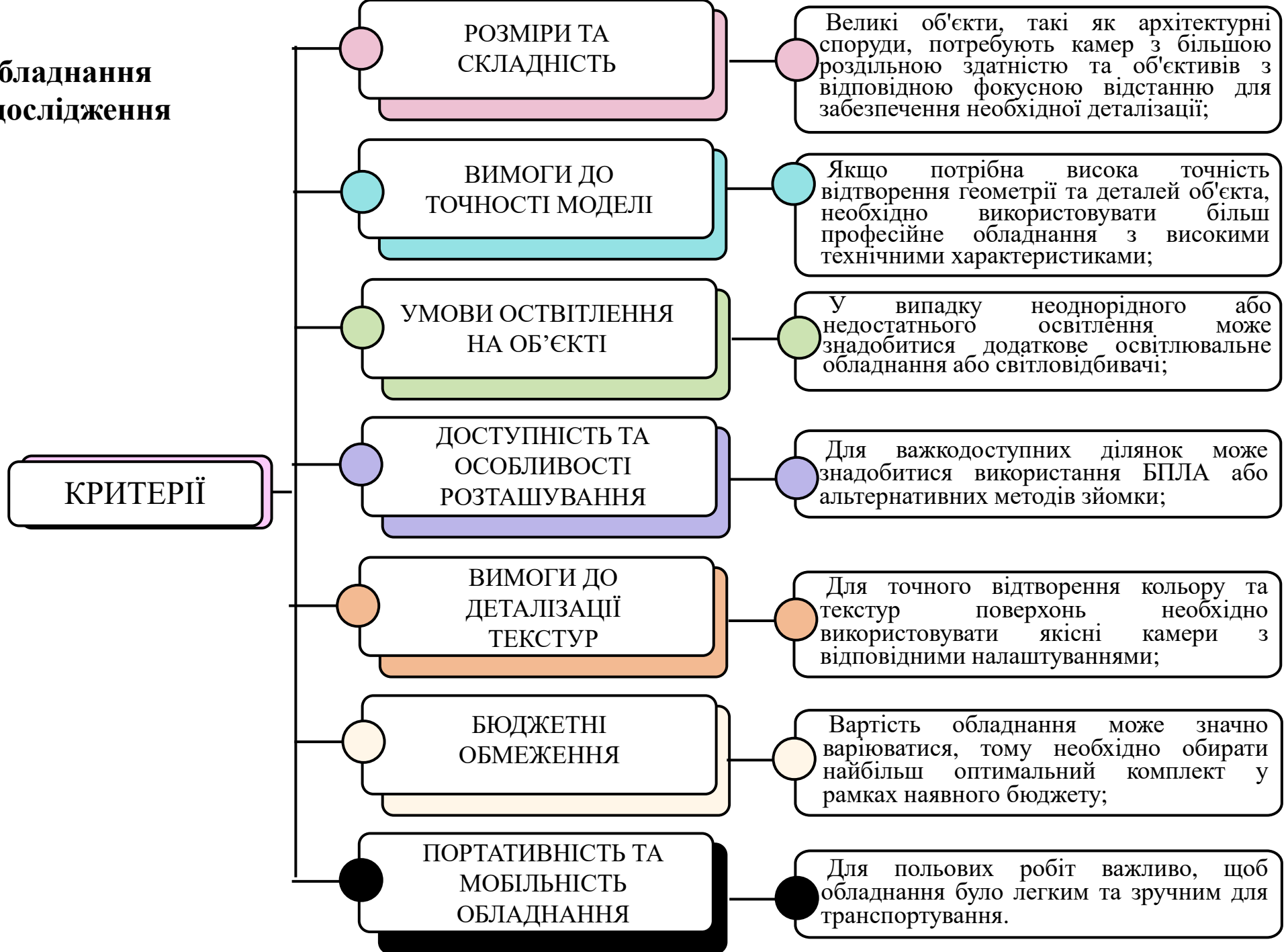


Штатив для камери



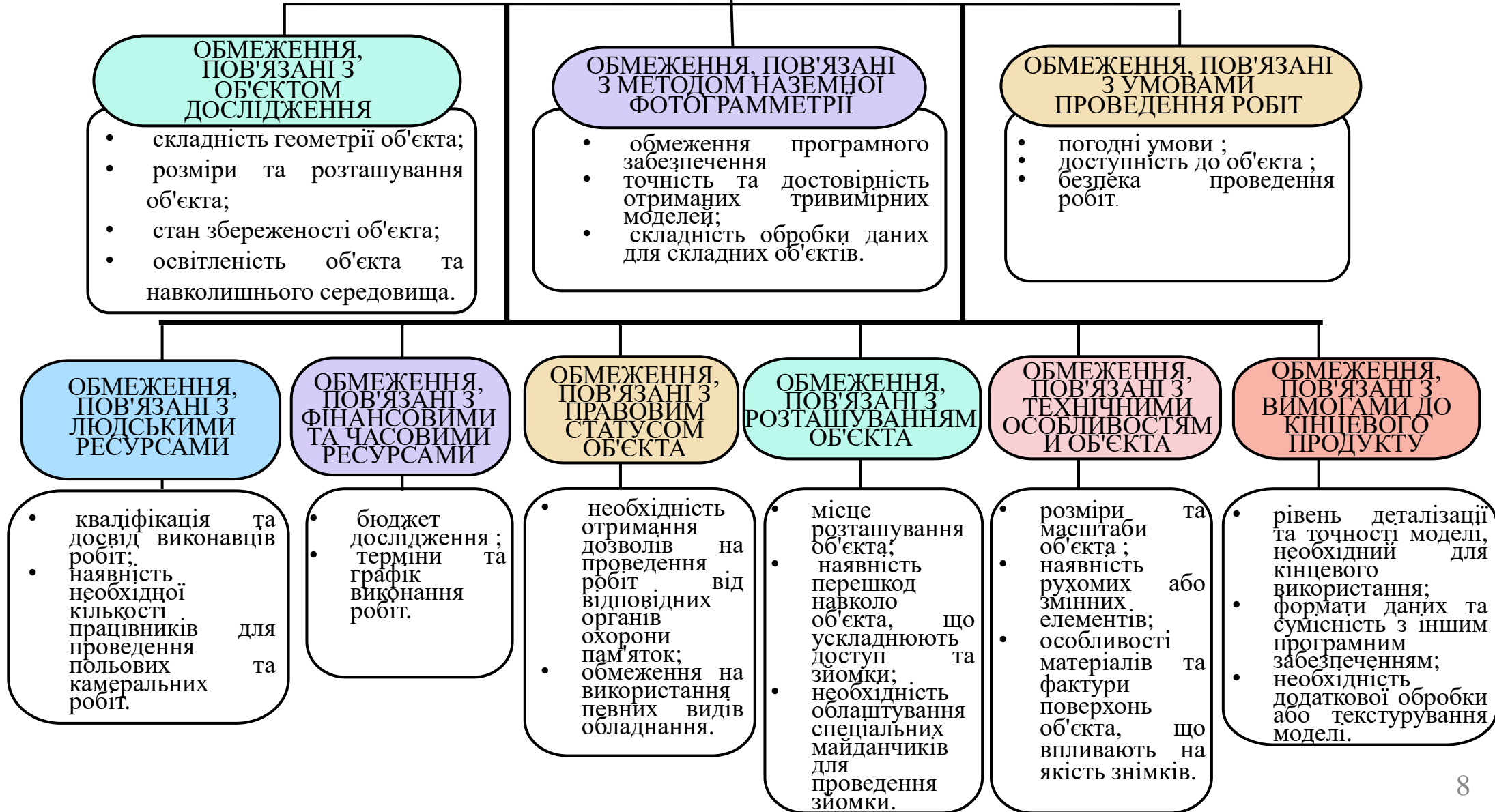
Маркери для позначення опорних точок на об'єкті, які допомагають програмному забезпеченню розпізнавати та вирівнювати фотографії.

# Критерії вибору обладнання для конкретного дослідження



# Визначення обмежень дослідження

## ВИЗНАЧЕННЯ ОБМЕЖЕНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ



# ВИКОНАННЯ ЗЙОМКИ ОБ'ЄКТУ МЕТОДОМ НАЗЕМНОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ

## Підготовчі роботи та виконання зйомки

Мета зйомки: створення цифрової тривимірної моделі об'єкта для подальшого використання її у роботах з відновлення споруди або реконструкції фасаду.

Метод зйомки: було виконано фотографування об'єкта культурної спадщини з дотриманням основних правил фотографування, тобто метод наземної фотограметрії.



Обладнання: цифровий дзеркальний  
фотоапарат Nikon D700.



Будинок на бульварі Тараса Шевченка, 34, належить Івану  
Миколайовичу Терещенку.

# Виконання зйомки

1. Перед початком фотограметричної зйомки необхідно підготувати фотоапарат та пристрої до нього:

- вибір правильного об'єктива для зйомки.

В даному випадку було обрано світлосильний надширококутний об'єктив Nikon AF-S NIKKOR 20mm f/1.8G ED формату FX з фіксованою фокусною відстанню 20 мм та максимальною діафрагмою f/1,8. Діафрагма означає, що об'єктив може відкритися дуже широко.



Об'єктив Nikon AF-S NIKKOR 20mm



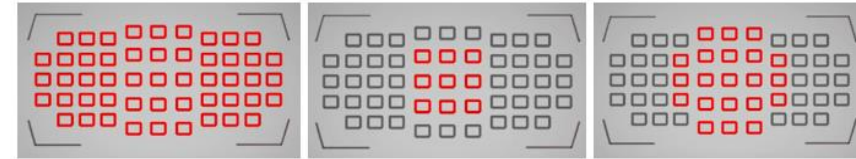
Приклад фото з Nikon D700



Меню налаштувань Nikon D 700

- налаштування параметрів зйомки: Налаштовано фокусування так, щоб камера захоплювала 51 точку фокусування. А потім для деяких знімків, які потребують особливого фокусу, зробити мінімальною до 9 точок.

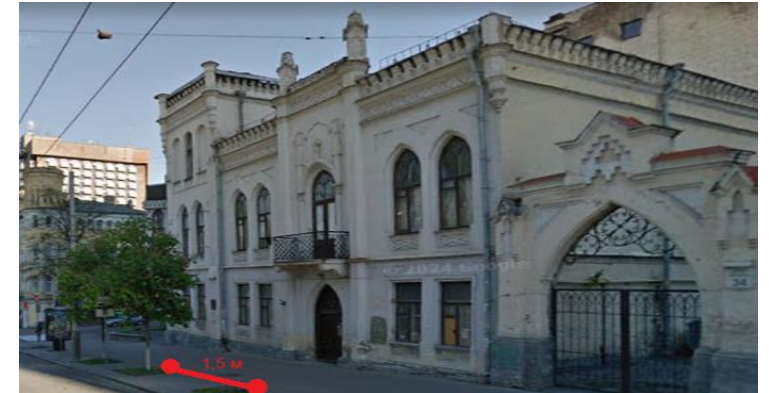
Nikon D700 відрізняється одним із найкращих датчиків фокусування який складається з 51 точки з можливістю зменшення зони покриття до 9 чи до 21 точки.



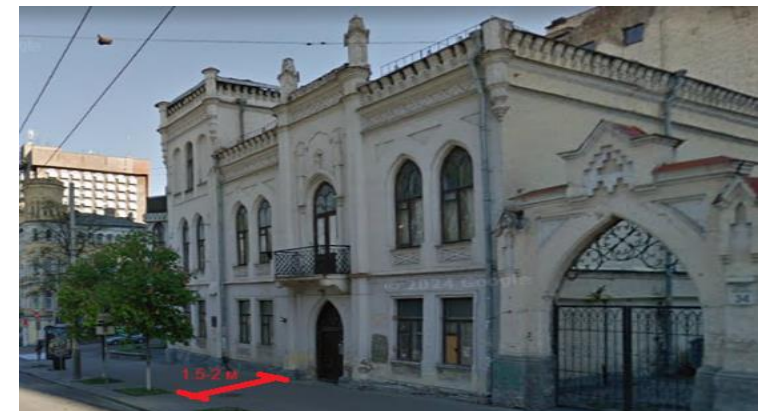
Зображення зміни фокусування

2. Планування зйомки

Визначено місця, з яких фотографувати, щоб зробити детальну і точну тривимірну модель об'єкта. Це може включати вибір оптимальної висоти і кутів зйомки, розташування контрольних точок для підвищення точності моделі, а також планування маршруту переміщення з фотоапаратом.

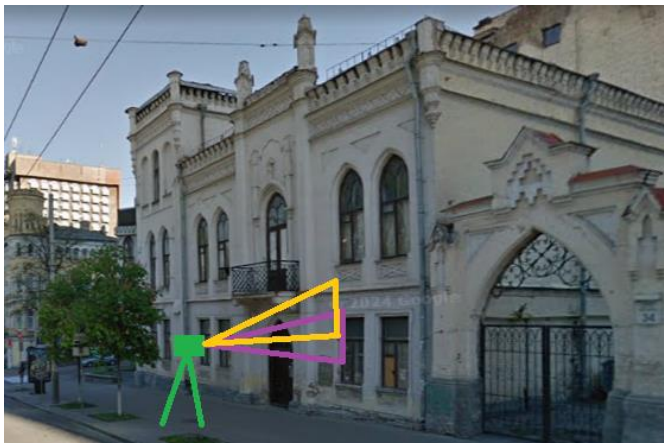


Зображення дистанції



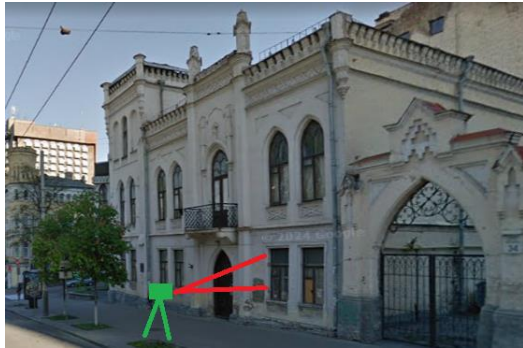
Зображення інтервалу між фотографуванням

### 3. Зйомка

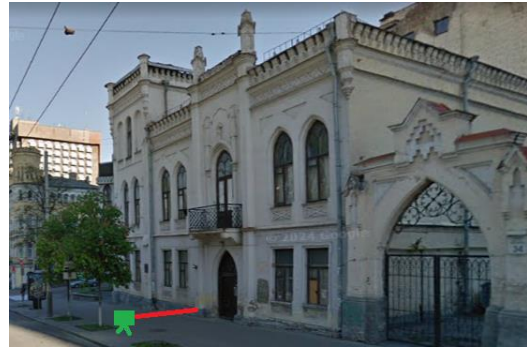


Зображення 60% перекриття між фото

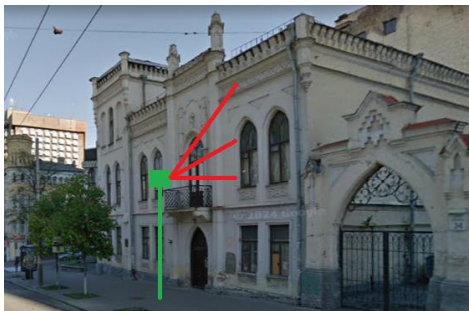
Моделювання того, як проводилася зйомка наводиться на зображеннях:



Зображення оптимальної висоти і кута зйомки, стоячи на землі



Зображення оптимальної висоти і кута зйомки, при охопленні земної поверхні і цокольної частини споруди



Зображення оптимальної висоти і кута зйомки

### 4. Контроль якості знімків



Перевірка знімків



Приклад засвічування камери сонцем



Зображення, яке вийшло при засвічуванні камери сонцем [Nikon D700]

### 5. Обробка зображень



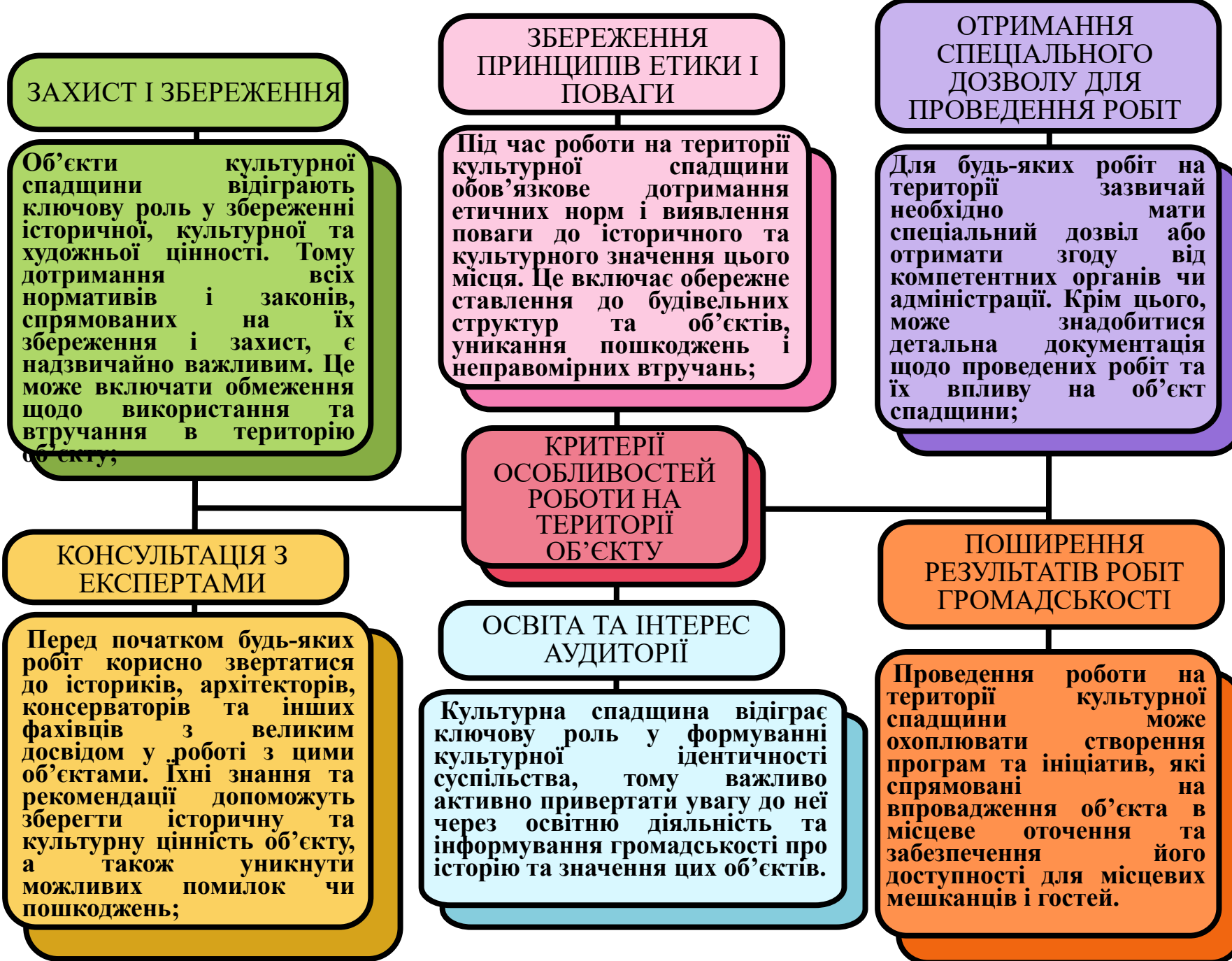
Нотування розмірів у натурі між точками

6. Перевірка та розгляд отриманих результатів

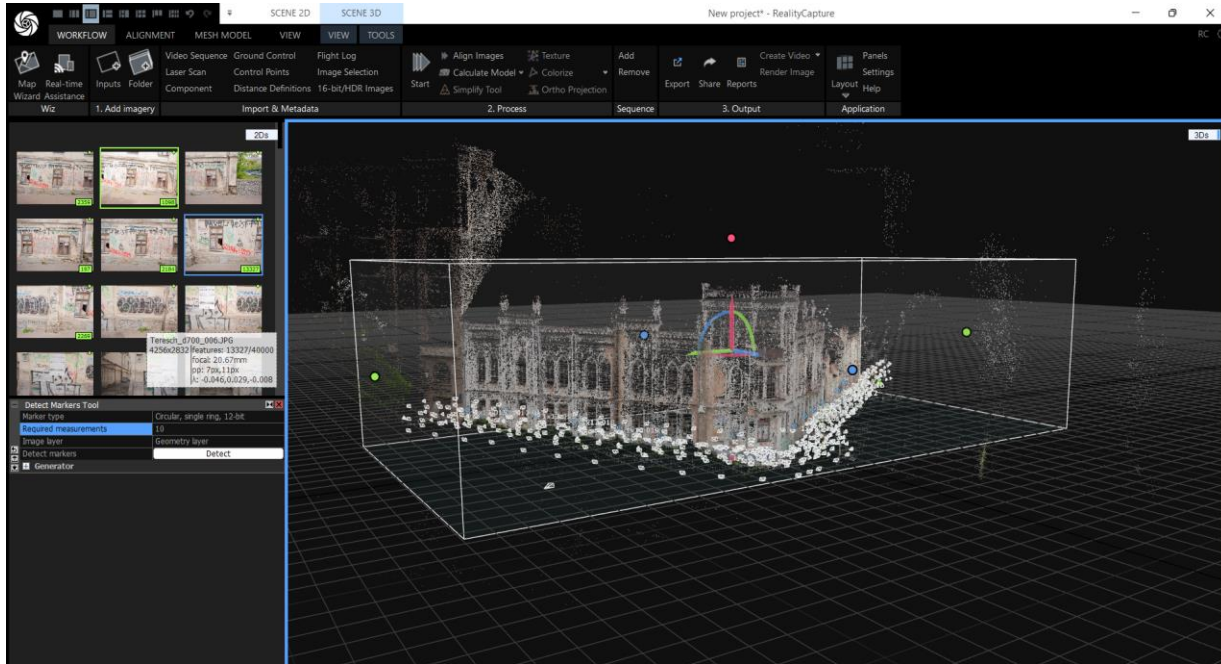
Перевірено тривимірні моделі, щоб побачити, наскільки вони точно відображають оригінальний об'єкт, і вивчено дані, щоб вирішити конкретні завдання або проблеми.

# Особливості роботи на території обраного об'єкту культурної спадщини

Робота на території об'єкту вимагає дотримуватись певних правил, особливостей і ряду підходів через особливий статус та значення культурної спадщини.



# Результати виконання вирівнювання



Перевірка знімків [Reality Capture 1.4]

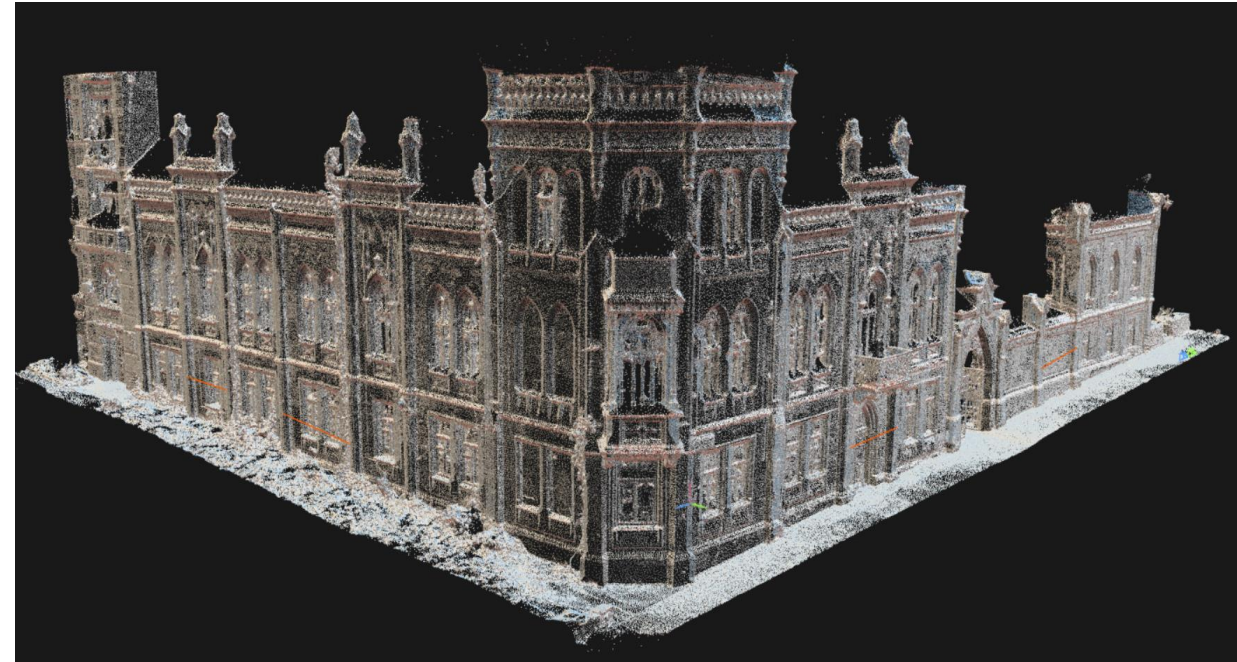
Після того, як модель вирівнялась, можемо бачити, що тепер вона показана у хмарі точок.

Регульовано область, у якій будуть проходити розрахунки моделі. Це можна зробити по контрольним точкам, щоб була більша точність.

Додано розміри між нашими маркерами задля більшої точності побудови моделі у правильному масштабі.

Побудовано полігональну модель

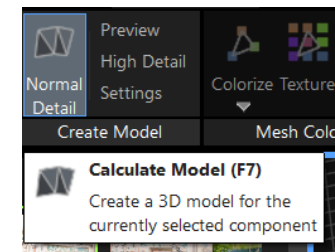
Обрано якість обробки Normal Detail. Ця модель може бути зроблена близько з 10 мільйонів трикутників.



Перевірка знімків [Reality Capture 1.4]

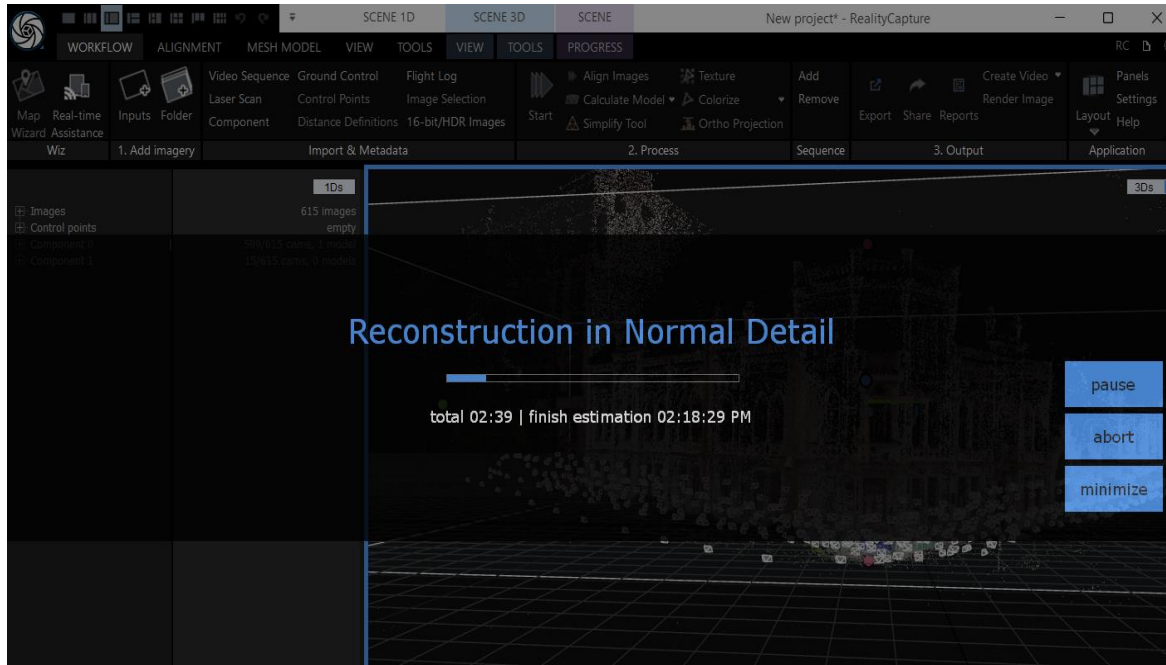


Додавання розмірів [Reality Capture 1.4]

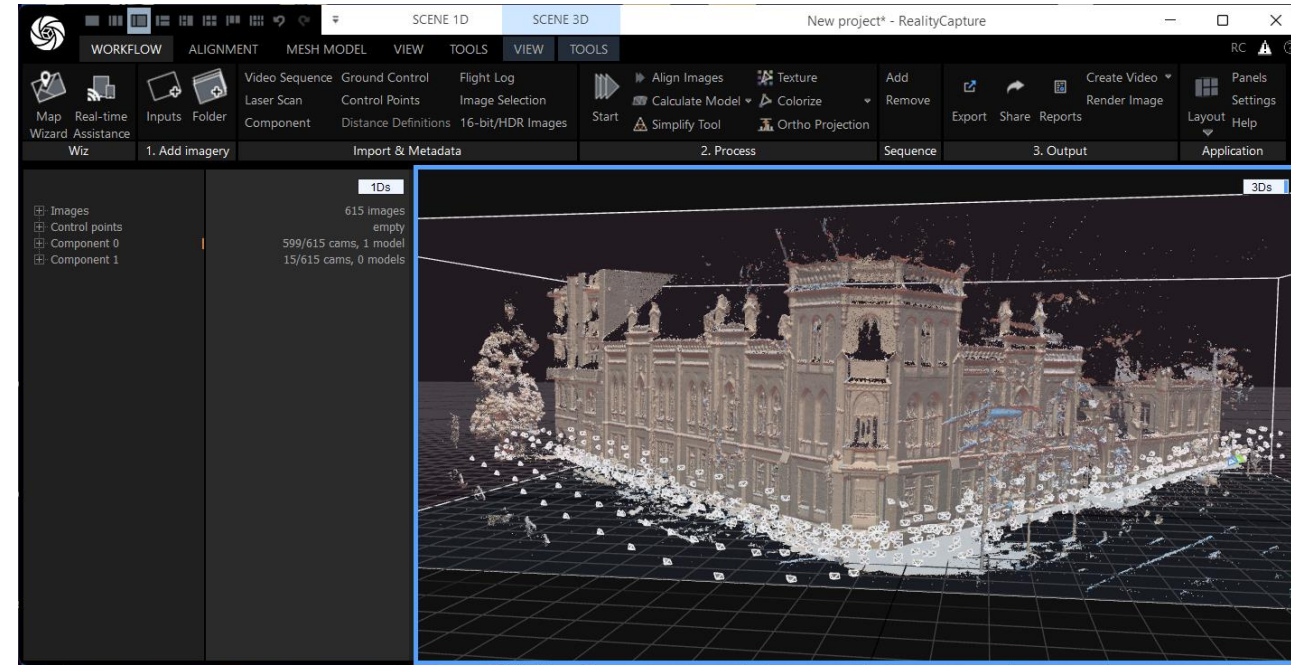


Виконання функції «Побудова моделі» [Reality Capture 1.4]

# Результати виконання реконструкції



Процес обробки реконструкції

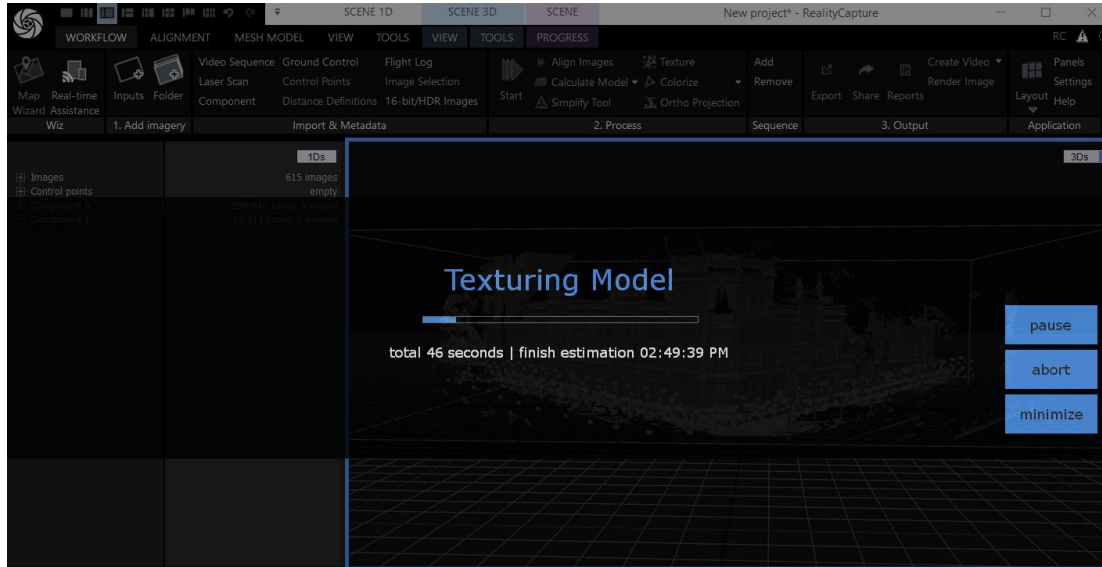


Результат обробки

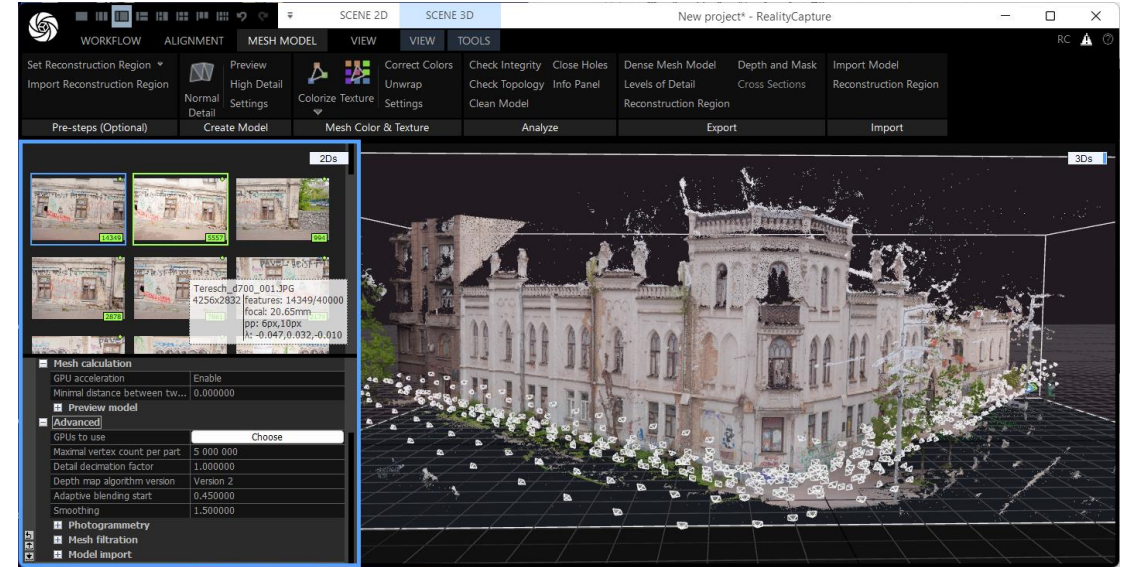
Вийшов ось такий Mesh з 22 мільйонів трикутників. Розглядаючи модель зі сторін, можемо бачити, що вона вийшла досить непоганою.

# Опрацювання та аналіз отриманих даних зйомки

Побудовано текстуровану модель



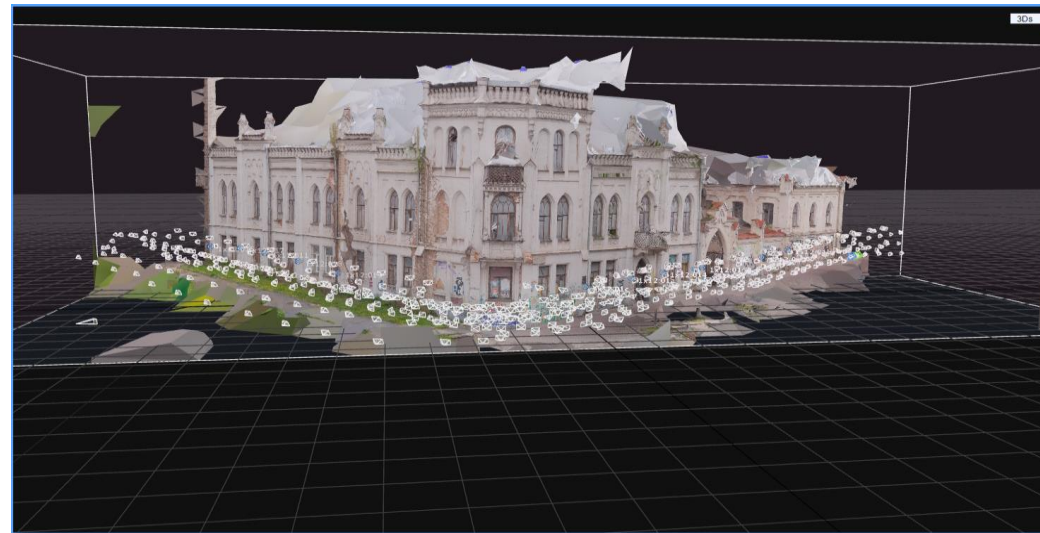
Побудова текстури моделі [Reality Capture 1.4]



Результат побудови текстури [Reality Capture 1.4]

Кольоризація зображення

Ця функція корисна для наборів даних з варіативністю яскравості в екстремально широких межах



Результат обробки в кольоровому вигляді [Reality Capture 1.4]

# Опрацювання та аналіз отриманих даних зйомки

Після ще деяких поглиблених налаштувань і оброблень моделі, можемо побачити ось такий гарний результат



Результат обробки моделі в поглиблених налаштуваннях [Reality Capture 1.4]

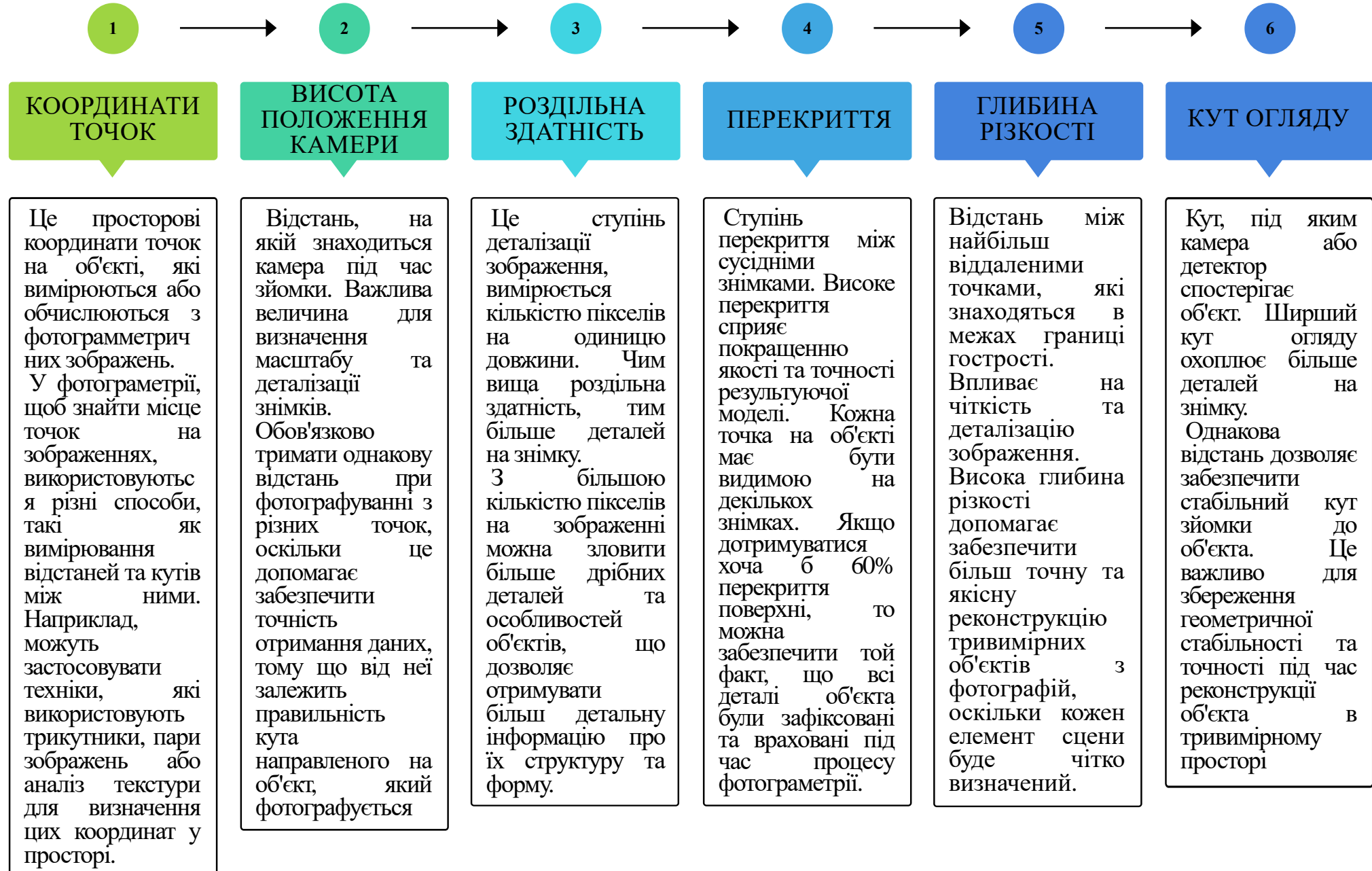


Результат обробки моделі в поглиблених налаштуваннях [Reality Capture 1.4]



Результат обробки моделі в поглиблених налаштуваннях [Reality Capture 1.4]

# Визначення основних параметрів та характеристик об'єкту



# Виконання оцінки точності отриманих даних

Виконано заміри у натурі марок (контрольних точок), які закріплені на будівлі:



Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]



Зображення відстані між контрольними точками в натурі [Paint]

## Зображення висоти споруди



Зображення висоти споруди [Paint]

## Виконано заміри контрольних точок у програмному забезпеченні Reality Capture 1.4

Наведено приклад з окремими скріншотами, як має виглядати ця процедура:

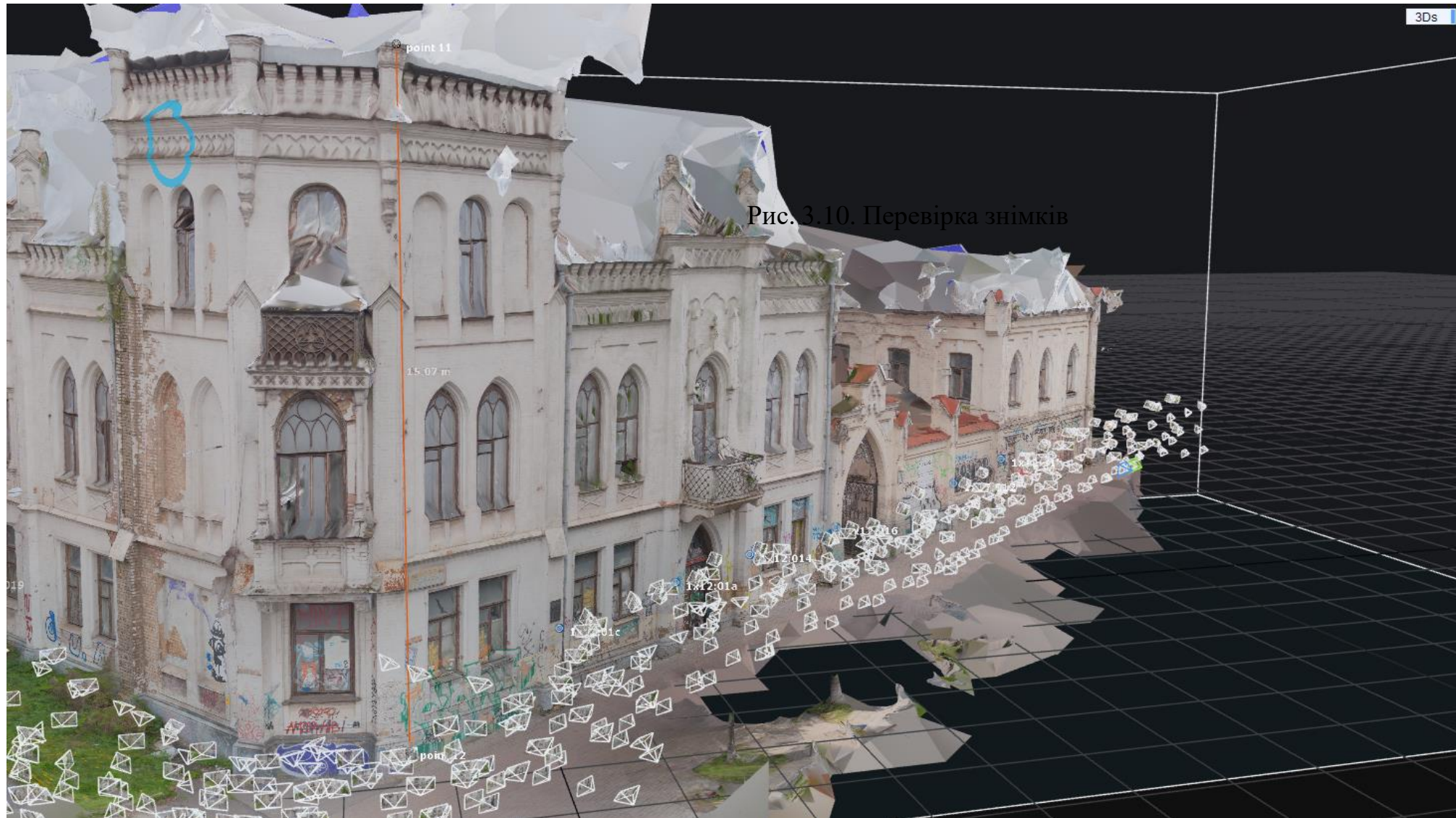


Результат вимірів відстані в програмі Reality Capture 1.4



Результат вимірів відстані в програмі Reality Capture 1.4

## Відображення контрольних точок висоти споруди у програмі Reality Capture 1.4 (15,07 м)



Відображення контрольних точок висоти споруди у програмі Reality Capture 1.4

Відносна похибка ( $\delta$ ) результату вимірювання дорівнює відношенню абсолютної похибки до виміряного значення фізичної величини.

Результати порівняння довжин, виміряних в натурі та на моделі представлені нижче (табл. 3.1):

Таблиця 3.1

Результати порівняння довжин, виміряних в натурі та на моделі

№	Номери відстаней	Довжини, виміряні в натурі	Довжини, виміряні на моделі	dX	dY	СКП
1	3-6	4.692	4.582	-0.110	-0.110	0.0002722
2	6-1	3.529	3.444	-0.085	-0.085	0.0003556
3	1-10	4.484	4.421	-0.063	-0.063	0.0024969
4	10-5	4.933	4.850	-0.083	-0.083	0.0004702
5	12-9	4.847	4.796	-0.051	-0.051	0.0044809
6	9-8	3.560	3.498	-0.062	-0.062	0.0026402
7	8-4	4.895	4.745	-0.150	-0.150	0.0053389
8	2-11	4.017	3.979	-0.038	-0.038	0.0072802
9	1-9	15.322	15.079	-0.243	-0.243	0.0418569
Середнє арифметичне значення відхилення довжин, м				<b>-0.008</b>	<b>-0.008</b>	
СКП одиниці ваги, м				0.008		

За результати дослідження встановлено, що середня квадратична похибка одиниці ваги складає 0,085 метра. Довжини, виміряні в натурі, були визначені з точністю до 0.001 м за допомогою рулетки першого класу точності. Отже, можна зробити висновок, що відстані, виміряні програмою, в цьому конкретному випадку є придатними для використання. Це можна пояснити тим, що обробка програмним забезпеченням була виконана на середньому рівні продуктивності. Також важливим фактором було те, що для оптимального розрахунку одиниці СКП потрібно мінімум від 13 вихідних значень для отримання кращих результатів. Але за браком марок було отримано 9 вихідних значень.

# Практичні рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів



Фотограмметрію активно використовують у роботі архітектори, геодезисти, картографи, вчені, спеціалісти з виготовлення макетів.



Приклад оформлення креслення споруди за отриманими результатами з програми Reality Capture 1.4

## Висновки

Наземна фотограмметрія являється одним з найбільш ефективних та доступних методів цифрової фіксації стану архітектурних та археологічних пам'яток. Застосування її технології дозволить охопити більшу кількість об'єктів та забезпечити високу деталізацію їх тривимірного моделювання, що сприятиме подальшим дослідженням та якісним реставраційним роботам.

Для цього у змісті роботи були розкриті основні характеристики предметної сфери моделювання об'єктів культурної спадщини.

А саме був зроблений:

- аналіз нормативно-правового забезпечення щодо цифровізації об'єктів культурної спадщини;
- аналіз методів наземної фотограмметрії для моделювання тривимірних об'єктів;

Були проведені обґрунтування методу наземної фотограмметрії та технічного забезпечення для виконання робіт. Визначені основні етап дослідження. А також обґрунтування вибору методу наземної фотограмметрії.

Розкриті значення технічного забезпечення для виконання робіт. Були проведені практичні роботи по зніманню.

Збереження та відновлення об'єктів культурної спадщини є важливим завданням для будь-якої держави, оскільки вони становлять неоціненну історичну та культурну цінність.

Фотограмметрія як метод вимірювання об'єктів за допомогою фотографій відіграє все більш значну роль у цій галузі. Збереження та відновлення об'єктів культурної спадщини є важливим завданням для будь-якої держави, оскільки вони становлять неоціненну історичну та культурну цінність.

Дякую за увагу!