

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»**

**Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія**

**Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерна інженерія»**

**Група: 2БКС-29**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**здобувача освіти денної форми навчання**  
**БКС.29.24.000.КРБ**

***КАПРАЛОВА ДЕНИСА***  
***ОЛЕКСАНДРОВИЧА***

**м. Одеса**  
**2025 р.**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерна інженерія»

Група: 2БКС-29

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

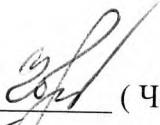
До кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: «Дослідження технології  
фотограмметрії для отримання 3D-моделей»

Проектний матеріал складається з пояснювальної записки на 75 сторінках та  
графічного (презентаційного) матеріалу на 18 аркушах (слайдах)


Виконавець  (Капралов Д.О.)

Керівник проекту  (Суліма Ю.Є.)

**Консультанти:**

з розділу охорони праці та техніки безпеки  (Чорновол Н.І.)

з нормоконтролю  (Петрашова В.І.)

старший консультант  (Кривченко Ю.В.)

**До захисту допущений**


Завідувач кафедри  (Іванова Л.В.)

Завідувач відділенням  (Краснокутська К.Г.)

Захист «15» 06 2025 р.

Протокол ЕК № 1

Оцінка ЕК 5 (відмінно) / 90

Секретар ЕК 

# АНОТАЦІЯ

Метою даної роботи є дослідження технології цифрової фотограмметрії для створення 3D-моделей об'єктів реального світу з використанням програмного забезпечення RealityCapture.

Вивчено закономірності формування тривимірної геометрії на основі послідовних цифрових зображень, розглянуто класифікацію, етапи фотограмметричної обробки та порівняно функціональні можливості актуальних програм для 3D-реконструкції.

Отримані кількісні характеристики якості побудованої 3D-моделі, включаючи точність відображення деталей та відповідність оригіналу.

Створено повноцінну тривимірну модель об'єкта за фотознімками, зібраними за допомогою камери смартфона, реалізовано методику обробки даних, побудовано IDEF0 схеми процесу та запропоновано рекомендації щодо застосування фотограмметрії в архітектурі, географії, археології, дизайні та геймдеві.

Розглянуто питання з охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: фотограмметрія, 3D-моделювання, RealityCapture, тривимірна реконструкція, цифрова зйомка, обробка зображень, оцінка якості моделі.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Відділення Комп'ютерних систем Кафедра Комп'ютерної інженерії  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заст. дир. з НВР Беркань І.В.  
" 28 " 08 20 25 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу бакалавра**

здобувачеві освіти Карпалову Денису Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Дослідження технології фотограмметрії для отримання 3D-моделей

затверджена наказом по коледжу від " 14 " 11 20 24 р. № 246

2. Термін здачі студентом кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи 1. Фотограмметрія як технологія для отримання 3D-моделей. 2. Огляд сучасних програмних засобів для обробки фотограмметричних даних. 3. Розробити методичку фотограмметричної зйомки об'єкта. 4. Провести тривимірну реконструкцію об'єкта реального світу за допомогою фотограмметрії. 5. Провести оцінку якості моделі. 6. Підготувати рекомендації щодо використання фотограмметрії у сфері архітектури, географії, археології, ігор, дизайну тощо.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) Аналітичний огляд методів та засобів основ фотограмметрії. Огляд програмного забезпечення. Методика проведення зйомки. Побудова 3D-моделі: етапи, результати. Аналіз точності, переваг і обмежень. Сфери застосування технології фотограмметрії для отримання 3D-моделей. Питання охорони праці та техніки безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (слайдів мультимедійної презентації) Схема загального процесу фотограмметрії. Структура проєкту тривимірної реконструкції об'єкта реального світу за допомогою фотограмметрії. Схема процесу зйомки (розташування камер навколо об'єкта). Алгоритм побудови 3D-моделі допомогою фотограмметрії. Діаграма варіантів використання фотограмметрії. 3D-модель, отримана в результаті дослідження. Скріншоти інтерфейсу програмного забезпечення. Аналіз результатів дослідження.

6. Консультанти по кваліфікаційній роботі, із зазначенням розділів, що їх стосуються

Розділ	Консультант	ПІДПИС	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Основний розділ	Суліма Ю.Є.		
Розділ охорони праці	Чорновол Н.І.		
Нормоконтроль	Петрашова В.І.		
Старший консультант	Кривченко Ю.В.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник роботи Суліма Ю.Є.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Аналіз технічного завдання	12.05.2025 р.	виконано
2	Аналіз методів і засобів методів та засобів основ фотограмметрії	16.05.2025 р.	виконано
3	Огляд програмного забезпечення	19.05.2025 р.	виконано
4	Обґрунтування вибору засобів обробки фотограмметричних даних	22.05.2025 р.	виконано
5	Розробка методики фотограмметричної зйомки об'єкта	26.05.2025 р.	виконано
6	Тривимірна реконструкція об'єкта реального світу за допомогою фотограмметрії	29.05.2025 р.	виконано
7	Аналіз результатів. Проведення оцінки якості моделі	30.05.2025 р.	виконано
8	Розробка рекомендацій щодо використання фотограмметрії у різних сферах	02.06.2025 р.	виконано
9	Питання охорони праці та техніки безпеки	05.06.2025 р.	виконано
10	Підготовка мультимедійної презентації	06.06.2025 р.	виконано
11	Оформлення пояснювальної записки	09.06.2025 р.	виконано
12	Підготовка доповіді для захисту	16.06.2025 р.	виконано

Здобувач освіти \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)



# ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Основний розділ.....	9
1.1 Теоретичні основи фотограмметрії .....	9
1.1.1 Визначення та суть фотограмметрії.....	9
1.1.2 Історія розвитку фотограмметрії .....	9
1.1.3 Класифікація фотограмметрії.....	12
1.1.4 Математичні методи фотограмметрії .....	15
1.1.5 Основні етапи цифрової фотограмметрії.....	26
1.1.6 Основні сфери застосування цифрової фотограмметрії.....	32
1.1.7 Обмеження у застосуванні цифрової фотограмметрії.....	34
1.2 Огляд програмного забезпечення.....	35
1.2.1 Agisoft Metashape.....	35
1.2.2 RealityCapture .....	37
1.2.3 Meshroom .....	38
1.2.4 3DF Zephyr .....	40
1.2.5 Pix4D .....	41
1.2.6 Обґрунтування вибору засобів обробки фотограмметричних даних.....	43
1.3 Тривимірна реконструкція об'єкта реального світу за допомогою фотограмметрії.....	44
1.3.1 Визначення структури проекту.....	44
1.3.2 Розробка методики фотограмметричної зйомки об'єкта.....	46
1.3.3 Розробка алгоритму роботи в RealityCapture .....	48
1.4 Аналіз результатів .....	54
1.4.1 Оцінка якості 3D-моделі.....	54
1.4.2 Рекомендації щодо використання фотограмметрії в різних галузях.....	56

2 Розділ охорони праці та техніки безпеки.....	59
2.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на користувача ПК.....	59
2.2 Розробка заходів з охорони праці.....	60
2.2.1 Нормалізація повітря робочої зони.....	60
2.2.2 Виробниче освітлення.....	61
2.2.3 Електробезпека.....	61
2.2.4 Організація робочого місця.....	62
2.2.5 Пожежна безпека.....	62
Висновки.....	64
Перелік використаних інформаційних джерел.....	65
Додаток А. Алгоритм побудови 3D-моделі за допомогою фотограмметрії .....	66
Додаток Б. Слайди мультимедійної презентації.....	67

## ВСТУП

У сучасному цифровому світі тривимірні моделі набувають все більшого значення в різноманітних галузях – від архітектури та геодезії до медицини, геймдизайну та культурної спадщини. Висока точність, інтерактивність та візуальна привабливість 3D-моделей зробили їх незамінним інструментом у багатьох прикладних сферах. Одним із найбільш доступних і технологічно розвинених методів створення таких моделей є фотограмметрія.

У рамках кваліфікаційної роботи передбачається дослідити процес створення 3D-моделей за допомогою фотограмметрії, а також оцінити ефективність та точність цієї технології. Особлива увага приділятиметься практичному аспекту – зйомці об'єкта, обробці фотографій, аналізу отриманих результатів.

Вибір цієї теми зумовлений кількома чинниками. По-перше, фотограмметрія є однією з найдоступніших технологій просторового моделювання: вона не потребує дорогого обладнання, як, наприклад, лазерне сканування. По-друге, в умовах розвитку дистанційного моніторингу, цифрової археології, інформаційного моделювання будівель, фотограмметричні методи виявляються особливо затребуваними.

Метою роботи є вивчення принципів фотограмметрії, її основних етапів, інструментів і методів, а також практичне застосування цієї технології для створення 3D-моделі реального об'єкта. У рамках дослідження буде розроблено власну методику зйомки, підбрано відповідне програмне забезпечення, а також проведено повний цикл побудови моделі – від збирання зображень до їх обробки аналізу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати математичні основи фотограмметрії; дослідити особливості сучасного програмного забезпечення; спроектувати і реалізувати фотозйомку об'єкта; здійснити побудову 3D-моделі за допомогою фотограмметрії; оцінити точність, деталізацію та можливі похибки в результаті обробки.

Об'єктом дослідження виступає процес тривимірної реконструкції об'єкта

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

реального світу за допомогою фотограмметрії. Предметом дослідження є технології, програмні засоби та алгоритми, що використовуються для аналізу зображень і побудови моделей.

Наукова новизна полягає в поєднанні теоретичних знань із практичним досвідом у галузі 3D-моделювання за допомогою фотограмметрії. Крім того, дослідження сприятиме популяризації відкритих і доступних інструментів для створення цифрового 3D-контенту.

Практична значущість проекту полягає в тому, що розроблена методика може бути використана для цифрової фіксації об'єктів у сфері архітектури, дизайну, музеєзнавства, а також в освітньому процесі для ознайомлення студентів з основами тривимірної реконструкції.

Загальна структура кваліфікаційної роботи включає вступ, основний розділ, що містить теоретичні відомості, опис практичної частини з побудовою моделі, аналіз результатів і висновки. До проекту також додаються графічні матеріали – схеми, діаграми, знімки екранів і рендери моделі.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи буде отримано цілісне уявлення про технологію фотограмметрії, її інструменти та можливості, а також реалізовано тривимірну реконструкцію об'єкта реального світу.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1 ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Аналітичний огляд методів та засобів основ фотограмметрії

### 1.1.1 Визначення та суть фотограмметрії

Фотограмметрія – це науково-технічна дисципліна, яка дозволяє отримувати геометричні характеристики об'єктів на основі їх зображень, найчастіше – фотографій. На практиці це означає, що за допомогою звичайної цифрової камери та спеціального програмного забезпечення можна відтворити точну 3D-модель об'єкта без фізичного контакту з ним. Це відкриває великі можливості в умовах, коли прямий доступ до об'єкта утруднений або взагалі неможливий.

Популярність фотограмметрії зросла з розвитком обчислювальної техніки та появою програм, які автоматично аналізують серії зображень і будують на їх основі просторові моделі.

Такі інструменти, як Agisoft Metashape, RealityCapture, Meshroom та 3DF Zephyr, дозволяють отримати детальні текстуровані моделі навіть без спеціальних знань у галузі комп'ютерної графіки чи моделювання.

Фотограмметрія – це наукова і прикладна дисципліна, що займається визначенням форми, розмірів та розташування об'єктів за фотографічними зображеннями. Основою методу є аналіз перспективного викривлення на знімках, зумовленого просторовим положенням об'єкта відносно камери.

Фотограмметрія поєднує елементи геометрії, оптики, інформатики, комп'ютерного зору та графіки. Вона використовується для побудови дво- або тривимірних моделей об'єктів за їх фотознімками.

Початково фотограмметрію застосовували переважно в геодезії, картографії та аерозйомці, але з розвитком цифрових технологій вона стала доступною для широкого кола користувачів і сфер.

Фотограмметрія дозволяє визначити координати точок, створити цифрову модель рельєфу або об'єкта, побудувати ортофотоплани та візуалізації.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

У сучасному застосуванні фотограмметрія часто інтегрується з іншими технологіями – такими як GIS (геоінформаційна система), CAD (система автоматизованого проєктування і розрахунку), BIM (інформаційне моделювання будівель), віртуальна реальність, а також комп'ютерна графіка.

### 1.1.2 Історія розвитку фотограмметрії

Термін «фотограмметрія» вперше запропонував німецький геодезист Альбрехт Мейденбауер у 1867 році. Перші спроби використання фотографій для вимірювань були засновані на стереозображеннях.

У ХХ столітті фотограмметрія отримала інтенсивний розвиток завдяки аерофотозйомці. Поява аналогових стереоприладів дозволила точно вимірювати координати точок за допомогою парних знімків.

У 1980–1990-х роках поширюється цифрова фотограмметрія, заснована на використанні програмного забезпечення для обробки растрових зображень.

Цифрова фотограмметрія є найсучаснішим етапом розвитку фотограмметрії як науки та практичного інструменту. Вона ґрунтується на використанні цифрових зображень, отриманих із камер різного типу – від професійних цифрових однооб'єктивних дзеркальних фотокамер до звичайних мобільних пристроїв, а також з аерофотозйомки чи супутників. Основною перевагою цифрової фотограмметрії є повна автоматизація процесу обробки даних: виявлення ключових точок, визначення просторових координат, побудова хмар точок, поверхонь та текстурованих 3D-моделей відбувається з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Процес цифрової реконструкції зазвичай базується на методах комп'ютерного зору, зокрема технології «Структура з руху» (Structure from Motion – SfM), яка дозволяє відновити тривимірну геометрію об'єкта на основі великої кількості зображень, що перекриваються (рис. 1.1). Важливим етапом є також алгоритм «налаштування пучка» (Bundle Adjustment), який оптимізує просторове положення камери та обчислює координати спостережуваних точок з максимальною точністю. Після побудови хмари точок виконується створення сітки (mesh) і текстурування, що забезпечує реалістичний вигляд моделі.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

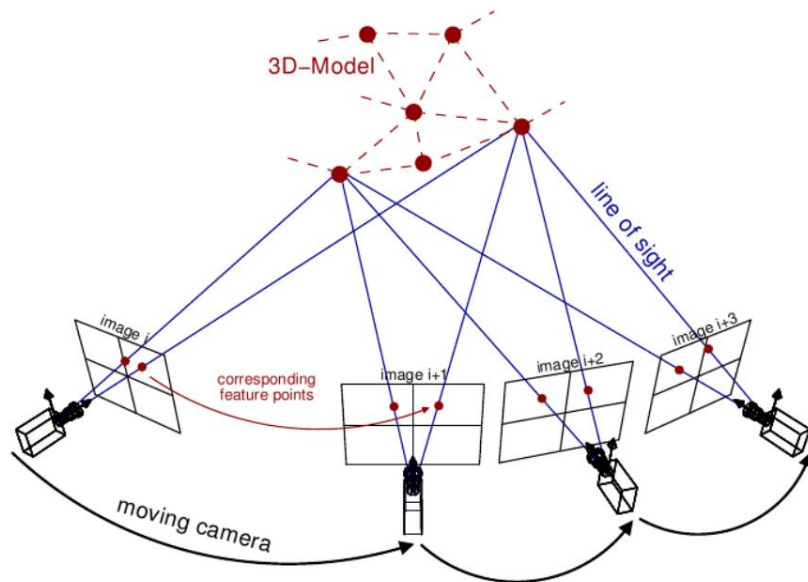


Рисунок 1.1. Фотограмметричний принцип «Структура з руху» (SfM)

Цифрова фотограмметрія має широке застосування у різних галузях: від геодезії, архітектурної документації та будівництва до археології (рис. 1.2), культурної спадщини, 3D-друку, віртуальної реальності та кіноіндустрії. Вона дозволяє оперативнo та з високою точністю створювати цифрові копії об'єктів, які можуть бути використані як для наукового аналізу, так і для візуалізації чи консервації. Завдяки широкому доступу до фотозасобів і програмних рішень цифрова фотограмметрія стає дедалі популярнішою навіть серед непрофесійних користувачів.

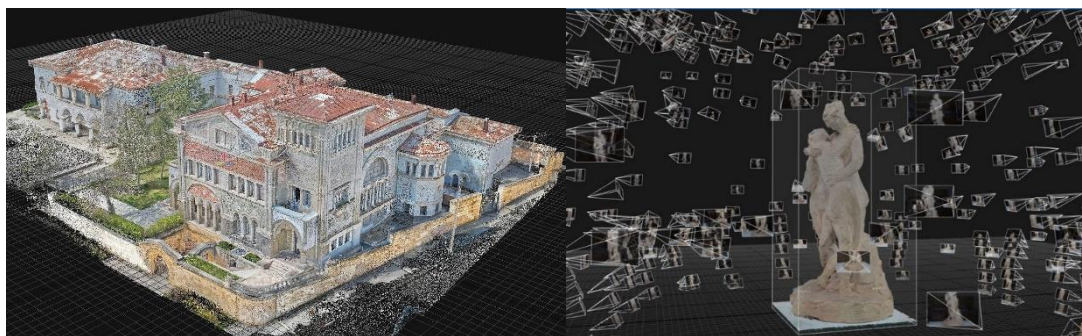


Рисунок 1.2. Фотограмметрія для оцифрування архітектурних об'єктів

Сьогоднішній етап розвитку характеризується широким використанням фотограмметрії в цивільних галузях, а також доступністю споживчих камер і хмарних сервісів для побудови 3D-моделей.

### 1.1.3 Класифікація фотограмметрії

Фотограмметрія як наукова дисципліна охоплює різноманітні підходи, методики та сфери застосування, що зумовлює необхідність її класифікації за кількома критеріями. Це дозволяє систематизувати види робіт, засоби отримання даних, методи обробки та рівень точності, які властиві тому чи іншому різновиду фотограмметричних досліджень. Розглянемо класифікацію фотограмметрії, що наведено на рисунку 1.3 більш детально.

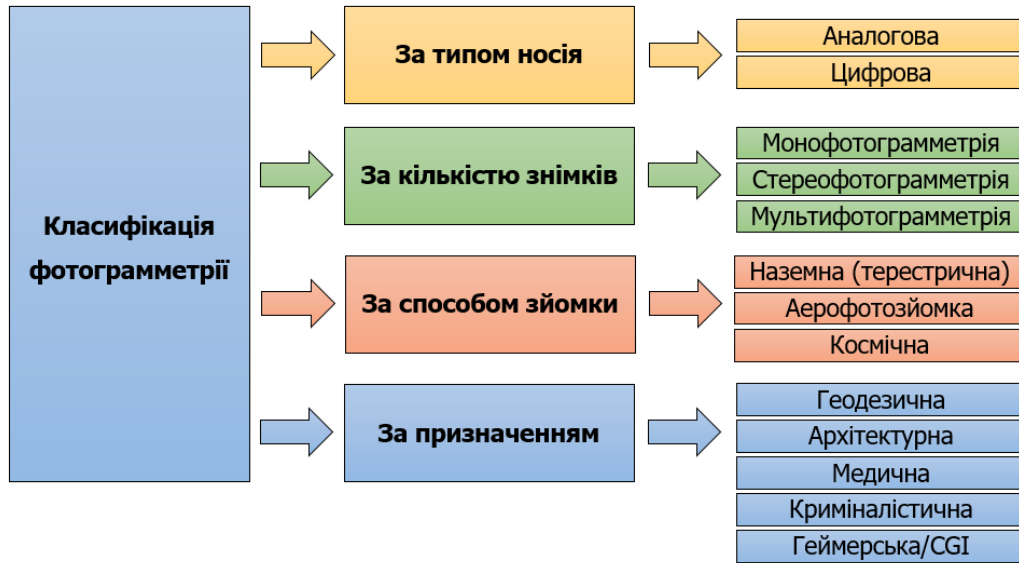


Рисунок 1.3. Класифікація фотограмметрії

Перший і найбільш традиційний підхід до класифікації базується на типі платформи або носія, з якого здійснюється зйомка. У цьому контексті фотограмметрію умовно поділяють на наземну, аерофотограмметрію та космічну фотограмметрію. Наземна фотограмметрія, або терестрична, виконується за допомогою камер, розташованих на рівні поверхні землі (рис. 1.4).



Рисунок 1.4. Наземна фотограмметрія

Наземна фотограмметрія характерна для архітектурної документації, криміналістичних розслідувань, культурної спадщини, а також інженерних вимірювань. У випадку аерофотограмметрії джерелом зображень виступає літальний апарат – від класичних літаків до сучасних безпілотників. Цей тип широко застосовується в топографії, геодезії, землекористуванні, агрономії, моніторингу інфраструктури тощо. Також часто поєднують наземні методи зйомки зі зйомкою з використанням дрону (рис. 1.5).

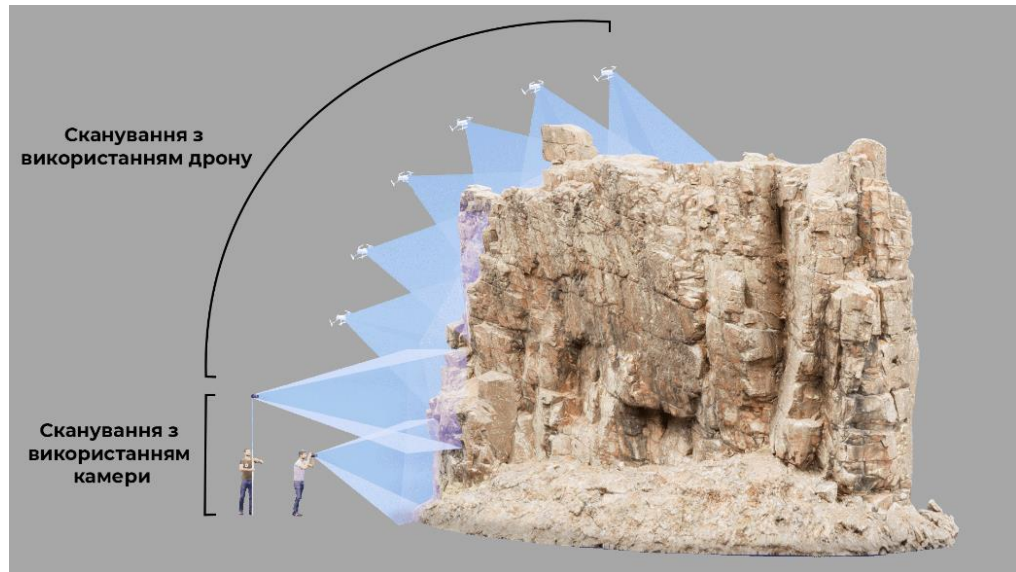


Рисунок 1.5. Комбінована зйомка скелі

Космічна фотограмметрія базується на супутникових знімках і є невід’ємною складовою дистанційного зондування Землі, зокрема для великомасштабного картографування, екологічного моніторингу й спостереження за глобальними змінами на планеті.

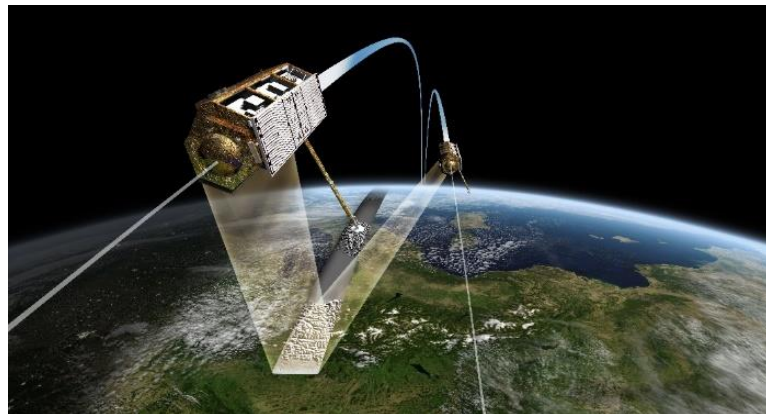


Рисунок 1.6. Німецький радіолокаційний супутник TanDEM-X

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Другий важливий критерій класифікації – кількість зображень, які використовуються для отримання просторової інформації. За цим параметром виділяють монофотограмметрію, стереофотограмметрію та мультифотограмметрію. Монофотограмметрія працює лише з одним зображенням об'єкта і, як правило, передбачає використання допоміжних геометричних чи метричних даних. Цей підхід обмежений у точності, але може бути ефективним для оперативного створення ортофотопланів або простих вимірів. Стереофотограмметрія, яка є значно точнішою, базується на аналізі двох зображень одного об'єкта, знятих з різних точок. Завдяки принципу бінокулярного бачення вона дозволяє отримати об'ємну інформацію та відновити тривимірну геометрію сцени. Найсучаснішим підходом є мультифотограмметрія (або технологія Structure-from-Motion), яка використовує велику кількість знімків, що перекриваються. Вона дозволяє автоматично і з високою точністю реконструювати 3D-моделі складних об'єктів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Ще один принцип класифікації – за способом обробки даних. У цьому випадку фотограмметрію ділять на аналогову, аналітичну та цифрову. Аналогова фотограмметрія, яка історично є найпершою, передбачає використання фізичних оптико-механічних приладів для перегляду та вимірювання стереозображень. Хоча цей підхід майже повністю витіснений сучасними методами, він відіграв ключову роль у становленні дисципліни. Аналітична фотограмметрія базується на поєднанні оптичної інформації та комп'ютерних розрахунків і дозволяє коригувати похибки, моделювати просторові співвідношення, а також підвищувати точність вимірювань. Цифрова фотограмметрія, яка є домінантною у XXI столітті, використовує цифрові зображення та повністю комп'ютеризовані процеси – від ідентифікації точок до автоматичного побудови 3D-моделей, що значно розширює її функціональні можливості та масштаб застосування.

Важливим також є функціонально-галузевий поділ фотограмметрії, що залежить від сфери застосування отриманих результатів. Геодезична фотограмметрія зорієнтована на створення карт і топографічних планів із заданою

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

точністю та масштабом. Архітектурна фотограмметрія спеціалізується на детальному моделюванні будівель, пам'яток архітектури, фасадів і внутрішніх інтер'єрів. У медицині фотограмметричні технології застосовуються для створення моделей людського тіла, зокрема для ортопедії чи пластичної хірургії. Окремий напрям становить промислова фотограмметрія, яка забезпечує високоточне вимірювання елементів машин, конструкцій або виробничих об'єктів. У новітніх галузях, таких як комп'ютерна графіка, віртуальна та доповнена реальність, фотограмметрія стала невід'ємною частиною процесу створення цифрового контенту – зокрема реалістичних 3D-сцен і персонажів у відеоіграх, кіно та рекламі.

Таким чином, класифікація фотограмметрії дозволяє охопити різноманітність її підходів та методик, адаптуючи техніку до конкретних цілей, рівня доступного обладнання, точності, швидкості отримання результатів та подальшого використання моделей. Такий багатовекторний розвиток сприяв широкому проникненню фотограмметричних методів у повсякденну практику інженерів, архітекторів, дизайнерів, науковців та фахівців із цифрового моделювання.

#### **1.1.4 Математичні методи фотограмметрії**

Математична основа фотограмметрії ґрунтується на використанні векторної алгебри та аналітичної геометрії. Ключовими положеннями аналітичної фотограмметрії, яка є фундаментом цифрової фотограмметрії, є умови колінеарності та компланарності векторів.

Математичні методи, що застосовуються у фотограмметрії, умовно поділяються на дві основні групи – методи попередньої обробки зображень та методи фотограмметричних побудов моделей об'єктів.

Методи попередньої обробки зображень, отриманих за допомогою різноманітних сенсорів. Їх головне завдання – усунути викривлення зображення, викликані зовнішніми або внутрішніми чинниками, такими як атмосферна рефракція, дисторсія оптики, деформація носія зображення чи похибки під час сканування. У результаті обробки зображення представляється як набір плоских

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

прямокутних координат  $(x, y)$ , які максимально наближені до реальних координат  $(x^\circ, y^\circ)$ . Крім того, на цьому етапі також покращують якість зображення – регулюють контраст, оптичну щільність, кольорову гаму (так звані радіометричні характеристики) – і, за потреби, здійснюють його стискання для ефективнішого зберігання.

Методи фотограмметричних побудов моделей об'єктів, що охоплюють класичні завдання аналітичної фотограмметрії, зокрема:

- визначення просторових координат точок за окремими знімками або стереопарами;
- трансформування нахилоного знімка у горизонтальний у заданому масштабі;
- пряма та обернена фотограмметричні засічки;
- взаємне орієнтування пар знімків;
- зовнішнє орієнтування фотограмметричних моделей;
- побудова опорних мереж методом фототриангуляції;
- цифрове ортофототрансформування для створення ортофотопланів;
- створення цифрових моделей об'єктів і рельєфу;
- інші суміжні завдання.

Усі ці задачі є добре дослідженими та становлять наукову та практичну основу аналітичної фотограмметрії.

Перші уявлення про побудову перспективних зображень, які дозволяють визначати форму, розміри та просторове розташування об'єктів, з'явилися ще в епоху Відродження і стали основою майбутньої фотограмметрії.

На рисунку показано, як точки місцевості  $A, B, C$  і  $D$  проєктуються через центр проєкції  $S$  на площину  $P$ . Точки перетину променів  $AS, BS, CS, DS$  з площиною  $P$  (тобто  $a_p, b_p, c_p, d_p$ ) – це центральні проєкції відповідних об'єктів місцевості. У цьому випадку об'єкти й площина проєктування знаходяться з одного боку від центра  $S$ , тому утворюється пряме (позитивне) зображення (рис. 1.7).

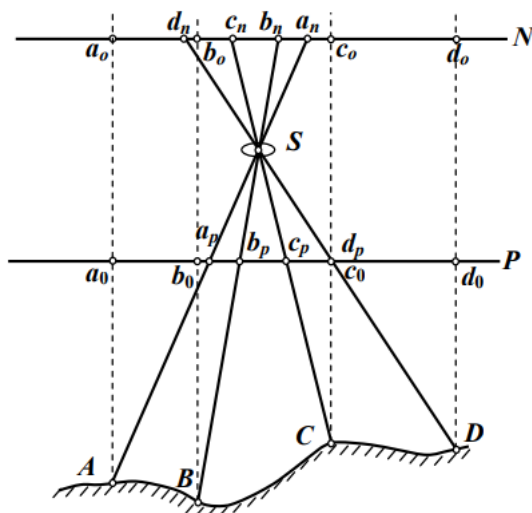


Рисунок 1.7. Центральна проєкція

Аналогічне зображення можна побудувати й на площині  $N$ , розміщеній на такій самій відстані, але з протилежного боку від центра проєкції. Тоді отримаємо зворотне (негативне) зображення, яке відповідає фотографії. Площину  $N$  називають площиною знімка, а саме зображення – знімком.

Прямі, що проходять від об'єктів через центр  $S$  (тобто  $AS$ ,  $BS$ ,  $CS$ ,  $DS$ ), називаються проєктувальними променями. Саме вони будують зображення, підкоряючись законам центральної проєкції, де всі промені сходяться в одній точці – центрі об'єктива. Через симетричне розташування негативу та позитиву щодо центра проєкції, їхні зображення є конгруентними (однаковими за формою й розмірами).

Якщо ж подумки перенести центр проєкції на нескінченно далеку відстань, проєктувальні промені стануть паралельними. У такому випадку перетин цих променів із площиною, перпендикулярною до них, створює ортогональну (горизонтальну) проєкцію. Вона широко використовується в картографії для створення планів і карт.

Щоб на основі знімка створити план місцевості, потрібно перетворити перспективне зображення (центральну проєкцію) на ортогональне. Проте пряме перенесення центра на нескінченність є неможливим на практиці, тому в фотограмметрії цю задачу розв'язують непрямими методами, один із яких – пряма фотограмметрична засічка.

Зображення місцевості, сформоване у фокальній площині об'єктива (тобто на площині знімка), є перспективним, що означає: воно підкоряється законам центральної проєкції (див. рис. 1.8).

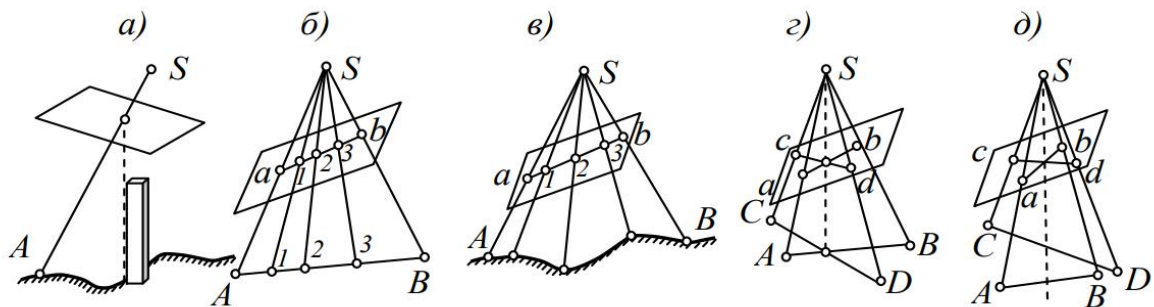


Рисунок 1.8. Властивості перспективи

Основні властивості перспективного зображення такі:

1) Перспектива точки – це точка.

Щоб побудувати перспективне зображення окремої точки, потрібно провести проєктувальний промінь із центра проєкції  $S$  через цю точку місцевості – точка перетину променя з площиною знімка і буде її проєкцією.

На рис. 1.8 (а) видно, що одна точка знімка може відповідати кільком точкам на місцевості – наприклад, у випадку вертикальних об'єктів, як прямокутна стіна. Натомість кожна точка місцевості дає лише одну точку на знімку.

2) Перспектива прямої – це також пряма.

Усі проєктувальні промені, що проходять через точки прямої на місцевості, лежать в одній площині, яка разом із площиною знімка формує на перетині пряму.

На рис. 1.8 (б) ілюструється, що прямій  $AB$  на місцевості відповідає пряма  $a_b$  на знімку. Така площина з променями називається проєктуючою площиною даної прямої.

Проте на рис. 1.8 (в) показано, що пряма на знімку може відповідати не прямій на місцевості, а кривій – через рельєфність поверхні. Для побудови перспективи прямої достатньо спроєктувати лише дві її точки.

3) Перспектива двох прямих, що перетинаються, – це дві прямі, що також перетинаються. Точка перетину прямих на місцевості проєктується в точку перетину відповідних зображень на знімку. Це зображено на рис. 1.8 (г): промінь,

що йде через точку перетину двох прямих, одночасно належить до двох проєктувальних площин, тому його проєкція лежить на обох зображеннях. Водночас, як видно з рис. 1.8 (д), на знімку можуть перетинатися й ті прямі, що в реальності не перетинаються (наприклад, якщо вони перехресні в просторі). Для побудови перспективи перехресних прямих потрібно знайти перспективу точки їхнього перетину, а також спроектувати ще по одній точці для кожної прямої.

На рис. 1.9 представлено взаємне розміщення елементів центральної проєкції.

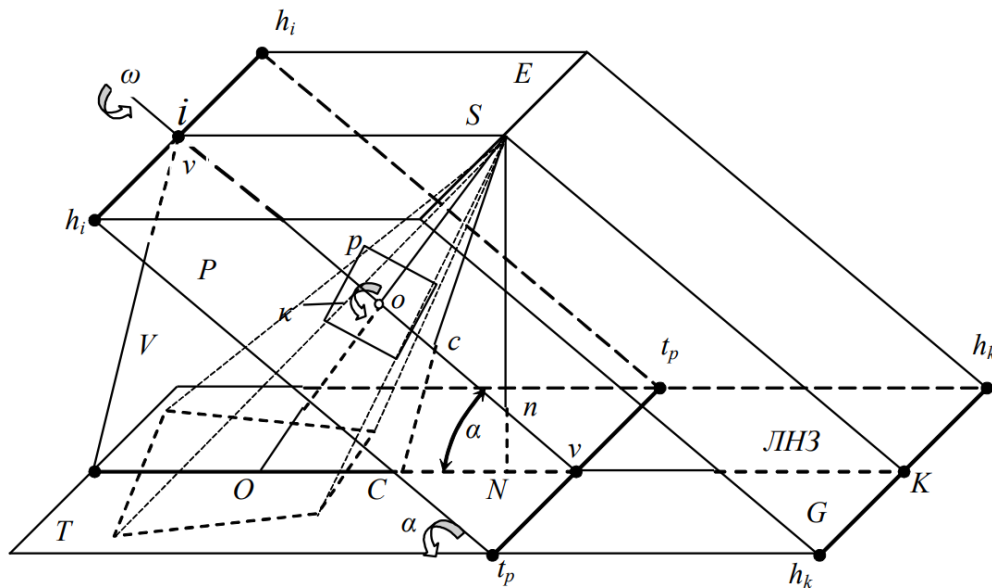


Рисунок 1.9. Елементи центральної проєкції

Розглянемо основні елементи центральної проєкції:

- $S$  – центр проєкції, тобто точка, з якої виконане проєктування об'єкта на знімок.
- $T$  – предметна площина, на якій розташований об'єкт зйомки (наприклад, місцевість).
- $P$  – картинна площина, куди проєктується зображення (тобто площина, де утворюється знімок).
- $E$  – площина істинного горизонту, проходить через центр проєкції паралельно до предметної площини.
- $V$  – головний вертикал – площина, що проходить через центр проєкції перпендикулярно до предметної та картинної площин.

- $G$  – площина картинного горизонту, проходить через центр проєкції паралельно до площини знімка.
- $P$  – сам знімок, розміщений у картинній площині.
- ЛНЗ (лінія напрямку знімання) – лінія перетину площини головного вертикалу з предметною площиною.
- $tt$  ( $t_p-t_p$ ) – основа знімка або база між точками лівого та правого краю.
- $vv$  ( $v-v$ ) – головна вертикаль, пряма, що поєднує центр проєкції з центром предметної площини.
- $h_i h_i$  – лінія істинного горизонту, горизонтальна лінія у верхній частині рисунка.
- $h_k h_k$  – лінія картинного горизонту, горизонтальна лінія в нижній частині рисунка.
- $S_o$  – головний промінь (в оптичній системі – головна вісь об’єктива).
- $\alpha$  – поздовжній кут нахилу знімка (нахил у напрямку зйомки вперед/назад).
- $\omega$  – поперечний кут нахилу знімка (нахил знімка вліво/вправо).
- $\kappa$  – кут повороту знімка навколо головного променя.
- $O$  та  $o$  – головна точка знімка (перетин головного променя з предметною і картинною площинами відповідно).
- $N$  та  $n$  – точки надира – перпендикулярна проєкція центра проєкції на предметну та картинну площини.
- $C$  та  $c$  – точки нульових спотворень, тобто точки, де знімок не зазнає перспективних викривлень.
- $i$  – точка перетину лінії істинного горизонту з зображенням головної точки сходу в картинній площині.
- $K$  – головна точка сходу на предметній площині (відповідна точка до  $i$ ).
- $S_o = f$  – фокусна відстань об’єктива.
- $SN$  – висота фотографування, тобто відстань від центру проєкції до предметної площини.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Із аналізу рис.1.9 випливають основні співвідношення, які визначають взаємне розміщення елементів центральної проєкції (формули 1.1-1.3):

$$on = f \cdot tg\alpha \quad (1.1)$$

$$on = f \cdot tg \frac{\alpha}{2} \quad (1.2)$$

$$on = \frac{f}{\cos \alpha} \cdot tg \frac{\alpha}{2} \quad (1.3)$$

Координатні системи у фотограмметрії наведено на рис. 1.10.

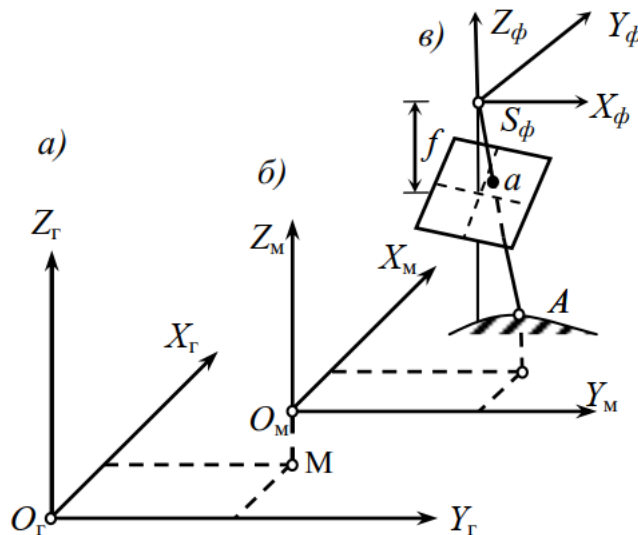


Рисунок 1.10. Координатні системи у фотограмметрії

Для побудови топографічних карт і планів використовується ліва прямокутна система координат Гауса  $O_G X_G Y_G Z_G$ , що показана на рис. 1.10, а.

У практичній діяльності часто застосовується місцева просторово-прямокутна система координат  $X_M Y_M Z_M$ , початок якої розташований у вибраній точці ділянки – точці М (рисунок 1.10, б). У цій системі:

- вісь  $Z_M$  спрямована нормально до поверхні квазігеоїда в точці М,
- вісь  $X_M$  лежить у горизонтальній площині й орієнтована вздовж осьового меридіану зони, де розташована ділянка,
- вісь  $Y_M$  – паралельна екватору.

Координати початку цієї системи задаються у загальній геодезичній системі координат  $O_G X_G Y_G Z_G$ . Обидві системи – як  $O_G X_G Y_G Z_G$ , так і  $X_M Y_M Z_M$  – у фотограмметрії відносять до геодезичних систем координат.

Координати об'єктів на місцевості, які отримують у результаті обробки знімків, зазвичай виражаються у фотограмметричній просторовій прямокутній системі координат  $S_\phi X_\phi Y_\phi Z_\phi$  (рисунок 1.10, в).

У цій системі:

- точка  $S_\phi$  зазвичай відповідає центру фотографування або іншій зручній точці,
- площина  $X_\phi Y_\phi$  встановлюється горизонтально або паралельно площині знімка для спрощення переходу між координатами знімка й місцевості.

Оскільки системи координат  $X_\phi Y_\phi Z_\phi$  та  $X_r Y_r Z_r$  не збігаються, для перетворення координат необхідно виконувати відповідні математичні трансформації між цими системами.

Координати точок на знімку визначаються у плоскій прямокутній системі координат  $O(x_0, y_0)$ , де координати позначаються як  $x$  і  $y$ . Центром цієї системи є головна точка знімка  $O$ , яка розташована в точці перетину головної оптичної осі об'єктива з фокальною площиною (рис. 1.11).

У випадку знімків, отриманих за допомогою спеціалізованих метричних фотокамер, положення головної точки встановлюється як точка перетину ліній, що з'єднують протилежні координатні мітки на краях знімка.

Незважаючи на те, що система координат виглядає плоскою, по відношенню до центра проєкції  $S_\phi$  вона фактично є частиною просторової системи координат, де для всіх точок однакова координата по осі  $z$ , тобто  $z=f$ , де  $f$  – фокусна відстань об'єктива.

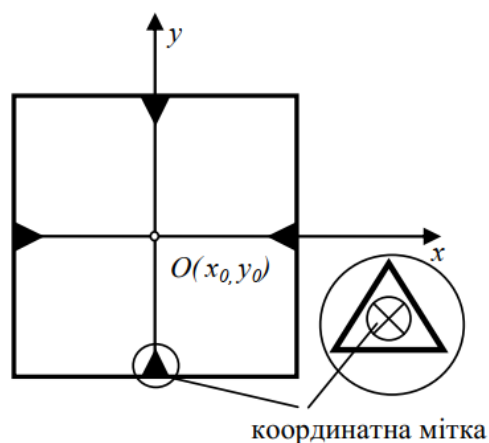


Рисунок 1.11. Визначення положення точки на знімку

Під елементами орієнтування знімка розуміють параметри, які визначають його просторове положення під час фотографування відносно вибраної системи координат. Саме за допомогою цих елементів встановлюється математичний зв'язок між координатами об'єктів на знімку та їх положенням на місцевості. Якщо відомі елементи орієнтування й координати певних точок на знімку, можна обчислити їх координати в реальному просторі, і навпаки.

Існує два типи орієнтування: внутрішнє та зовнішнє.

Елементи внутрішнього орієнтування (ЕВО) описують розташування координатної площини знімка відносно центра проєкції  $S_{x,y,z}$ . Ці елементи дозволяють відтворити первинну геометрію проєкційних променів, що існувала під час знімання.

До основних ЕВО належать:

координати головної точки знімка  $x_0, y_0$ ;

фокусна відстань фотокамери  $f_k$ , яка визначає відстань від центра проєкції до площини знімка (рис. 1.12).

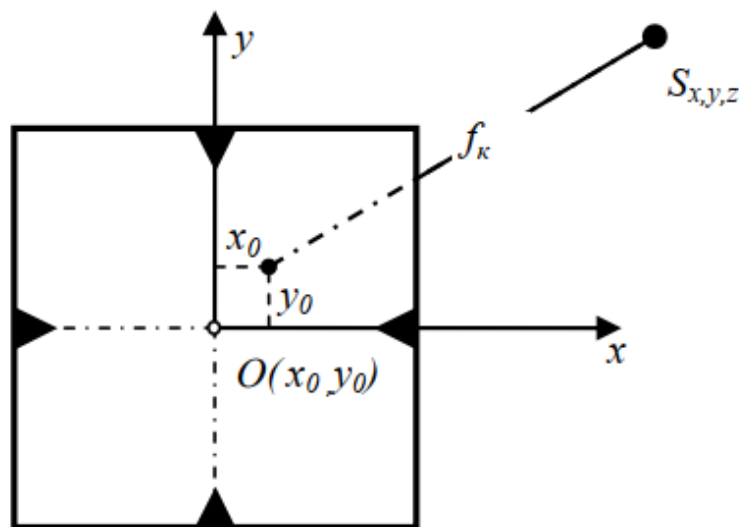


Рисунок 1.12. Елементи зовнішнього орієнтування

Елементи зовнішнього орієнтування (ЕЗО) визначають просторове розташування знімка під час моменту знімання відносно заданої прямокутної тривимірної системи координат. У практиці фотограмметрії для професійних фотознімків зазвичай використовують дві такі системи координат (рис 1.13).



Розрізняють абсолютні та відносні елементи зовнішнього орієнтування. Абсолютні елементи визначають просторове положення всього пучка проєкційних променів у геодезичній системі координат.

Таким чином, положення окремого знімка в просторі описується дев'ятьма орієнтувальними параметрами: трьома – внутрішнього орієнтування, і шістьма – зовнішнього.

Наявність даних про орієнтування є обов'язковою умовою для подальшої обробки фотознімків у камеральних умовах.

У випадку, коли головна оптична вісь фотокамери строго перпендикулярна до площини об'єкта знімання (як показано на рис. 1.14), залежність між координатами на знімку і координатами на місцевості можна вивести з подібності трикутників  $AS_{\phi}O$  та  $aS_{\phi}o$ . Такий варіант зйомки отримав назву «нормальне знімання».

$$\frac{f}{Z} = \frac{x}{X} = \frac{y}{Y} \quad (1.4)$$

$$X = \frac{Z}{f}x; \quad Y = \frac{Z}{f}y; \quad Z = \frac{Z}{f}f \quad (1.5)$$

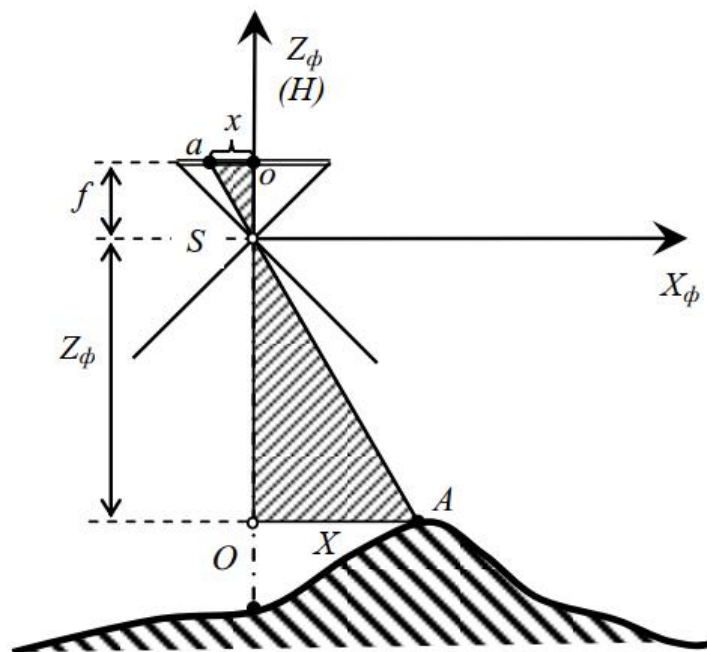


Рисунок 1.14. Зв'язок координат знімка і місцевості

Аналіз виразів 1.5 свідчить, що на основі одного знімка неможливо однозначно визначити повні просторові координати точки місцевості. Можна

розрахувати лише планові координати  $X$  та  $Y$  точки  $A$  на місцевості, але за умови, що заздалегідь відома її висотна координата  $Z$ .

Такий підхід – метод одиночного знімка – застосовується переважно для визначення планового розташування об'єктів на рівнинній території, коли є можливість установити висоту зйомки для великої кількості точок.

Щоб розрахувати тривимірні координати об'єктів за результатами вимірювань на нахиленому знімку, необхідно мати дані про зовнішнє орієнтування знімка. Ці параметри можна отримати або безпосередньо під час зйомки з використанням спеціалізованих технічних засобів, або пізніше, в камеральних умовах – на основі відомих координат об'єктів місцевості та відповідних точок на знімку.

Другий підхід має назву зворотна фотограмметрична засічка, а його математичною основою виступають прямі або обернені рівняння колінеарності.

### 1.1.5 Основні етапи цифрової фотограмметрії

Сучасна цифрова фотограмметрія складається з кількох послідовних етапів:

1. Фотозйомка – отримання зображень об'єкта з різних ракурсів (рис. 1.15).

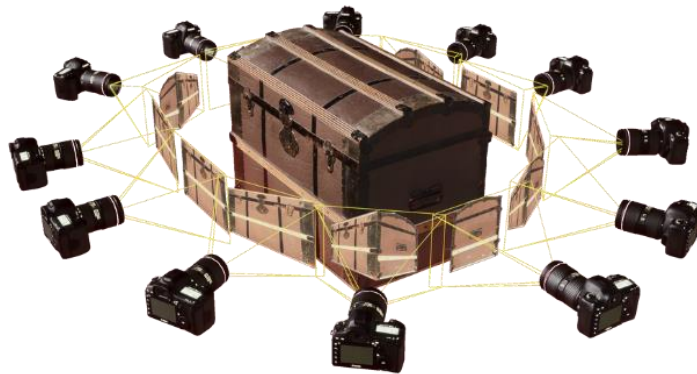


Рисунок 1.15. Процес отримання зображень об'єкта з різних ракурсів

Під час фотографування об'єкта з навколишнього світу камера реєструє світлову інформацію, що надходить через об'єктив. Ці світлові дані, які характеризують яскравість, формують фотографію або цифрове зображення. Отримане зображення є двовимірним представленням тривимірного об'єкта.

Незважаючи на свою площинність, воно зберігає важливу інформацію про перспективу, зафіксовану в момент зйомки.

2. Калібрування камери – визначення параметрів об'єктива та матриці. Калібрування камери – це процес визначення внутрішніх параметрів проєкції, зокрема фокусної відстані, координат головної точки, коефіцієнтів дисторсії.

У фотограмметрії можна застосовувати будь-який об'єктив, що забезпечує чітке зображення. Об'єктиви з фіксованою фокусною відстанню зазвичай дають вищу різкість, що є перевагою, проте зміннофокусні об'єктиви забезпечують більшу гнучкість при зйомці об'єктів різного розміру. Вибір між цими варіантами часто залежить від виробника та особливостей конкретної моделі.

Як показано на рис. 1.16, об'єктив із широким кутом огляду, розташований ближче до об'єкта, охоплює таку саму ділянку поверхні, як і об'єктив із вузьким кутом огляду, що знаходиться далі від об'єкта.

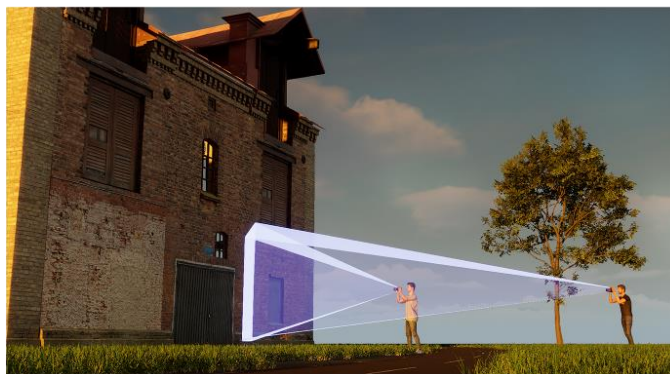


Рисунок 1.16. Порівняння кутів огляду та відстані від об'єкта

Правильне калібрування дозволяє значно зменшити похибки у побудові моделей. Більшість сучасного програмного забезпечення підтримує автоматичне або напівавтоматичне калібрування за знімками. До основних джерел похибок у фотограмметрії належать: недостатня кількість зображень, низька якість фото, погане освітлення, відсутність чітких текстур, тіні або відблиски.

Створення набору високоякісних фотографій об'єкта з різних ракурсів забезпечує повне охоплення та перекриття зображень, що є критично важливим для точного 3D-відтворення. Використання камери з високою роздільною здатністю та фіксованим фокусом, забезпечення рівномірного освітлення без

різких тіней, досягнення перекриття знімків на 80% (рис. 1.17) у всіх напрямках та зйомка в RAW-форматі для збереження максимальної інформації допоможе уникнути типових помилок, таких як розмитість, відблиски та нестача деталей, що можуть ускладнити подальшу обробку.

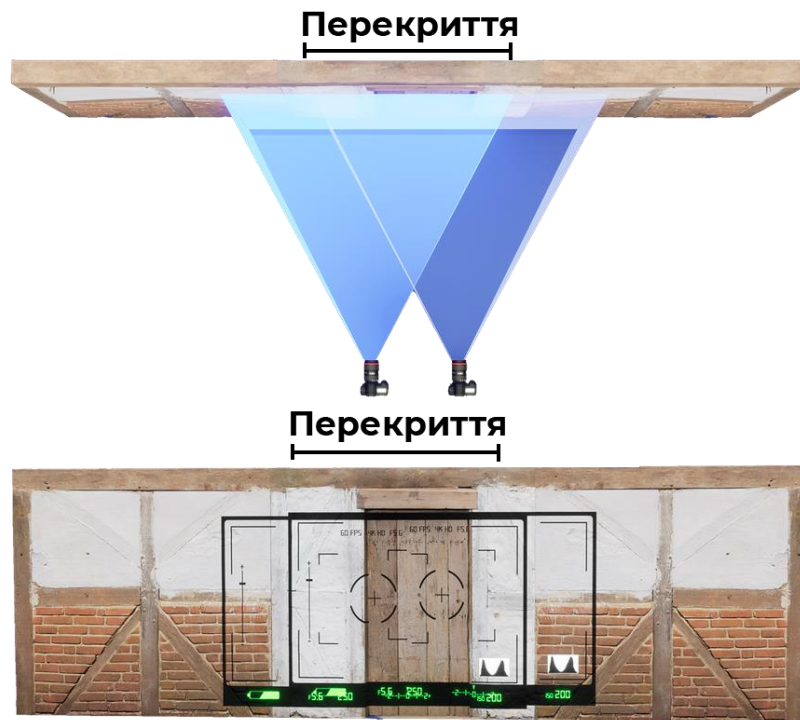


Рисунок 1.17. Перекриття між послідовними зображеннями

### 3. Вирівнювання зображень та побудова хмари точок.

Етап вирівнювання зображень у цифровій фотограмметрії є критично важливим для побудови тривимірної моделі. На цьому етапі виконується автоматичне визначення просторового положення всіх знімків, зроблених з різних ракурсів. Його головна мета – знайти просторове взаємне розташування зображень, використовуючи спільні точки, видимі на кількох знімках.

Першим кроком є виділення характерних точок на кожному зображенні. Для цього використовуються алгоритми комп'ютерного зору, такі як SIFT, SURF або ORB, які знаходять унікальні деталі – кути, текстуровані ділянки або межі об'єктів – що легко ідентифікуються на інших фотографіях тієї ж сцени.

Після цього система намагається зіставити ці точки між зображеннями. Знайдені відповідники (або збіги) дозволяють встановити, які ділянки сцени були зафіксовані з різних кутів. Ці збіги використовуються для обчислення положення

і орієнтації кожної камери у просторі. Цей процес виконується методом бандової зв'язки – математичної оптимізації, яка мінімізує похибки між точками та уточнює як положення камер, так і координати просторових точок сцени.

У результаті формується початкова тривимірна реконструкція об'єкта у вигляді розрідженої хмари точок (рис. 1.18). Кожна точка цієї хмари відповідає певному елементу сцени, який був виявлений на декількох знімках. Хоча така модель ще не є повноцінною, вона є основою для подальших етапів – створення щільної хмари точок, побудови 3D-сітки та текстурування.

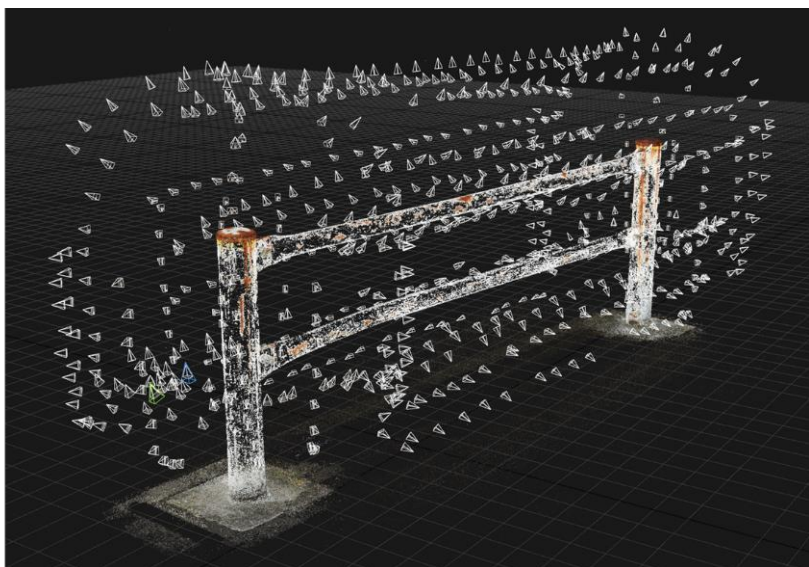


Рисунок 1.18. Розріджена хмара точок

Вирівнювання зображень має вирішальне значення для точності фінальної моделі, оскільки від правильного визначення положення камер залежить геометрична достовірність усіх наступних розрахунків. Сучасні фотограмметричні програми автоматизують цей процес, але користувач може налаштовувати параметри виявлення точок і контролювати якість вирівнювання, відкидаючи помилкові збіги чи слабко пов'язані зображення.

#### 4. Створення полігональної сітки – формування поверхні (mesh).

На етапі створення полігональної сітки у цифровій фотограмметрії виконується формування суцільної поверхні об'єкта на основі попередньо отриманої щільної хмари точок. Цей процес перетворює розрізнені просторові точки, що описують форму об'єкта, на трикутну або багатокутну сітку (mesh), яка

відтворює геометрію поверхні у цифровій формі (рис. 1.19). Саме ця сітка дозволяє візуалізувати реалістичну 3D-модель та застосовувати до неї текстури.

Під час побудови сітки алгоритм аналізує просторове розташування точок та з'єднує їх трикутниками або багатокутниками.

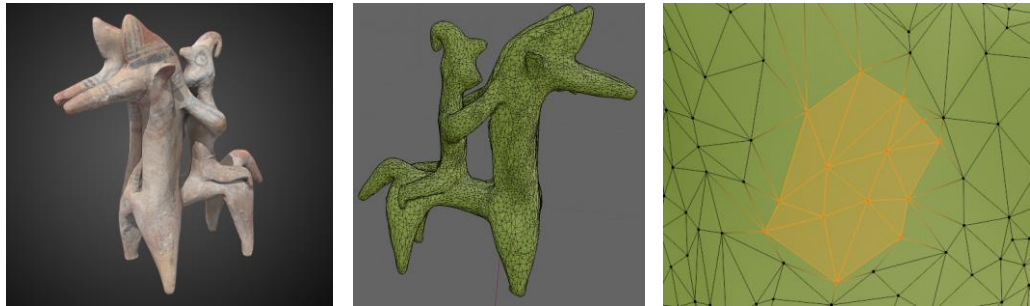


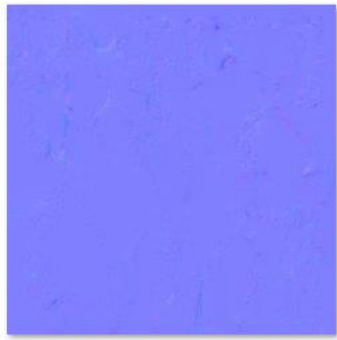
Рисунок 1.19. Полігональна сітка

Важливим аспектом є збереження топологічної узгодженості поверхні, а також плавного переходу між різними фрагментами моделі. Для цього застосовуються методи типу Delaunay триангуляції або Poisson Surface Reconstruction, які оптимізують структуру сітки з урахуванням розподілу точок.

Щільність та деталізація отриманої сітки можуть суттєво варіюватись залежно від якості хмари точок, складності геометрії об'єкта та налаштувань програмного забезпечення. У багатьох випадках сітка є надмірно деталізованою, тому після її побудови можуть застосовуватись процедури спрощення, які зменшують кількість полігонів без суттєвої втрати форми, з метою оптимізації продуктивності при візуалізації або використанні в ігрових рушіях, VR/AR, CAD чи 3D-друці.

#### 5. Текстурування – накладення зображень на модель.

Текстурування у цифровій фотограмметрії є завершальним етапом побудови 3D-моделі, на якому на полігональну сітку (mesh) накладаються кольорові зображення, отримані з фотознімків (рис. 1.20). Метою цього процесу є передача максимально реалістичного вигляду об'єкта, наближеного до того, як він виглядає у реальному житті. Текстура містить інформацію про колір, освітлення, відтінки поверхні та дрібні деталі, що неможливо точно відобразити лише за допомогою геометрії.



horse\_rider\_d355\_low\_poly\_uv\_Normal\_e\_Karte.jpg



horse\_rider\_d355\_low\_poly\_uv\_Transferierte.jpg



horse\_rider\_d355\_low\_poly\_uv\_Umgebungsverd.jpg

Рисунок 1.20. Колекція текстур проєкту

У процесі текстурування система аналізує всі наявні знімки, зіставляючи їх з геометрією моделі, та обирає найкращі ділянки зображень, які відповідають конкретним частинам поверхні. Важливою складовою є створення UV-розгортки – перетворення 3D-поверхні у двовимірну площину, на яку накладається текстура. Це забезпечує правильну відповідність кольорових пікселів зображення конкретним полігонам сітки.

Для підвищення якості візуалізації часто використовується так звана фотограмметрична мозаїка – метод комбінування кількох зображень, щоб уникнути спотворень, тіней або відблисків. Програмне забезпечення автоматично обирає знімки з найменшими артефактами, однаковим освітленням та найкращим фокусом. Результатом цього етапу є текстурована 3D-модель з реалістичним виглядом, придатна для демонстрації, аналізу або подальшої інтеграції у візуальні платформи.

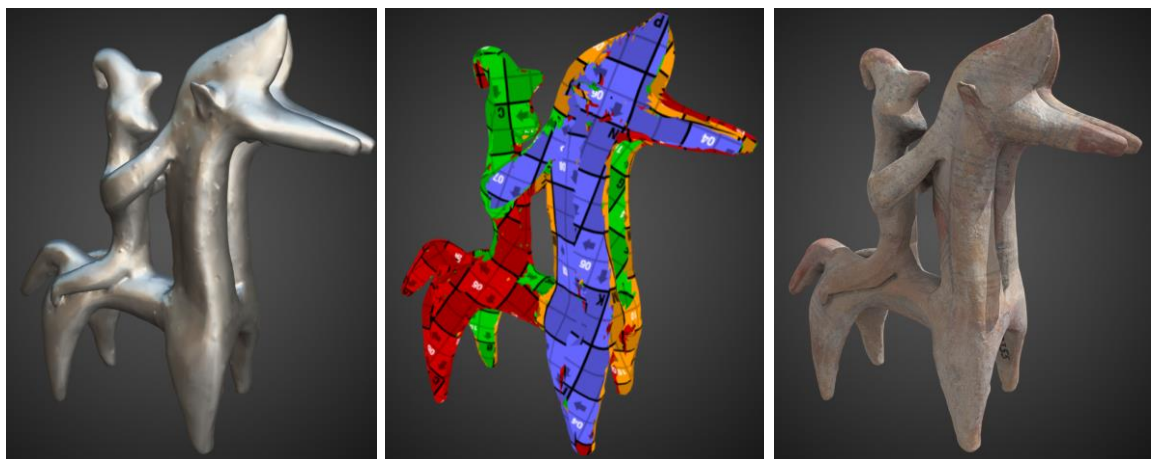


Рисунок 1.21. Процес текстурування 3D-моделі

6. Експорт – збереження моделі у форматах STL, OBJ, FBX тощо.

Експорт проекту у цифровій фотограмметрії є заключним етапом обробки, на якому підготовлена 3D-модель виводиться у формат, придатний для подальшого використання в інших програмах, системах або середовищах. Після завершення етапів вирівнювання зображень, побудови полігональної сітки та текстуровання, користувач має змогу зберегти результати роботи у різних форматах, таких як OBJ, FBX, STL, PLY, GLTF тощо – залежно від цілей подальшого застосування моделі.

На цьому етапі важливо визначити, який саме компонент проекту необхідно експортувати: це може бути лише геометрія без текстури, повністю текстурована модель, карта глибини, хмара точок або цифрова модель рельєфу. Важливо також враховувати розмір моделі, щільність сітки та якість текстур, оскільки це впливає на швидкість завантаження, продуктивність у візуалізаційних системах і загальну придатність до публікації чи друку.

Під час експорту модель може бути адаптована до специфікацій програм для архітектурної візуалізації, ігор, віртуальної чи доповненої реальності, наукового аналізу або 3D-друку. Деякі програмні пакети фотограмметрії також дозволяють оптимізувати сітку або текстури безпосередньо перед експортом – наприклад, зменшити кількість полігонів, об'єднати текстурні карти або стиснути зображення. Правильно налаштований експорт забезпечує ефективне використання отриманого цифрового об'єкта в будь-якому середовищі, від наукових досліджень до інтерактивних мультимедійних проєктів.

### **1.1.6 Основні сфери застосування цифрової фотограмметрії**

Цифрова фотограмметрія активно використовується в багатьох сферах, де необхідне точне відтворення об'єктів у тривимірному просторі. Завдяки розвитку технологій, ця галузь стала доступною не лише для науковців і інженерів, а й для митців, архітекторів та дизайнерів. Основна перевага цифрової фотограмметрії – можливість отримання детальної 3D-моделі без безпосереднього фізичного контакту з об'єктом.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Геодезія та картографія – одна з ключових галузей, де фотограмметрія застосовується для створення топографічних карт, цифрових моделей рельєфу (ЦМР), ортофотопланів. Наприклад, за допомогою безпілотників здійснюється аерофотознімання великих територій, що потім обробляються у спеціалізованих програмах (Agisoft Metashape, Pix4D тощо) для створення точних геопросторових даних.

Архітектура, культурна спадщина та реставрація – ще одна важлива сфера застосування. Фотограмметрія дозволяє відтворити цифрову копію історичних будівель, скульптур чи археологічних пам'яток (рис. 1.22). Наприклад, для збереження пам'яток ЮНЕСКО в зоні бойових дій або у випадках загрози руйнування, використовують фотограмметрію для створення точних моделей, які можна використовувати у реставраційних роботах або цифрових музеях. [5]



Рисунок 1.22. Цифрові копії українських архітектурних об'єктів

Ігрова індустрія та візуалізація віртуальної реальності широко застосовує фотограмметрію для створення реалістичних текстур і моделей. Компанії, що працюють з Unreal Engine або Unity, активно інтегрують фотограмметричні об'єкти для формування реалістичних віртуальних середовищ. Наприклад, скелі, дерева чи міські пейзажі створюють шляхом сканування реальних об'єктів. [5]

Інженерія, будівництво та моніторинг об'єктів – фотограмметрія використовується для планування будівельних робіт, перевірки деформацій споруд, аналізу технічного стану інфраструктури. У гірничій справі вона допомагає вимірювати об'єм видобутих матеріалів або контролювати зсуви ґрунтів.

Сільське господарство та екологічний моніторинг – завдяки аеро- та наземній фотограмметрії можна оцінювати стан посівів, проводити інвентаризацію лісів, моделювати рельєфні зміни внаслідок ерозії чи паводків.

Цифрова фотограмметрія є універсальним інструментом, який допомагає досліджувати, зберігати, аналізувати та візуалізувати світ у високій точності. Її застосування охоплює як технічні, так і гуманітарні дисципліни, відкриваючи нові можливості для наукових досліджень і практичних рішень.

### **1.1.7 Обмеження у застосуванні цифрової фотограмметрії**

Цифрова фотограмметрія, попри численні переваги, має низку обмежень, які варто враховувати при її застосуванні. Одним із основних обмежень є висока чутливість до якості вихідних знімків. Якщо фотографії зроблені при поганому освітленні, з великою кількістю шуму, з неякісною фокусуванням або з неточною експозицією, це суттєво ускладнює процес вирівнювання знімків та побудову якісної 3D-моделі. Як зазначає команда Skeiron у своєму блозі, навіть мікроскопічна розмитість або перевитримка кадру можуть знизити якість результату або зруйнувати його повністю.

Ще одне обмеження – об'єкти зі слабо вираженою текстурою або блискучими, прозорими чи однорідними поверхнями. Скло, метал, вода або блискучий пластик відбивають світло, що заважає точному розпізнаванню спільних точок на знімках. Фотограмметрія базується на аналізі контрастних елементів, тому поверхні без достатнього візуального шуму (наприклад, рівно пофарбована біла стіна) можуть бути некоректно відтворені або зовсім «випасти» з моделі.

Крім того, цифрова фотограмметрія вимагає великих обчислювальних ресурсів. Обробка сотень високоякісних знімків, побудова щільної хмари точок, сітки та текстуризація потребують сучасного та продуктивного обладнання з потужною відеокартою, значним обсягом оперативної пам'яті та великим вільним простором на диску. Це може бути недоступно для ентузіастів або малих команд без відповідної технічної бази.

Ще один важливий аспект – складність точного масштабування та геоприв'язки моделей без додаткових вимірювань або наземних контрольних точок (GCP). У проектах, де потрібна висока метрична точність (наприклад, в геодезії або інженерних дослідженнях), цифрову фотограмметрію необхідно доповнювати іншими засобами, як-от лазерне сканування або GNSS-вимірювання.

Нарешті, слід згадати і високу вимогливість до організації зйомки. Правильне перекриття кадрів, рівномірне освітлення, фіксація камери, постійна фокусна відстань – усе це потребує досвіду і планування. Без дотримання технічних стандартів якісний результат неможливий.

Таким чином, незважаючи на широкі можливості, цифрова фотограмметрія має низку технічних, фізичних і програмних обмежень, які впливають на якість результату. Врахування цих факторів є обов'язковим для досягнення точності та візуальної достовірності 3D-моделей.

## **1.2 Огляд програмного забезпечення**

Для обробки фотограмметричних даних існує широкий спектр програмного забезпечення, як платного, так і з відкритим кодом: Agisoft Metashape, RealityCapture, Meshroom, 3DF Zephyr та Pix4D. Розглянемо їх більш детально.

### **1.2.1 Agisoft Metashape**

Agisoft Metashape – це одна з найпопулярніших програм для реалізації технології цифрової фотограмметрії, яка широко використовується для створення високоточних тривимірних моделей на основі звичайних фотографій. Програмне забезпечення дозволяє автоматизовано обробляти серії знімків, отриманих з камер або дронів, і перетворювати їх у детальні 3D-моделі з можливістю подальшого аналізу, візуалізації та експорту (рис. 1.23).

Metashape виступає потужним інструментом, який охоплює всі основні етапи обробки: вирівнювання зображень, побудову хмари точок, створення полігональної сітки, накладення текстур та експорт готової моделі. Особливістю цієї програми є можливість працювати як з дрібними об'єктами (археологічними

артефактами, елементами дизайну), так і з великими територіями, включаючи ландшафти або архітектурні об'єкти.

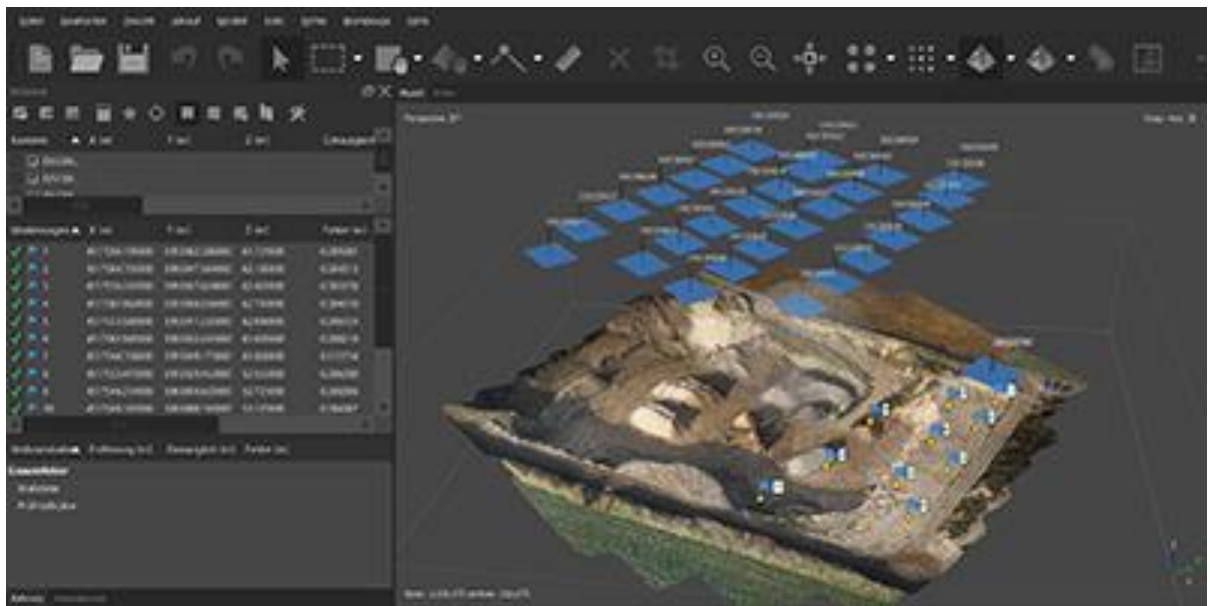


Рисунок 1.23. Вікно програми Agisoft Metashape

Agisoft Metashape підтримує використання геоданих, маркерів та GPS-координат, що дозволяє отримувати геоприв'язані моделі з високою точністю. Це робить програму незамінною в інженерних, архітектурних, геодезичних, екологічних та історико-культурних дослідженнях. Крім того, Metashape дозволяє створювати ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу, DEM (Digital Elevation Models) і проводити просторові вимірювання.

Завдяки інтуїтивному інтерфейсу, широкій функціональності й високій якості обробки, Agisoft Metashape є ефективною платформою для реалізації досліджень, пов'язаних із застосуванням фотограмметрії для отримання точних і деталізованих 3D-моделей реального світу.

До основних переваг Agisoft Metashape можна віднести:

- Потужна та точна фотограмметрична обробка знімків.
- Підтримка багатьох типів вихідних даних: 3D-моделі, ортофотоплани, DEM, хмари точок.
- Доступний скриптовий інтерфейс (Python) для автоматизації.
- Працює без підключення до інтернету, повністю автономна програма.
- Добре підходить для наукових, археологічних і геодезичних досліджень.

Основними недоліками Agisoft Metashape є:

- Відносно висока ціна (особливо для професійної ліцензії).
- Інтерфейс менш інтуїтивний для початківців.
- Важке навантаження на ресурси комп'ютера при обробці великих наборів зображень.

### 1.2.2 RealityCapture

RealityCapture – це високопродуктивне програмне забезпечення для фотограмметрії, яке використовується для створення надзвичайно точних 3D-моделей із серій знімків або сканів. Розроблена компанією Capturing Reality (тепер входить до Epic Games), ця платформа поєднує передові алгоритми з високою швидкістю обробки, що робить її популярною у сферах архітектури, археології, відеоігор, кіноіндустрії, інженерії та геодезії. Вікно програми RealityCapture наведено на рис. 1.24.

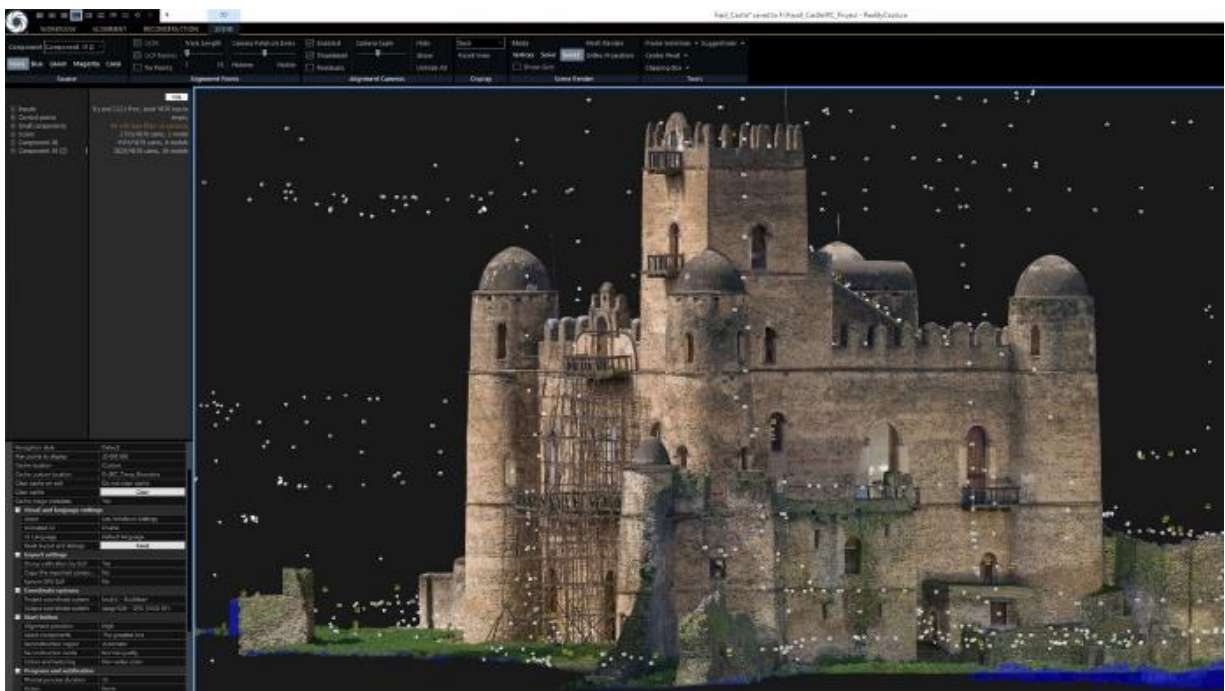


Рисунок 1.24. Вікно програми RealityCapture

RealityCapture пропонує повний цикл обробки – від імпорту зображень до фінального експорту 3D-моделі. Особливою перевагою є автоматичне знаходження відповідних точок між зображеннями, точне вирівнювання кадрів, генерація щільної хмари точок і полігональної сітки. Алгоритми RealityCapture

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

оптимізовані таким чином, що дозволяють обробляти великі набори даних за короткий час без втрати точності.

Програма також підтримує поєднання даних з фотозйомки та лазерного сканування (LiDAR), що дозволяє досягати максимальної деталізації. Потужний модуль текстурювання забезпечує фотореалістичне покриття моделі, зберігаючи кольори та дрібні особливості поверхонь. Це критично важливо у візуалізації об'єктів для культурної спадщини, 3D-сканування пам'яток, об'єктів інфраструктури чи природного середовища.

RealityCapture також інтегрується з ігровими рушіями, як-от Unreal Engine, що робить її надзвичайно цінною для створення віртуальних середовищ. У дослідженнях, спрямованих на аналіз об'єктів, реконструкцію сцен або картографування територій, ця програма забезпечує швидке отримання високоточних моделей, що дає змогу ефективно проводити цифрову реконструкцію реального світу.

До основних переваг RealityCapture можна віднести:

- Дуже швидка обробка великих масивів зображень.
- Висока точність при формуванні 3D-моделей та текстур.
- Добре інтегрується з іншими системами (ігровими рушіями, CAD).
- Можливість обробки лазерного сканування та знімків одночасно.

Основними недоліками RealityCapture є:

- Працює лише в Windows.
- Модель ліцензування за кількістю зображень може бути незручною для деяких користувачів.

### 1.2.3 Meshroom

Meshroom – це безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом для фотограмметрії, створене на базі бібліотеки AliceVision. Його головна особливість – повністю візуальний підхід до створення 3D-моделей із фотографій. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу, Meshroom дозволяє дослідникам, художникам та інженерам швидко реалізувати повний цикл побудови 3D-моделі – від імпорту зображень до експорту готового результату (рис. 1.25).

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

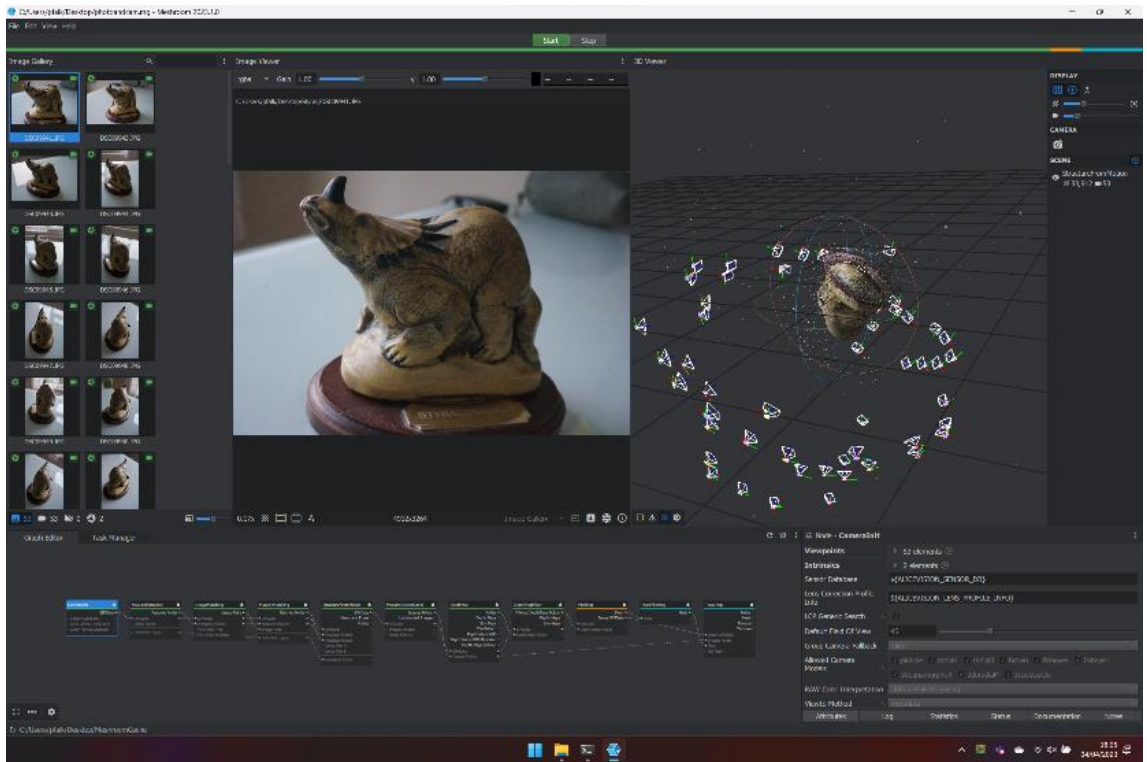


Рисунок 1.25. Вікно програми Meshroom

Meshroom демонструє, як сучасні алгоритми комп'ютерного зору можна поєднати в єдиному процесі. Програма автоматично визначає точки відповідності на зображеннях, вирівнює їх у просторі, обчислює структуру сцен, генерує хмару точок, сітку (mesh) та текстуру. Користувач має змогу бачити й налаштовувати кожен етап через графічний вузловий редактор, що дозволяє гнучко адаптувати процес під потреби конкретного дослідження або об'єкта.

Хоча Meshroom потребує якісних вхідних даних – бажано знімків із фіксованою фокусною відстанню та гарною освітленістю – вона здатна створювати точні й деталізовані 3D-моделі без використання дорогого обладнання. Це робить її ідеальним інструментом для наукових і навчальних цілей, особливо коли бюджет обмежений, але необхідна висока якість результатів. У процесі вивчення фотограмметрії Meshroom дозволяє отримати глибше розуміння алгоритмів реконструкції сцени, водночас забезпечуючи практичні результати для подальшого аналізу або візуалізації.

До основних переваг Meshroom можна віднести:

- Повністю безкоштовна програма з відкритим кодом.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- Добра інтеграція з Blender та іншими програмами з відкритим кодом.
- Працює на базі потужного фотограмметричного ядра AliceVision.

Основними недоліками Meshroom є:

- Потрібна відеокарта NVIDIA з підтримкою CUDA.
- Немає офіційної підтримки геоприв'язки та наземних контрольних точок.
- Нижча точність і стабільність порівняно з комерційними продуктами.
- Обмежена технічна підтримка (через відкритий характер проєкту).

### 1.2.4 3DF Zephyr

3DF Zephyr – це потужне програмне забезпечення для фотограмметрії, яке дозволяє автоматично створювати 3D-моделі з фотографій, не потребуючи спеціальних навичок у сфері комп'ютерного зору чи 3D-моделювання. Його розробником є компанія 3Dflow (Італія), і програма поєднує зручний інтерфейс (рис. 1.26) з високоточними алгоритмами реконструкції, що робить її затребуваною як у професійному середовищі, так і в наукових дослідженнях.

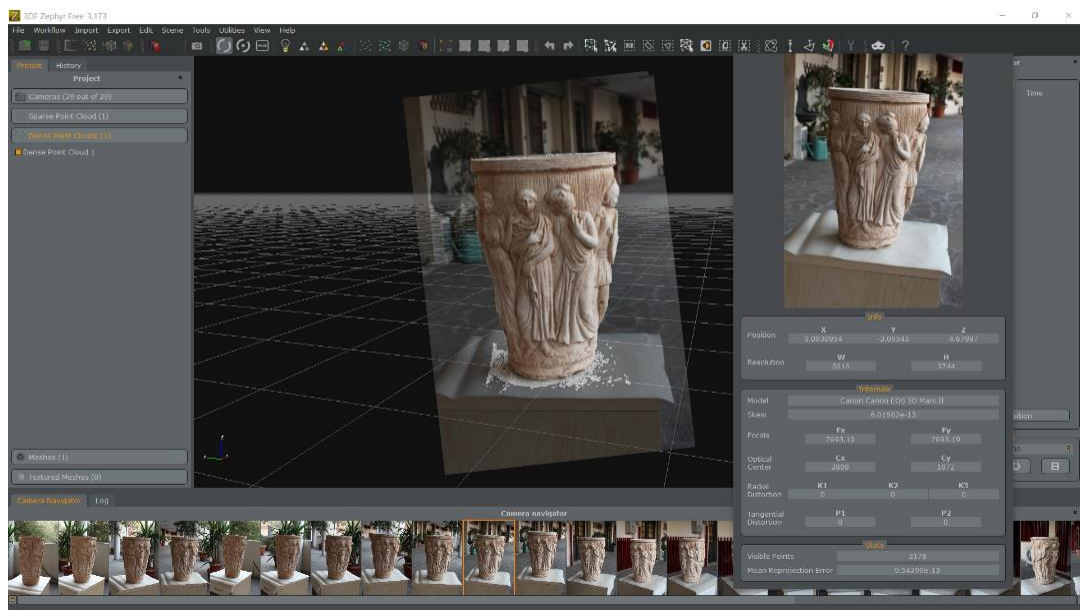


Рисунок 1.26. Вікно програми 3DF Zephyr

3DF Zephyr демонструє весь спектр можливостей цифрової реконструкції об'єктів: від завантаження зображень, вирівнювання кадрів, побудови хмари точок і сітки – до текстурювання та експорту моделі. Особливу увагу в програмі

приділено контролю точності та ручному налаштуванню етапів, що дозволяє досягати більшого контролю над результатами, порівняно з повністю автоматизованими рішеннями.

Zephyr підтримує імпорт зображень із різних джерел (включно з дронів і мобільних пристроїв), а також має функціонал для калібрування камери, що важливо для підвищення точності моделі. Крім того, у програмі є інструменти для вимірювань, ортотрансформації, масштабування моделі та редагування сітки, що дозволяє використовувати її в інженерії, археології, культурній спадщині та географічних дослідженнях.

3DF Zephyr виступає як інструмент, який поєднує наукову точність із практичністю, дозволяючи глибше зрозуміти, як фотограмметричні дані перетворюються на цифрові 3D-репрезентації реальних об'єктів.

До основних переваг 3DF Zephyr можна віднести:

- Має безкоштовну версію з базовим функціоналом.
- Висока якість моделей і точне текстурування.
- Гнучкі інструменти для редагування хмари точок та сітки.

Основними недоліками 3DF Zephyr є:

- Суттєві обмеження функціоналу в безкоштовній версії.
- Менш популярна в науковому середовищі, ніж Agisoft чи Pix4D.

### 1.2.5 Pix4D

Pix4D – це один із провідних програмних продуктів у сфері фотограмметрії, який широко застосовується для створення точних 3D-моделей і ортофотопланів із зображень, отриманих з дронів, камер або мобільних пристроїв. Його розробником є швейцарська компанія Pix4D SA, що спеціалізується на рішеннях для просторової реконструкції та аналізу. Програма особливо цінується в геодезії, будівництві, сільському господарстві, картографії та моніторингу інфраструктури.

Pix4D вирізняється можливістю точної геоприв'язки результатів до реальної місцевості, завдяки інтеграції з GPS-даними та використанню контрольних точок на місцевості. Процес моделювання в Pix4D включає автоматичне вирівнювання

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

зображень, побудову щільної хмари точок, створення полігональної сітки, текстурування та подальший експорт моделі у популярних 3D-форматах.

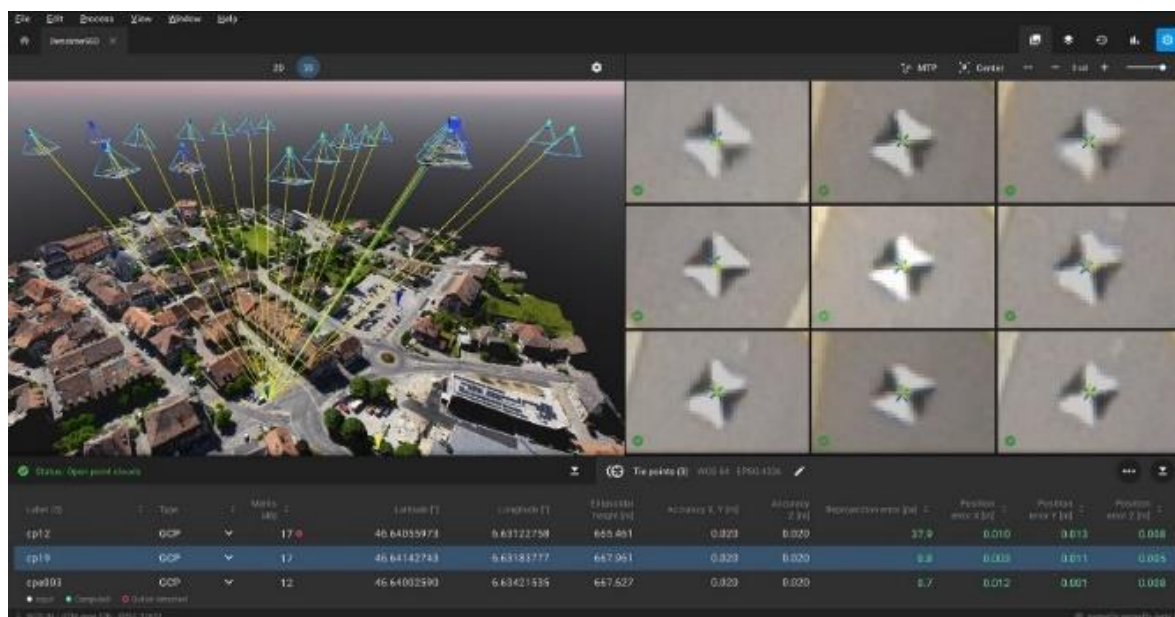


Рисунок 1.27. Вікно програми Pix4D

Pix4D надає також гнучкі можливості для редагування моделі, а спеціалізовані модулі (Pix4Dmapper, Pix4Dfields, Pix4Dsurvey тощо) дозволяють адаптувати програму під конкретні галузі. Наприклад, Pix4Dmapper використовується для картографування й моделювання рельєфу, тоді як Pix4Dfields орієнтований на аграрну аналітику.

Загалом Pix4D є ефективним і надійним інструментом для фотограмметричних досліджень, що дозволяє проводити просторовий аналіз об'єктів і територій з високою точністю, забезпечуючи наукову достовірність результатів у поєднанні з автоматизованим і зручним для користувача інтерфейсом.

До основних переваг Pix4D можна віднести:

- Найбільш орієнтована на професійне використання з дронами.
- Висока точність і можливість обробки GPS-даних та контрольних точок.
- Різні спеціалізовані модулі: для агросектора, будівництва, топографії.
- Потужні можливості для створення ортофотопланів, DEM та аналізу місцевості.

Основними недоліками Pix4D є:

- Дуже дорога ліцензія (одна з найдорожчих на ринку).
- Деякі модулі продаються окремо, що підвищує загальну вартість.
- Потребує стабільного інтернет-з'єднання для частини функцій.

### 1.2.6 Обґрунтування вибору засобів обробки фотограмметричних даних

На основі проведеного порівняльного аналізу програмного забезпечення для фотограмметрії (таблиця 1.1), вибір RealityCapture як основного засобу обробки фотограмметричних даних є обґрунтованим з кількох ключових причин.

Таблиця 1.1. Порівняльна таблиця засобів обробки фотограмметричних даних

Програма	Ціна	Якість моделей	Швидкість	Легкість використання	Підтримка ГІС	ОС
Metashape	Висока	Висока	Середня	Середня	Так	Win, Mac, Linux
RealityCapture	Висока / ліцензія за фото	Дуже висока	Дуже висока	Середня	Обмежена	Win
Meshroom	Безкоштовна	Середня	Середня	Висока	Ні	Win, Linux
3DF Zephyr	Безкоштовна / платна	Висока	Середня	Висока	Обмежена	Win
Pix4D	Дуже висока	Дуже висока	Висока	Середня	Так	Win, Mac

По-перше, RealityCapture демонструє одну з найвищих швидкостей обробки зображень серед усіх розглянутих програм. Це особливо важливо при роботі з великими наборами знімків, коли час обробки суттєво впливає на загальну ефективність проекту. Завдяки оптимізованим алгоритмам програма швидко виконує вирівнювання зображень, побудову хмари точок, формування сітки та текстурування.

По-друге, якість отриманих 3D-моделей у RealityCapture залишається на високому професійному рівні. Програма дозволяє створювати детальні моделі з високою точністю, зберігаючи текстуру, геометрію та масштаб об'єкта. Це особливо корисно для проектів, що потребують точності, наприклад, в архітектурі, культурній спадщині або віртуальній реконструкції.

Крім того, RealityCapture підтримує комбіновану обробку фотографій і даних лазерного сканування, що розширює її функціональність і робить її придатною для мультисенсорних проєктів. Це дає змогу інтегрувати дані з різних джерел і підвищити якість фінального результату.

Ще однією перевагою є інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що хоча і потребує певного ознайомлення, але загалом є зручним для користувачів середнього рівня. При цьому програма забезпечує широкі можливості експорту даних у форматах, сумісних з іншими платформами (Unreal Engine, Blender, GIS-системи тощо).

Хоча ліцензування RealityCapture має певні обмеження (наприклад, оплата за кількість зображень), у межах дослідницького чи освітнього проєкту з обмеженим обсягом вхідних даних це не створює серйозних перешкод. Навпаки – дає можливість отримати доступ до одного з найпотужніших інструментів фотограмметрії без високих одноразових витрат.

Таким чином, RealityCapture поєднує високу продуктивність, точність, швидкість та гнучкість, що робить її оптимальним вибором для реалізації проєктів зі створення тривимірних моделей на основі фотограмметричних даних. Тому саме RealityCapture буде використовуватися у якості засобу обробки фотограмметричних даних.

## **1.3 Тривимірна реконструкція об'єкта реального світу за допомогою фотограмметрії**

### **1.3.1 Визначення структури проєкту**

Розробка моделі IDEF0 для процесу тривимірної реконструкції об'єкта реального світу методом фотограмметрії є важливим етапом структуризації та формалізації цього складного багатокрокового процесу. IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) – це методологія функціонального моделювання, яка дозволяє описати й візуалізувати діяльність будь-якої системи у вигляді логічних блоків, що показують входи, виходи, механізми та керуючі впливи. Її застосування до фотограмметрії дозволяє чітко визначити межі процесу, ключові дії, ресурси та умови, за яких виконується реконструкція. Модель IDEF0

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

тривимірної реконструкції об'єкта реального світу методом фотограмметрії наведено на рис. 1.28.



Рисунок 1.28. Модель IDEF0 тривимірної реконструкції об'єкта реального світу методом фотограмметрії

Визначення структури проекту (Work Breakdown Structure – WBS) для тривимірної реконструкції об'єкта за допомогою фотограмметрії в RealityCapture є ключовим етапом планування, який дозволяє логічно розбити складний процес на керовані компоненти. Структура WBS, представлена на рис. 1.29, забезпечує послідовність дій і дозволяє контролювати ресурси, терміни виконання та якість кожного етапу.

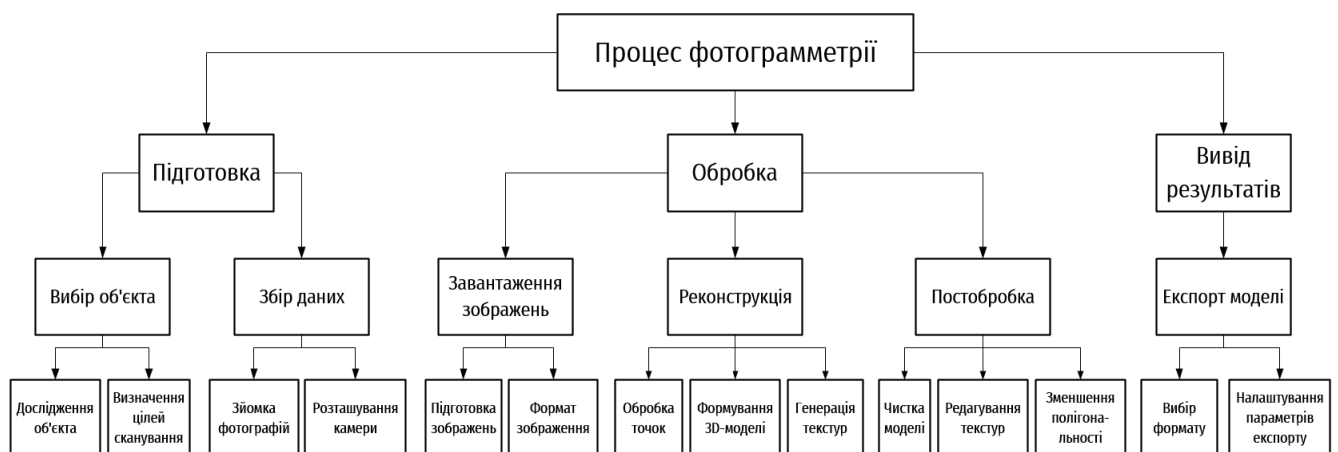


Рисунок 1.29. WBS структура проекту тривимірної реконструкції об'єкта реального світу за допомогою фотограмметрії

Перший рівень WBS охоплює основні фази проєкту: підготовка, обробка фотограмметричних зображень та вивід результату. На другому рівні деталізуються конкретні завдання в межах кожної фази. Наприклад, у фазі підготовки – вибір об’єкта, де досліджується об’єкт щоб спланувати маршрут зйомки. У фазі збору даних – фотозйомка об’єкта з перекриттям кадрів не менше 60–80%, перевірка якості зображень і попередня фільтрація фото.

На етапі обробки даних у RealityCapture WBS включає завантаження фото, вирівнювання зображень (alignment). На етапі реконструкції WBS включає генерацію щільної хмари точок, побудову 3D-мешу та текстуровання. Фаза постобробки може включати чистку моделі, редагування текстур, зменшення полігональності (decimation) для подальшого використання в реальному часі. Завершальна фаза – експорт моделі у потрібному форматі (.obj, .fbx, .glb), налаштування параметрів експорту та інтеграція в інші платформи (наприклад, Unreal Engine чи Sketchfab).

Застосування WBS дозволяє систематизувати процес створення 3D-моделі, мінімізувати помилки та забезпечити послідовне виконання робіт як для одного, так і для кількох виконавців.

### 1.3.2 Розробка методики фотограмметричної зйомки об’єкта

Перш ніж розпочати експериментальне 3D-сканування, важливо вибрати об’єкт, придатний до тривимірної реконструкції за допомогою фотограмметрії. Об’єкт повинен мати чітку текстуру, бути матовим і не змінювати форму (рис. 1.30).



Рисунок 1.30. Об’єкт для проведення тривимірної реконструкції

Фотограмметрична зйомка за допомогою камери смартфона – це доступний і ефективний спосіб створення 3D-моделей реальних об'єктів. Для досягнення якісного результату важливо дотримуватись послідовної методики, яка включає кілька ключових етапів: підготовку до зйомки, сам процес зйомки, передобробку знімків та імпорт у програмне забезпечення для побудови моделі.

На етапі підготовки особливу увагу слід приділити освітленню. Об'єкт має бути рівномірно освітлений природним розсіяним або м'яким штучним світлом. Необхідно уникати різких тіней, пересвітів чи яскравих плям. Фон має бути статичним і неконтрастним, щоб увага фокусувалась на об'єкті. Для зменшення тремтіння зображення рекомендується знімати з обох рук або використовувати штатив.

Смартфон, що використовується для зйомки, повинен мати камеру з роздільною здатністю не менше 12 мегапікселів, бажано з підтримкою ручного керування експозицією, фокусом та ISO. Якщо це можливо, слід знімати у форматі RAW або JPEG високої якості. У налаштуваннях бажано вимкнути автоматичну зміну параметрів експозиції та балансу білого, щоб усі кадри були максимально однорідними.

Зйомку об'єкта потрібно проводити по колу з кількома рівнями висоти (наприклад, низ, середина, верх), щоб камера охоплювала об'єкт з різних кутів. Кожне наступне фото має перекривати попереднє щонайменше на 60–80%. Відстань до об'єкта бажано зберігати сталою, залежно від розміру об'єкта. Камера повинна бути перпендикулярна до поверхні об'єкта або злегка нахилена, але під стабільним кутом (рис. 1.31).

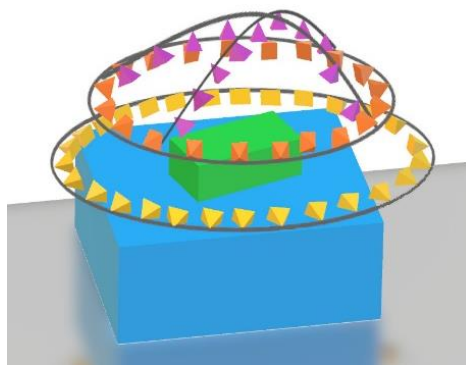


Рисунок 1.31. Схема знімального процесу

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Після завершення зйомки варто переглянути всі зображення та видалити розмиті або некоректні кадри. У разі потреби, в графічному редакторі можна виконати базову корекцію – наприклад, вирівнювання експозиції або обрізання зайвих частин кадру. Ці дії покращують якість подальшої 3D-реконструкції.

### 1.3.3 Розробка алгоритму роботи в RealityCapture

На початку розробки до проєкту завантажуються фотографії об'єкта, зроблені з різних ракурсів. Програма підтримує популярні формати зображень, зокрема JPEG, PNG та TIFF. Основна вимога – щоб усі знімки мали хорошу якість, без розмиття, відблисків і сильних тіней. Фотографії повинні частково перекриватися між собою, щоб RealityCapture могла знайти спільні ознаки.

Зображення можуть містити EXIF-дані (Exchangeable Image File Format) – метадані, що автоматично записується камерою. EXIF-дані включають фокусну відстань, модель камери, геолокацію, значення діафрагми тощо. Вони допомагають програмі оцінити положення камери під час знімання і можуть полегшити процес вирівнювання знімків.

На етапі виявлення ознак (Feature Detection) RealityCapture аналізує кожне зображення й виявляє характерні точки – унікальні візуальні ознаки (features), такі як кути, контрасти, грані, деталі текстури. Це основа подальшого розпізнавання спільних ділянок між фотографіями.

Для цього зазвичай застосовуються алгоритми SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), який наведено на рис. 1.32, або його спрощені варіанти.

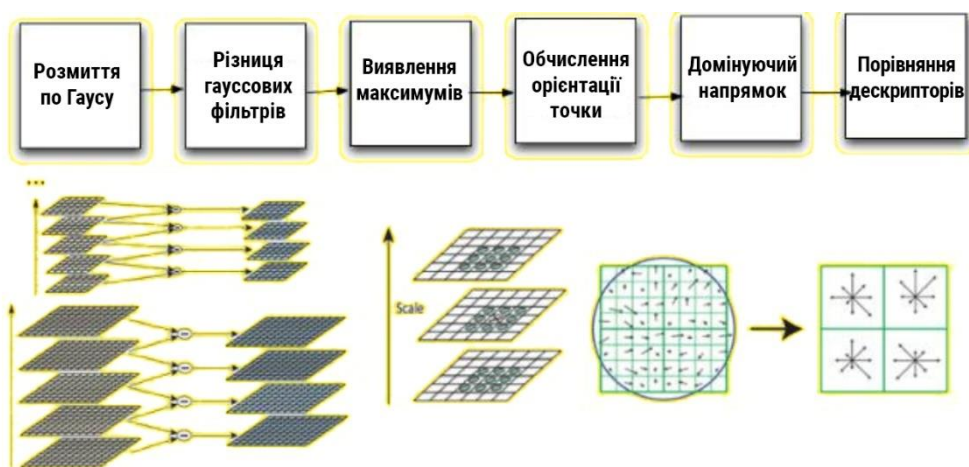


Рисунок 1.32. Алгоритм SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)

Алгоритм SIFT працює так:

1. Виявлення ключових точок на різних масштабах. Зображення розмивається та зменшується, утворюючи піраміду зображень. На кожному рівні алгоритм шукає екстремальні точки (максимуми та мінімуми) у різниці гаусових фільтрів (DoG – Difference of Gaussians).

2. Визначення точної позиції ключових точок. Виявлені точки уточнюються, відкидаються ті, що мають низьку контрастність або знаходяться на краях.

3. Обчислення орієнтації точки. Для кожної точки визначається домінантна орієнтація за допомогою градієнтів у її околі. Це робить дескриптори інваріантними до повороту.

4. Формування дескрипторів (feature vector). У навколишньому регіоні точки обчислюється набір гістограм градієнтів. Ці дані формують вектор ознак (звичайно 128 елементів), який описує локальну текстуру.

5. Порівняння дескрипторів між зображеннями. Дескриптори зображень порівнюються між собою, щоб знайти відповідні точки – це дозволяє встановити зв'язки між різними фото одного об'єкта.

SIFT є стійким до масштабування, повороту, зміни освітлення і частково – до шуму та зміни перспективи, що робить його надійним для фотограмметрії.

Ці методи створюють дескриптори – векторні описи кожної ознаки, які дозволяють зіставляти подібні точки між зображеннями. Дескриптори повинні бути інваріантними до масштабу, повороту, яскравості тощо, аби забезпечити стабільність відповідностей.

RealityCapture порівнює дескриптори, знайдені на різних фотографіях, і виявляє пари спільних точок – так звані *keypoint matches*. Це дозволяє зіставити ознаки та визначити, які частини об'єкта були захоплені на кількох знімках.

Для відсіву помилкових збігів використовується метод RANSAC (Random Sample Consensus). Це ітеративний алгоритм, який шукає найкращу модель відповідностей, відкидаючи аномальні або помилкові збіги. В результаті створюється граф відповідностей між зображеннями – це структура, яка вказує, які кадри пов'язані між собою спільними точками.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

На наступному етапі здійснюється вирівнювання зображень. Цей етап використовує техніку SfM (Structure-from-Motion) – відновлення 3D-положення камер та структури сцени на основі плоских зображень. Програма обчислює позиції всіх камер у тривимірному просторі, тобто реконструює, з якого місця і під яким кутом було зроблено кожен кадр.

Водночас RealityCapture формує розріджену хмару точок (Sparse Point Cloud) – перші приблизні просторові координати точок об'єкта. Для точності проводиться налаштування пучка (Bundle Adjustment) – це оптимізація всіх параметрів камер і точок у хмарі з використанням методів найменших квадратів.

Далі програма будує щільну хмару точок (Dense Reconstruction). На базі вирівняних камер програма розраховує глибинні карти (depth maps) – зображення, які містять інформацію про відстань до кожного пікселя на поверхні об'єкта. Ці карти створюються для кожної камери окремо, а потім зливаються в єдину щільну хмару точок (Dense Point Cloud), що відтворює форму об'єкта значно детальніше, ніж розріджена (рис. 1.33).

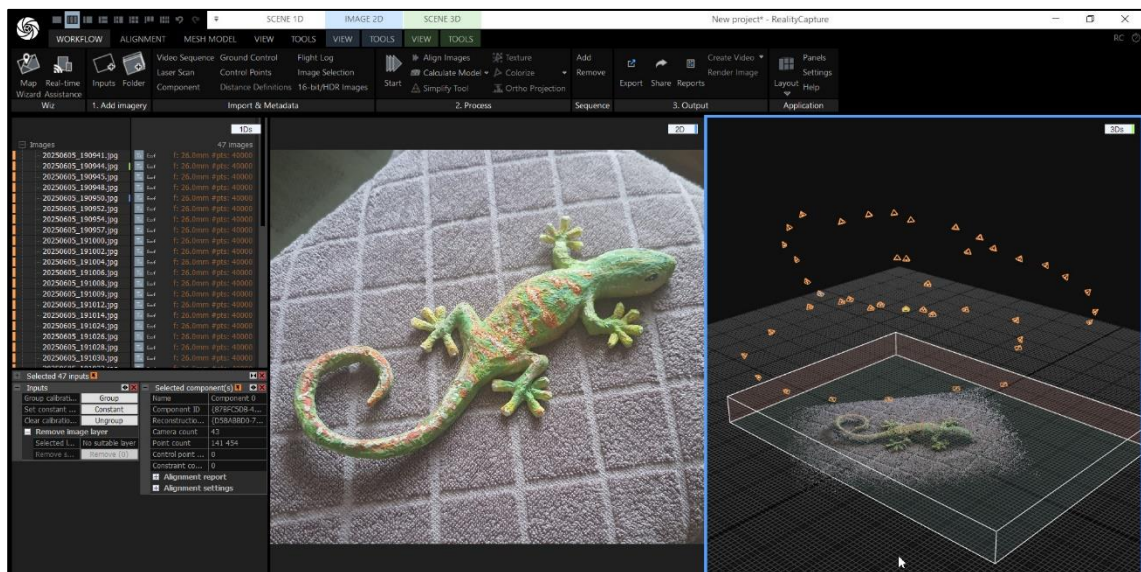


Рисунок 1.33. Побудова хмари точок у RealityCapture

Цей етап є ресурсоємним, тому для якісної роботи бажано мати графічну карту з щонайменше 6–8 ГБ відеопам'яті. Якщо пам'яті недостатньо, RealityCapture дозволяє зменшити роздільну здатність depth maps або обробляти модель поетапно.

На основі щільної хмари точок генерується полігональна сітка (mesh) – поверхня, складена з трикутників, яка відтворює форму об’єкта. RealityCapture використовує алгоритми реконструкції поверхні Пуассона (Poisson Reconstruction) та триангуляції Делоне (Delaunay Triangulation) для автоматичного з’єднання точок у сітку.

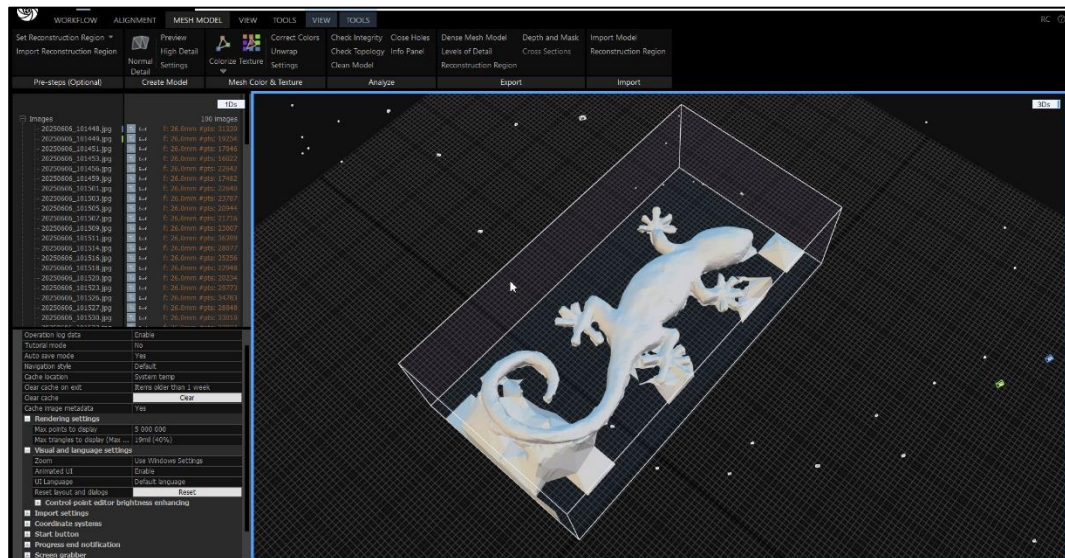


Рисунок 1.34. Генерація полігональної сітки у RealityCapture

Після побудови сітка очищується: усуваються шумові артефакти, зашиваються отвори, спрощується топологія (рис. 1.35). Також на цьому етапі можна виконати зменшення кількості полігонів (decimation) для полегшення подальшої обробки чи виводу в ігрові рушії.

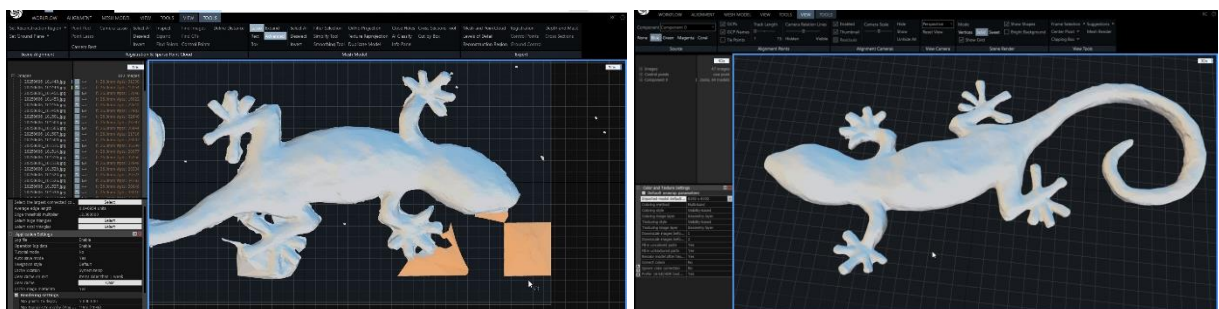


Рисунок 1.35. Застосування команди Filter Selection для очищення сітки

Далі здійснюється текстурування (Texturing). Програма проєктує кольори з фотографій на поверхню 3D-сітки, створюючи реалістичну текстуру (texture). Перед цим формується UV-розгортка – 2D-проєкція 3D-моделі, яка дозволяє точно накласти зображення на поверхню об’єкта.

У результаті отримується кольорова модель (рис. 1.36), яка може містити одну або кілька текстурних карт. RealityCapture оптимізує UV-мапи, забезпечуючи баланс між роздільною здатністю, деталізацією та розміром файлів.



Рисунок 1.36. Текстурування у RealityCapture

Після завершення усіх обчислень модель експортується в один із поширених форматів: OBJ (Wavefront Object), FBX (Filmbox), GLTF (GL Transmission Format) або STL (STereoLithography) – залежно від подальшого застосування.

Разом із геометрією експортуються й текстури у форматі PNG або JPEG. Це дозволяє використовувати модель у 3D-редакторах (Blender, Maya), ігрових рушіях (Unreal Engine, Unity) або CAD-системах.

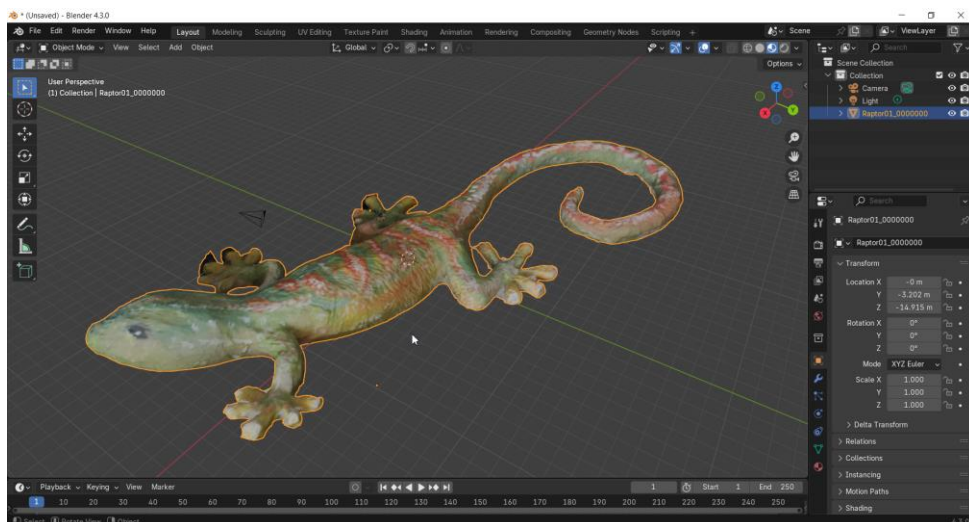


Рисунок 1.37. Імпорт отриманої 3D моделі у Blender

Імпорт готової 3D-моделі на Sketchfab дозволяє представити результат у зручному та доступному форматі для перегляду, поширення або інтеграції в інші проекти.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Після побудови та оптимізації 3D-моделі (включно з текстуруванням і конвертацією у формати, підтримувані Sketchfab, наприклад .glb, .gltf, .obj, .fbx), користувач може увійти в свій обліковий запис на платформі Sketchfab і завантажити модель через вебінтерфейс або безпосередньо з RealityCapture або Blender, які підтримують прямий експорт.

Під час імпорту користувач додає назву, опис, теги, налаштовує освітлення, матеріали та параметри взаємодії для перегляду в браузері (рис. 1.38).

Рисунок 1.38. Імпорт отриманої 3D моделі на Sketchfab

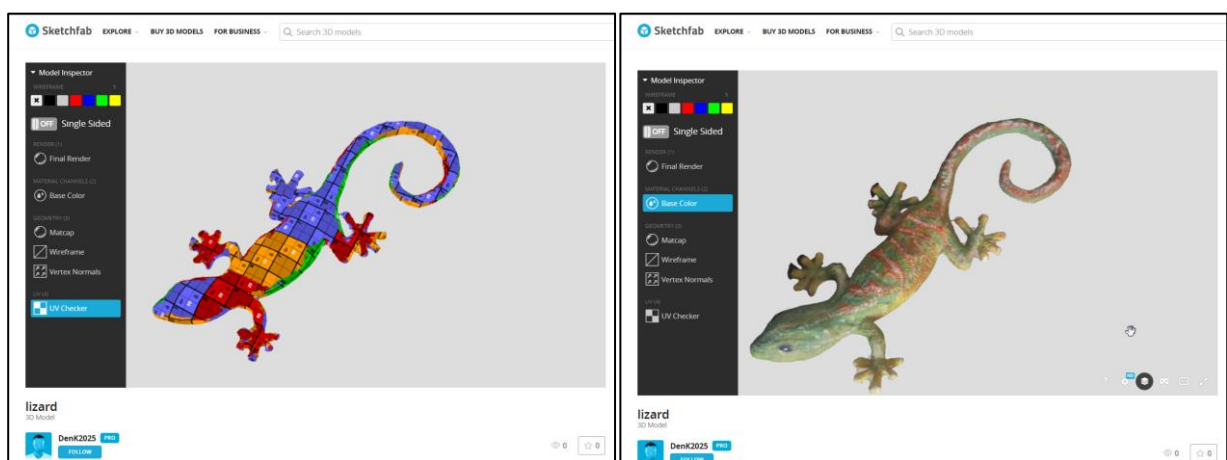


Рисунок 1.39. Публікація готової 3D моделі на Sketchfab

Після публікації модель стає доступною для перегляду на будь-якому пристрої, наприклад, за QR-кодом (рис. 1.40).

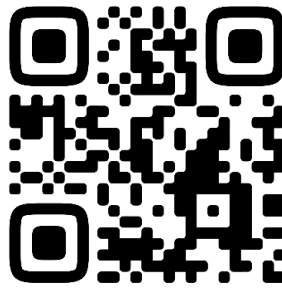


Рисунок 1.40. Доступ до готової 3D моделі на Sketchfab

## 1.4 Аналіз результатів

### 1.4.1 Оцінка якості 3D-моделі

Оцінка якості 3D-моделі, отриманої методом цифрової фотограмметрії у RealityCapture, базується на кількох ключових параметрах. Перш за все, аналізується геометрія об'єкта – перевіряється точність переданої форми, деталізація сітки, а також наявність дефектів, таких як отвори або артефакти. Наприклад, у моделі ящірки на Sketchfab збережено дрібні анатомічні деталі, а форма тіла відтворена з високою точністю.

Другим важливим критерієм є якість текстуровання. Тут оцінюється чіткість текстури, її відповідність реальному вигляду об'єкта, відсутність розривів або розмитих ділянок. У випадку з ящіркою, текстури накладено рівномірно, колірна палітра реалістична, що вказує на хорошу роботу UV-мапи в RealityCapture.

Також оцінюється топологія сітки – наскільки вона оптимізована для подальшого використання (наприклад, у Blender чи ігрових рушіях). Модель має рівномірну структуру без зайвого перевантаження полігонами, що свідчить про грамотну спрощену ретопологію.

Наступним критерієм є відповідність масштабу та пропорцій моделі. Для технічних задач важливо, щоб одиниці виміру були правильно задані, а пропорції збережені. У моделі ящірки ці параметри відповідають реальному об'єкту, що дозволяє її точно масштабувати для архівування чи візуалізації.

Завершальним пунктом виступає придатність моделі до цільового використання: чи можна її застосувати у 3D-друці, візуалізації або інтегрувати в ігрове середовище. Модель ящірки відповідає таким вимогам – підтримує основні формати (FBX, OBJ, GLTF) і не втрачає якості при оптимізації.

Для оцінки якості 3D-моделі, отриманої за допомогою фотограмметрії у програмі RealityCapture, на прикладі моделі ящірки Lizard (Sketchfab), буде застосовано шкалу оцінювання від 1 до 5 балів за кожним критерієм, щоб вивести загальний індекс якості моделі. Результати оцінки наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Оцінка якості 3D-моделі, отриманої методом фотограмметрії

Критерій оцінки	Опис	Приклад/Примітки	Оцінка (1–5)
1. Геометрія (сітка)	Точність і повнота форми об'єкта	Видно деталі шкіри, всі кінцівки моделі ящірки збережені без отворів	4
2. Якість текстур	Чіткість, реалістичність і узгодженість з геометрією	Текстура добре накладена, без розривів, з високою деталізацією	5
3. Топологія	Чистота полігональної сітки, відсутність артефактів і «зайвих» вершин	Сітка рівномірна, виявлено незначні артефакти	3
4. Масштаб і пропорції	Відповідність реальним розмірам, правильні пропорції	Модель збережена у природному масштабі, всі пропорції реалістичні	5
5. Готовність до використання	Придатність до друку, візуалізації чи інтеграції в ігрові рушії	Модель експортується у форматах GLTF, FBX, OBJ; полігональність прийнятна	5
Загальний індекс якості моделі			4,0

При фінальній оцінці якості 3D-моделі будуть також використовуватися такі категорії відповідності:

– Висока якість: модель детальна, текстура чітка, топологія чиста. Загальний індекс якості моделі 5,0 – 4,2.

– Середня якість: є незначні дефекти, які можна виправити. Загальний індекс якості моделі 4,0 – 3,2.

– Низька якість: модель має суттєві похибки, потребує повторної обробки. Загальний індекс якості моделі 3,0 і нижче.

У підсумку, за 5-бальною шкалою модель отримує оцінку 4.0, що відповідає середній якості. Така модель придатна для використання в наукових, ігрових або дизайнерських проєктах.

Навіть за допомогою звичайного смартфона можна досягти високої якості фотограмметричної моделі, якщо дотримуватись чіткої послідовності дій, забезпечити належне освітлення та перекриття між знімками. Метод підходить як для аматорських 3D-реконструкцій, так і для професійного використання в галузях архітектури, археології, дизайну чи геймдеву.

#### **1.4.2 Рекомендації щодо використання фотограмметрії в різних галузях**

Фотограмметрія є універсальним інструментом для створення тривимірних моделей і може ефективно застосовуватись у різних галузях, проте вимоги до точності та реалістичності можуть значно відрізнятись залежно від конкретного випадку.

У таких сферах, як архітектура, будівництво та інженерія, критично важливою є геометрична точність моделі. Фотограмметричні 3D-моделі в цих випадках використовуються для створення точних креслень, планування реконструкцій або аналізу деформацій. Тут важливо, щоб модель мала мінімальні похибки вимірювань, правильну масштабність і високий рівень деталізації поверхні. Тому рекомендується використовувати фотозйомку з фіксованими параметрами, якісну калібровку камери, ретельне вирівнювання зображень і точне позиціонування контрольних точок.

У географії, геодезії та картографії точність також відіграє ключову роль, особливо при створенні цифрових моделей рельєфу або кадастрових моделей територій. В таких випадках фотограмметрія має бути інтегрована з GPS/ГНСС-даними або геоприв'язками для забезпечення просторової відповідності.

Натомість у сферах, де важлива візуальна складова – таких як відеоігри, віртуальна реальність, візуалізація продуктів, музеєфікація або цифрове мистецтво – пріоритетом є реалістичність зображення, а не абсолютна точність форм. У цих випадках головне – отримати максимально фотореалістичну текстуру та детальний вигляд моделі. Навіть якщо є деякі геометричні неточності, вони

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

можуть бути допустимими, якщо модель виглядає правдоподібно в контексті її використання.

У археології та культурній спадщині потрібен баланс між точністю та реалістичністю. З одного боку, важливо зберегти геометрію об'єкта для подальших досліджень, а з іншого – модель має бути візуально достовірною для презентацій та музейних експозицій. Тут фотограмметрія є оптимальним методом завдяки можливості отримати і точну форму, і натуральну текстуру поверхні.

Вибір методу зйомки, параметрів зображень і налаштувань обробки має ґрунтуватися на пріоритетах проекту: точність, реалістичність або їхнє поєднання.

Діаграма варіантів використання фотограмметрії описує взаємодію користувачів (акторів) із системою фотограмметричної обробки для досягнення певних цілей. Зображена на рис. 1.41 діаграма демонструє варіанти використання фотограмметрії в різних галузях діяльності.

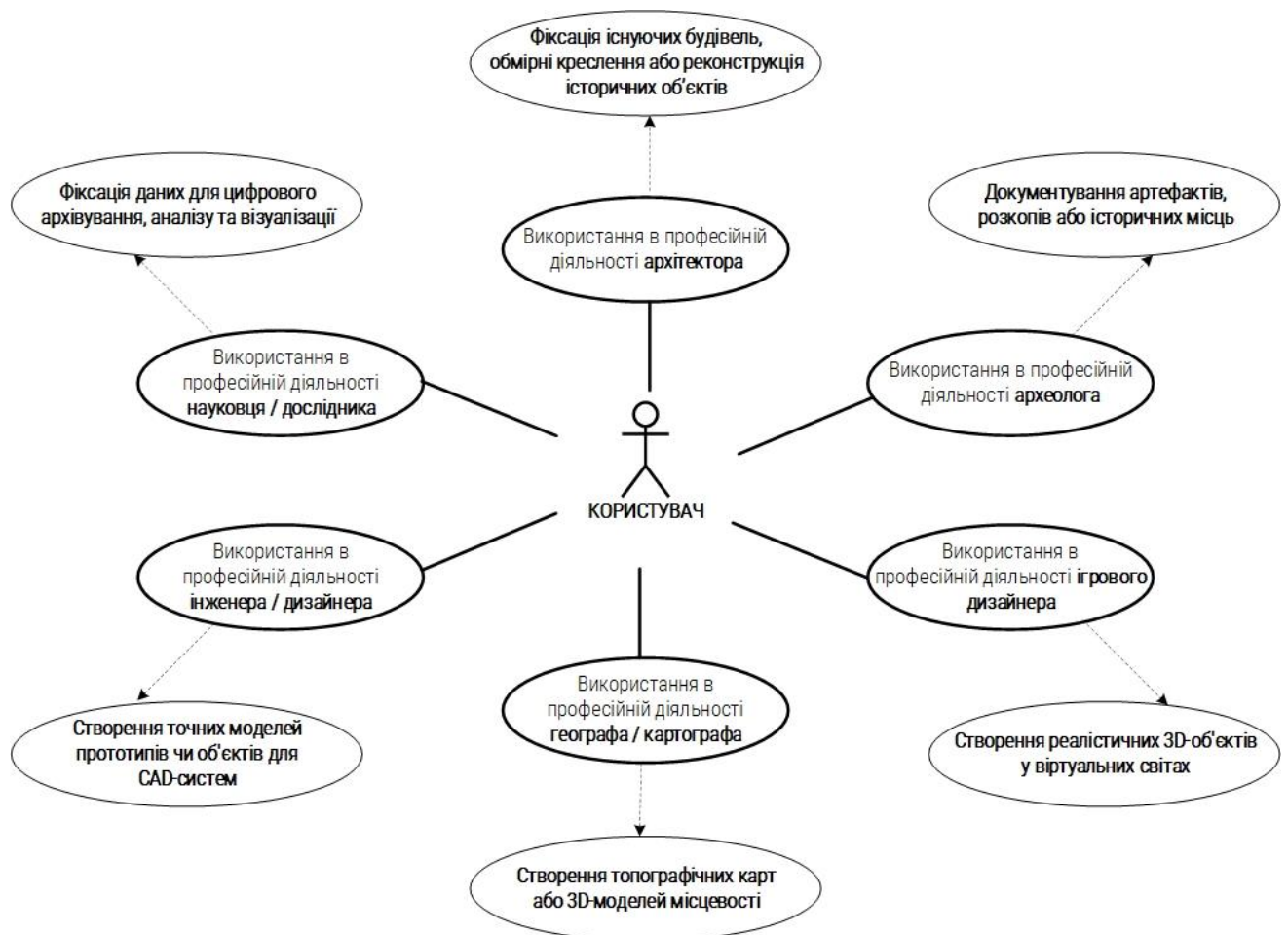


Рисунок 1.41. Діаграма варіантів використання фотограмметрії

У центрі знаходиться користувач, який застосовує фотограмметрію в залежності від своєї професійної сфери. Зокрема, архітектори використовують цю технологію для фіксації існуючих будівель, створення обмірних креслень або реконструкцій історичних об'єктів. Археологи – для документування артефактів і розкопок, а науковці й дослідники – для цифрового архівування, аналізу та візуалізації зібраних даних.

Інженери та дизайнери застосовують фотограмметрію для створення точних 3D-моделей об'єктів або прототипів, які можуть бути інтегровані в САД-системи. Географи та картографи створюють топографічні карти або тривимірні моделі місцевості. Ігрові дизайнери використовують цю технологію для створення реалістичних 3D-об'єктів у віртуальних середовищах. Таким чином, фотограмметрія є надзвичайно універсальним інструментом, що знаходить застосування як у точних науках, так і в цифровому мистецтві чи індустрії розваг.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## 2 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Сучасні умови праці дедалі більше пов'язані з використанням комп'ютерної техніки, що вимагає особливої уваги до питань охорони праці та техніки безпеки. Робота з персональним комп'ютером супроводжується впливом низки шкідливих і небезпечних факторів, які можуть негативно позначитися на здоров'ї користувача за умов тривалого або інтенсивного навантаження. Саме тому створення безпечного та ергономічного робочого середовища є невід'ємною частиною організації ефективної діяльності працівників в офісних і виробничих умовах.

У даному розділі розглядається комплекс заходів щодо забезпечення безпеки користувача ПК. Першим етапом є аналіз небезпечних і шкідливих факторів, які впливають на працівника, включаючи напруження зору, статичне навантаження, вплив мікроклімату, шуму, електромагнітного випромінювання, а також психофізіологічні навантаження.

Наступним кроком є розробка конкретних заходів охорони праці, спрямованих на усунення або мінімізацію виявлених ризиків. Забезпечення відповідності робочого середовища чинним нормативно-правовим актам України, таким як Закон України «Про охорону праці», ДСанПіН, ДБН та інші, сприяє не лише збереженню здоров'я працівників, а й підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості професійних захворювань та покращенню загального мікроклімату в колективі.

### 2.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на користувача ПК

Найнебезпечніші явища для здоров'я користувача при тривалій роботі за персональним комп'ютером (ПК) пов'язані з низкою фізіологічних, психофізіологічних та ергономічних чинників. Вони можуть не лише знижувати продуктивність праці, але й викликати хронічні захворювання при систематичному нехтуванні правилами охорони праці. До найнебезпечніших явищ належать:

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Напруження зору та розвиток комп'ютерного зорового синдрому (Computer Vision Syndrome). Тривале фокусування на моніторі, особливо без належного рівня контрастності, яскравості або за умов неправильного освітлення, призводить до втоми очей, погіршення зору, сухості, подразнення та головного болю.

Статичне фізичне навантаження та порушення опорно-рухового апарату. Неправильна постава, відсутність ергономічного крісла або стола, тривале перебування у сидячому положенні призводять до сколіозу, остеохондрозу, болю в попереку, шиї та руках (зокрема синдрому зап'ястного каналу).

Психоемоційне напруження та синдром хронічної втоми. Висока інтелектуальна напруга, монотонність роботи, постійний тиск дедлайнів та інформаційне перенавантаження сприяють розвитку стресу, дратівливості, безсоння, а в окремих випадках – тривожних або депресивних станів.

Недостатня вентиляція та несприятливий мікроклімат робочої зони. Робота у приміщенні з застарілою вентиляцією, високою температурою або сухим повітрям спричиняє головний біль, зниження концентрації, підвищення втомлюваності та ризик розвитку респіраторних захворювань.

Електромагнітне випромінювання та шумове забруднення. Хоч сучасні ПК випромінюють незначні дози електромагнітного поля, при багатогодинному контакті та за наявності кількох пристроїв у робочому просторі накопичений ефект може мати вплив на організм. Також безперервний шум від вентиляторів, принтерів та іншої техніки діє як хронічний стрес-фактор.

## **2.2 Розробка заходів з охорони праці**

### **2.2.1 Нормалізація повітря робочої зони**

Нормалізація повітря робочої зони – це комплекс заходів, спрямованих на забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні, де працює користувач ПК. Відповідно до санітарних норм України (ДСН 3.3.6.042-99), у робочій зоні має підтримуватись температура повітря 20–24 °С взимку та 22–26 °С влітку, відносна вологість – 40–60%, а швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Для нормалізації використовують системи вентиляції, кондиціонування, зволожувачі повітря. Важливо уникати пересушеного або надто вологого середовища, оскільки це негативно впливає на самопочуття, працездатність і здоров'я користувача, зокрема знижує якість зорового сприйняття та сприяє накопиченню електростатичних розрядів.

### **2.2.2 Виробниче освітлення**

Виробниче освітлення – це система світлового забезпечення робочого простору, яка створює умови для безпечної та ефективної роботи за комп'ютером. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 та ГОСТ 12.1.046-85, рівень освітленості для офісних приміщень, де працюють з ПК, має становити не менше 300–500 лк.

Освітлення повинно бути рівномірним, без сліпучого ефекту, тіней та мерехтіння. Рекомендується поєднувати загальне (люмінесцентне або LED) та локальне освітлення (настільні лампи з регулюванням яскравості), розміщуючи джерела світла так, щоб уникати відблисків на екрані монітора. Правильне освітлення знижує втомлюваність очей, зменшує ризик зорового перенапруження та підвищує продуктивність праці.

### **2.2.3 Електробезпека**

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів, спрямованих на захист працівника від ураження електричним струмом під час роботи з електронним обладнанням, зокрема персональним комп'ютером.

В офісах та приміщеннях з ПК необхідно забезпечити справну заземлювальну систему, використання сертифікованих подовжувачів і розеток, захисне вимикання електромережі (УЗО), регулярний технічний огляд електрообладнання.

Згідно з Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), усі працівники повинні бути проінструктовані з електробезпеки, а роботи з ремонту електромереж мають виконуватись лише фахівцями.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## 2.2.4 Організація робочого місця

Організація робочого місця користувача ПК має відповідати ергономічним вимогам для забезпечення зручності та профілактики професійних захворювань. Монітор повинен розташовуватись на рівні очей, на відстані 40–75 см, під кутом не менше 20°. Висота стільця має становити 38–55 см, а стіл – 72–75 см. Кут згину рук у ліктях повинен бути 90–110°, спина має опиратись на спинку крісла. Обов'язково слід використовувати підставку або мат під ноги. Така організація, наведена на рис. 2.1, сприяє зменшенню навантаження на хребет, очі та опорно-руховий апарат.

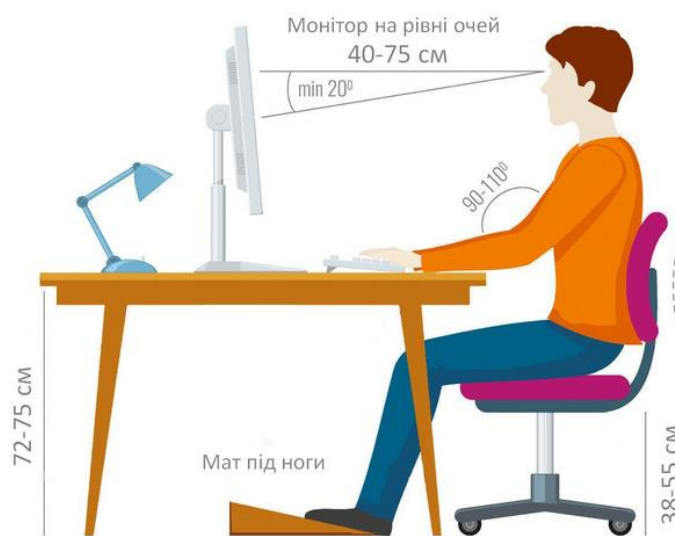


Рисунок 2.1. Правильне положення під час роботи за ПК

## 2.2.5 Пожежна безпека

Пожежна безпека при роботі з персональними комп'ютерами – важливий аспект охорони праці, особливо в офісних чи навчальних приміщеннях. Основними причинами пожеж у таких умовах можуть бути коротке замикання електропроводки, перегрів електронного обладнання, перевантаження електромережі або використання несправних подовжувачів.

Для запобігання пожежам необхідно регулярно перевіряти справність електропроводки, використовувати лише сертифіковані пристрої живлення, не залишати увімкнену техніку без нагляду. Електричне навантаження має бути рівномірно розподілене, а розетки – не перевантажені.

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

У приміщеннях із ПК повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники (вуглекислотні чи порошкові), інструкція з дій у разі пожежі, а також вільний доступ до евакуаційних виходів. Працівники або користувачі повинні бути ознайомлені з правилами пожежної безпеки та проходити відповідний інструктаж.

Первинні засоби пожежогасіння – це обладнання, яке призначене для оперативного реагування на пожежі на їх початковій стадії. Залежно від умов експлуатації та типу можливого загоряння, застосовують різні типи вогнегасників, зокрема вуглекислотні та порошкові.

Вуглекислотні вогнегасники (маркуються як ВВК) використовують вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), який під час випуску витісняє кисень із зони горіння та охолоджує полум'я. Основною перевагою цих вогнегасників є те, що після застосування вони не залишають слідів, не псують обладнання та не проводять електричний струм. Це робить їх ідеальними для гасіння пожеж, пов'язаних з електронікою, офісною технікою та комп'ютерами.

Порошкові вогнегасники (ВП) наповнені спеціальним хімічним порошком, який перешкоджає хімічній реакції горіння. Вони універсальні та ефективні при гасінні більшості класів пожеж, у тому числі горючих твердих речовин, рідин, газів і електроустановок. Проте основним їхнім недоліком є утворення порошкового осаду, який може пошкодити чутливу техніку. Тому їх доцільніше використовувати у виробничих або побутових приміщеннях, де немає великої кількості електронного обладнання.

Відповідно до вимог пожежної безпеки, кожне приміщення має бути оснащено необхідною кількістю справних вогнегасників, що мають бути розташовані у легкодоступних місцях. На кожному з них повинна бути нанесена чітка інструкція з експлуатації, пломба та відмітка про останню перевірку. Регламентовані вимоги до обслуговування та розміщення вогнегасників викладені у нормативних документах України, зокрема в Наказі МВС №1417 від 30.12.2014 «Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні».

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження можливостей фотограмметрії як сучасного інструменту для створення тривимірних моделей об'єктів реального світу.

Мета дослідження полягала в теоретичному аналізі основ фотограмметрії, порівнянні сучасного програмного забезпечення та практичному застосуванні однієї з обраних платформ – RealityCapture.

В роботі розглянуто теоретичні основи фотограмметрії: визначено її сутність, історичні етапи розвитку. Проведено класифікацію фотограмметрії за різними критеріями. Розглянуто математичну базу, що лежить в основі побудови 3D-моделей, а також етапи цифрової обробки фотознімків.

Проведено порівняльний огляд програмного забезпечення: Agisoft Metashape, RealityCapture, Meshroom, 3DF Zephyr та Pix4D.

Виконано тривимірну реконструкцію реального об'єкта за допомогою RealityCapture. Детально описано структуру проекту, алгоритм фотозйомки та послідовність дій у програмі, включно з імпортом знімків, побудовою моделі та текстурованням. Проведено оцінку якості отриманої моделі за простими критеріями – деталізація, цілісність, відсутність спотворень. Також наведено приклади галузевого застосування фотограмметрії, що ґрунтуються на потребі в точності або реалістичності моделі.

Розглянуто питання охорони праці при роботі з ПК, які є актуальними для користувачів, що займаються обробкою фотограмметричних даних. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів, розроблено заходи з охорони праці: нормалізація мікроклімату, виробниче освітлення, електробезпека, правильна організація робочого місця та пожежна безпека.

Таким чином, в результаті виконаної роботи було отримано цілісне уявлення про методи й можливості фотограмметрії, а також забезпечено дотримання вимог безпеки під час її практичного використання. Робота має не лише навчальне, а й прикладне значення для фахівців різних галузей.

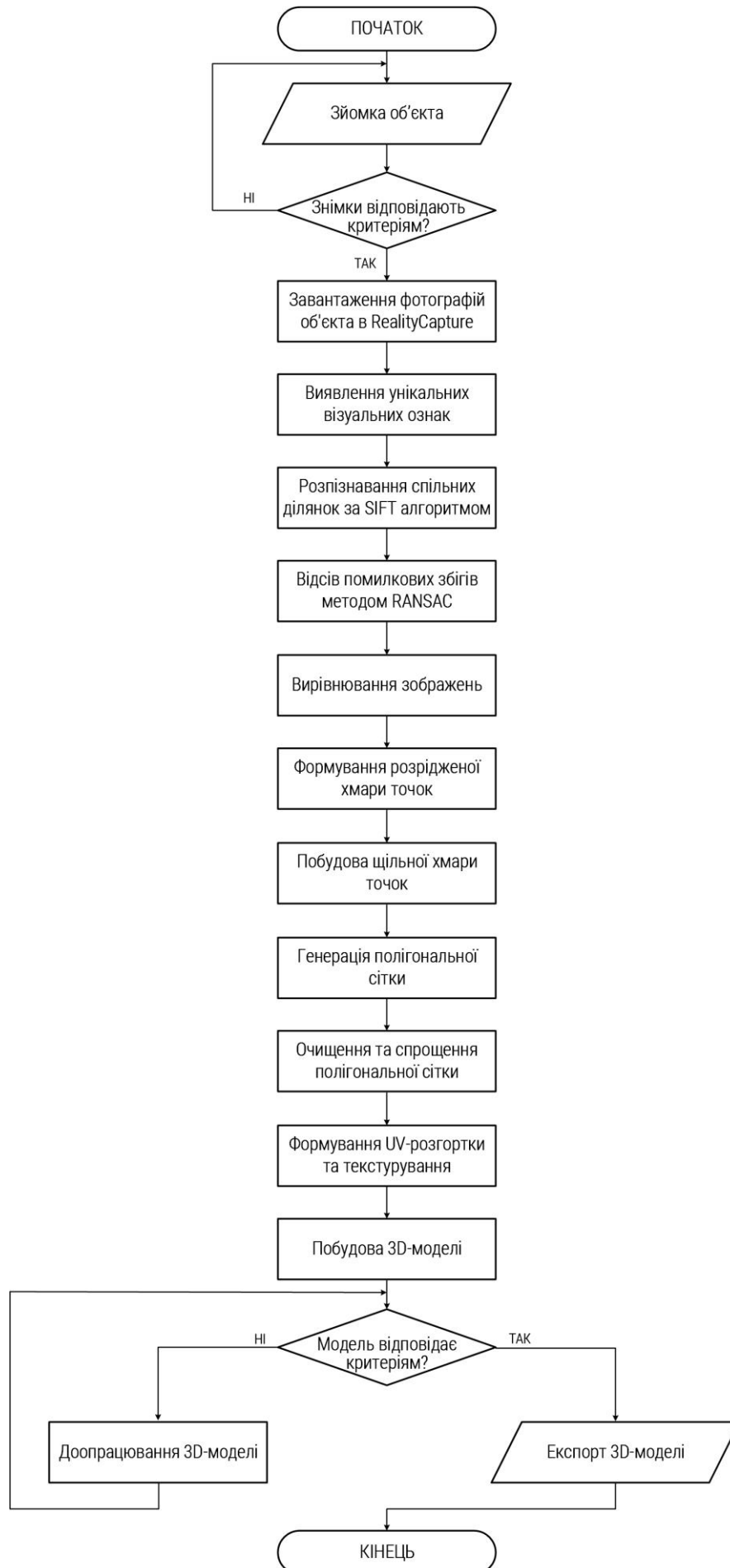
					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білоус В.В., Боднар С.П. Фотограмметрія. Навчальний посібник. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021 р. – 137 с.
2. Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрія: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 332 с.
3. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії: Підручник. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2003. – 214 с.
4. Дорожинський О.Л. Аналітична та цифрова фотограмметрія: Навч. посібник. – Львів: вид-во НУ «Львівська політехніка», 2002. – 164 с.
5. Що таке фотограмметрія, як вона допомагає зберегти українську спадщину і чим корисна для геймдеву. [Веб-сайт]. URL: <https://gamedev.dou.ua/blogs/skeiron-developer-about-photogrammetry/> (дата звернення: 20.05.2025)
6. Закон України «Про охорону праці»: Закон від 14.10.1992 № 2694-ХІІ // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – Ст. 668.
7. ДСН 3.3.2.007-98. Державні санітарні норми і правила при роботі з відеодисплейними терміналами (ВДТ) комп'ютерів. – Затверджено наказом МОЗ України від 10.12.1998 № 6. – [Чинний].
8. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок споживачів. – Затв. наказом МНС України від 06.10.2010 № 1021. – [Чинний].
9. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні. – Затв. наказом МНС України від 19.10.2004 № 126. – [Чинний].
10. СанПіН 2152-80. Санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до мікроклімату виробничих приміщень. – Затв. МОЗ СРСР від 01.12.1980. – [Чинний в частині, що не суперечить законодавству України].
11. НПАОП 0.00-4.33-99. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. – Затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15. – [Чинний].

					<b>БКС 29. 24 000. 00 КРБ ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

# ДОДАТОК А. Алгоритм побудови 3D-моделі за допомогою фотограмметрії



# ДОДАТОК Б. Слайди мультимедійної презентації

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія  
Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерна інженерія»  
Група: 2БКС-29

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

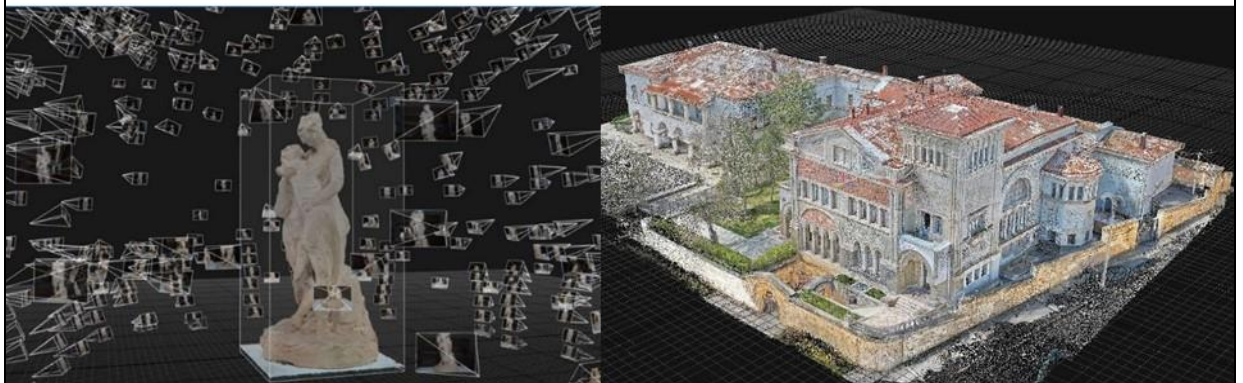
здобувача освіти денної форми навчання  
БКС.29.24.000.КРБ

*КАПРАЛОВА ДЕНИСА ОЛЕКСАНДРОВИЧА*

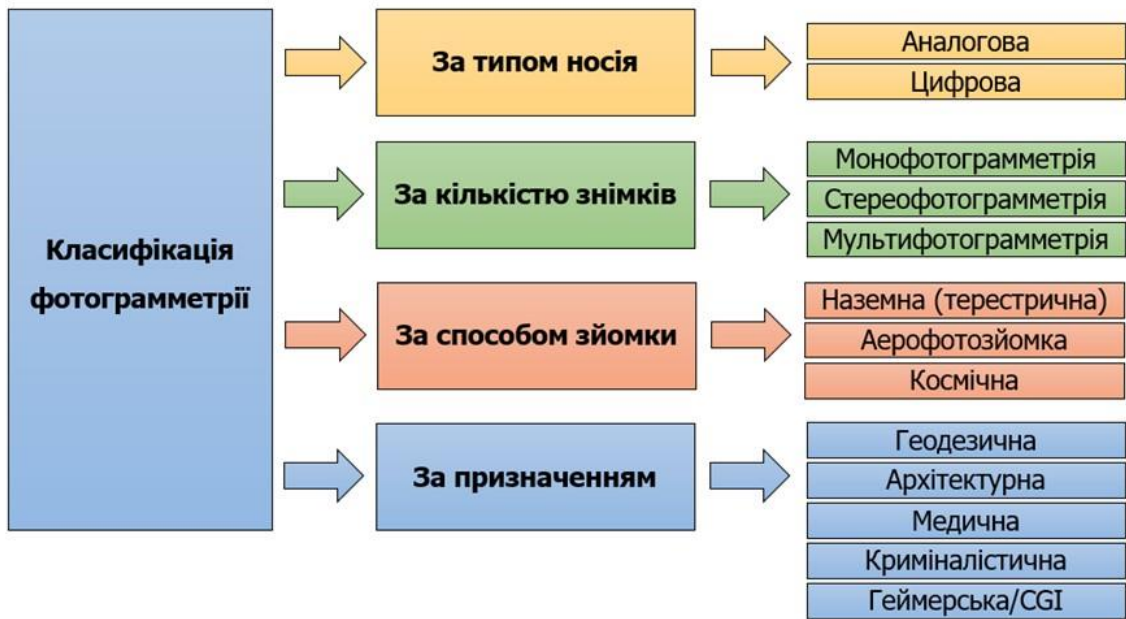
*«Дослідження технології фотограмметрії  
для отримання 3D-моделей»*

### *Фотограмметрія як технологія для отримання 3D-моделей*

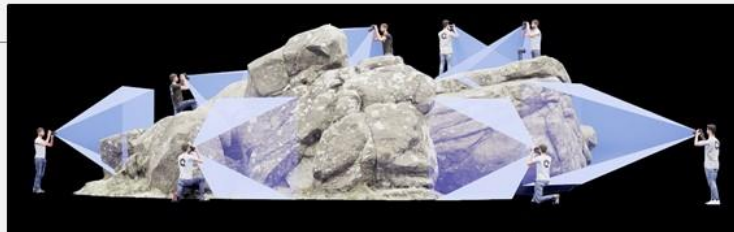
Фотограмметрія – це наукова і прикладна дисципліна, що займається визначенням форми, розмірів та розташування об'єктів за фотографічними зображеннями. Основою методу є аналіз перспективного викривлення на знімках, зумовленого просторовим положенням об'єкта відносно камери.



# Класифікація фотограмметрії



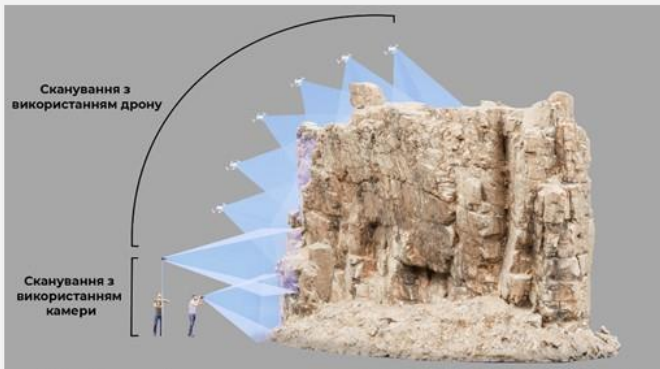
# Класифікація фотограмметрії



Наземна фотограмметрія



Космічна фотограмметрія

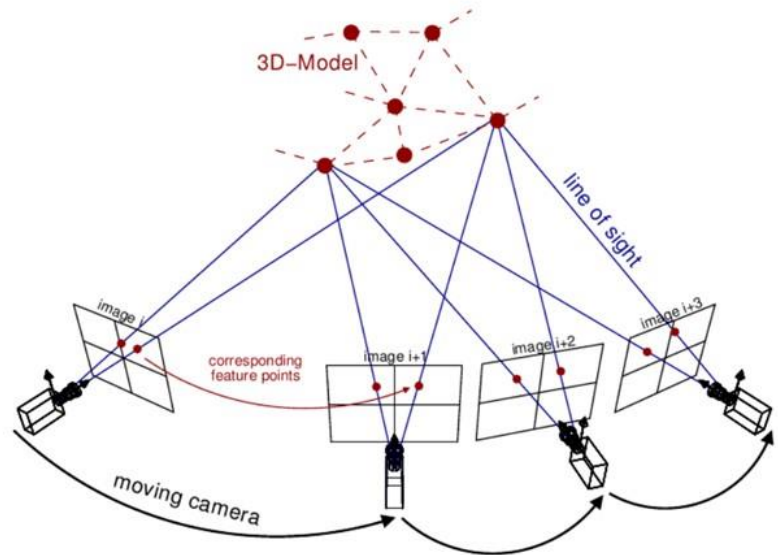


Комбінована фотограмметрія (зйомка з дрону та з землі)

# Схема загального процесу фотограмметрії

Процес цифрової реконструкції зазвичай базується на методах комп'ютерного зору, зокрема технології «Структура з руху» (Structure from Motion – SfM), яка дозволяє відновити тривимірну геометрію об'єкта на основі великої кількості зображень, що перекриваються.

Важливим етапом є також алгоритм «налаштування пучка» (Bundle Adjustment), який оптимізує просторове положення камери та обчислює координати спостережуваних точок з максимальною точністю. Після побудови хмари точок виконується створення сітки (mesh) і текстуровання, що забезпечує реалістичний вигляд моделі.



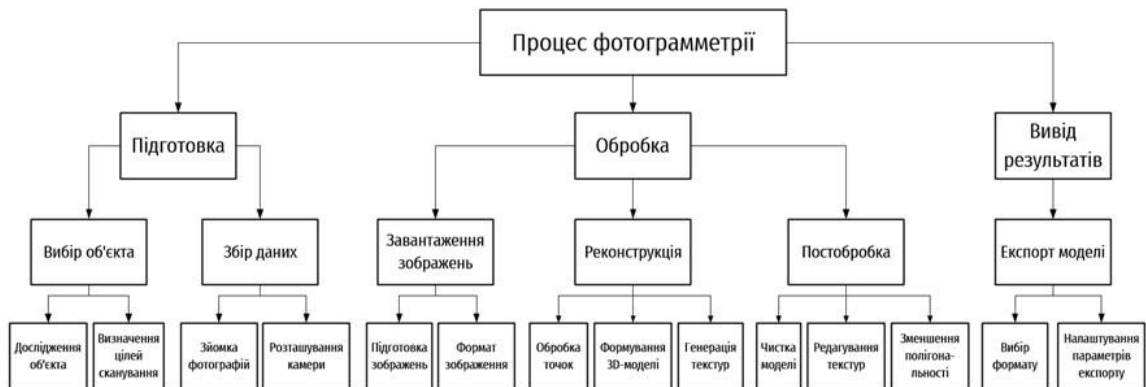
Фотограмметричний принцип «Структура з руху» (SfM)

## Структура проєкту



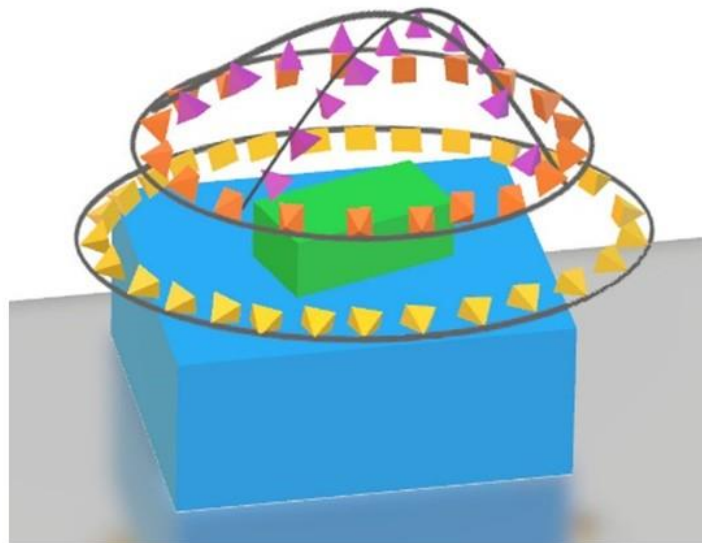
Модель IDEF0 тривимірної реконструкції об'єкта реального світу методом фотограмметрії

# Структура проєкту

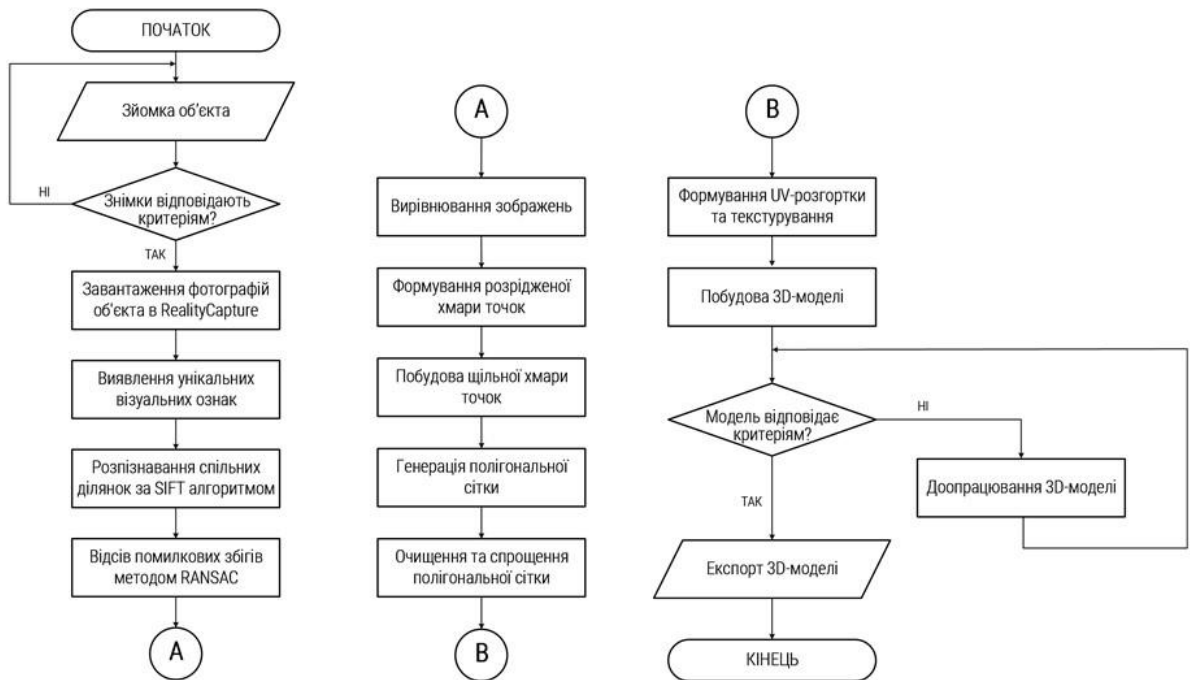


*WBS структура проєкту тривимірної реконструкції об'єкта реального світу за допомогою фотограмметрії*

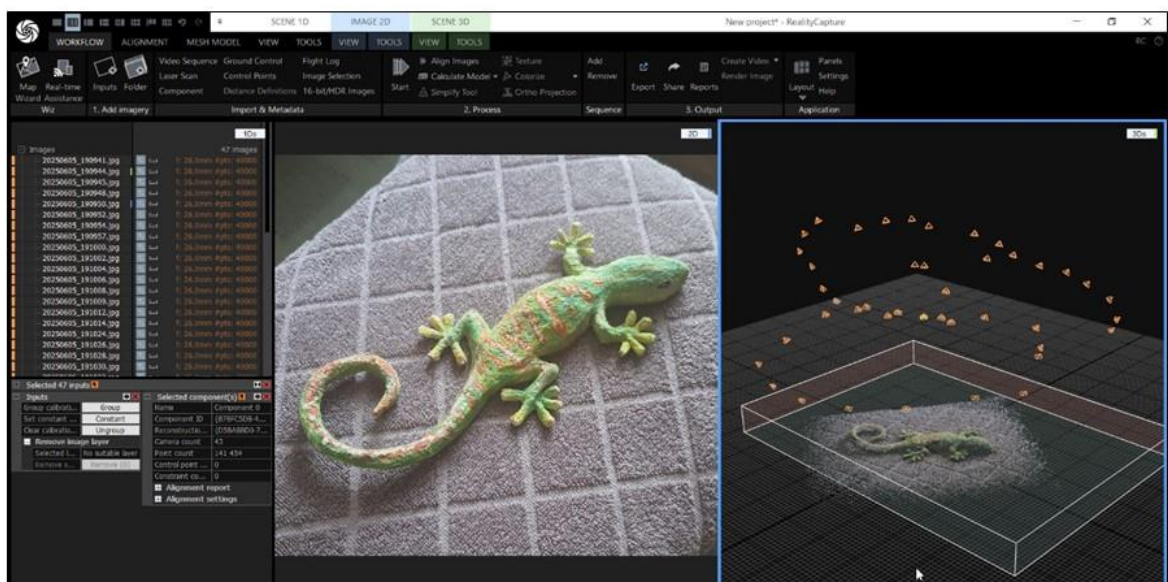
## Схема процесу зйомки (розташування камер навколо об'єкта)



# Алгоритм побудови 3D-моделі за допомогою фотограмметрії

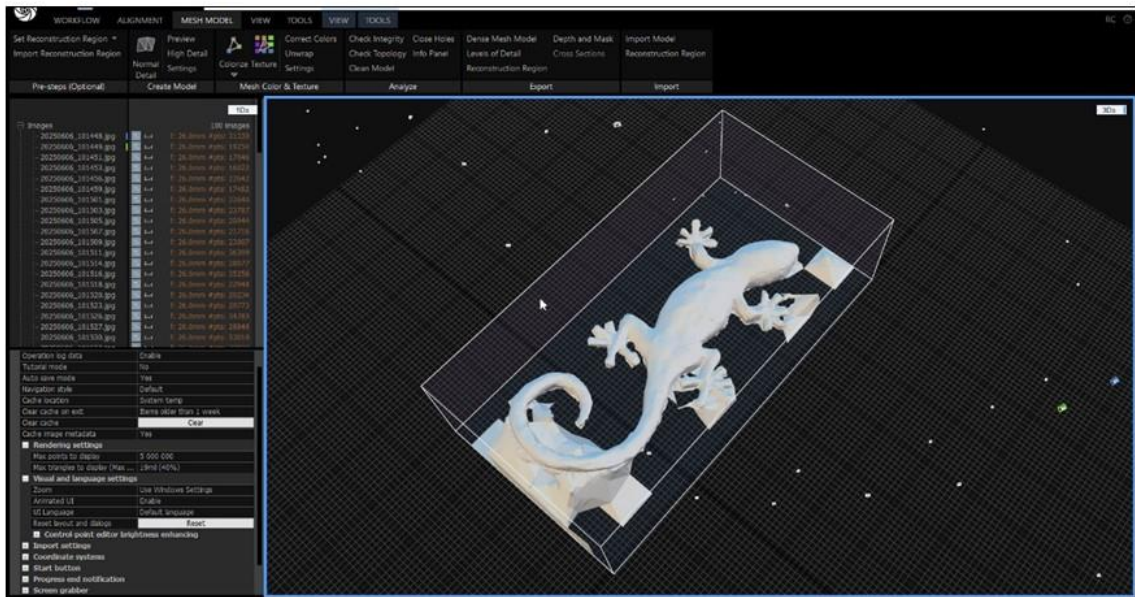


## Скріншоти інтерфейсу програмного забезпечення



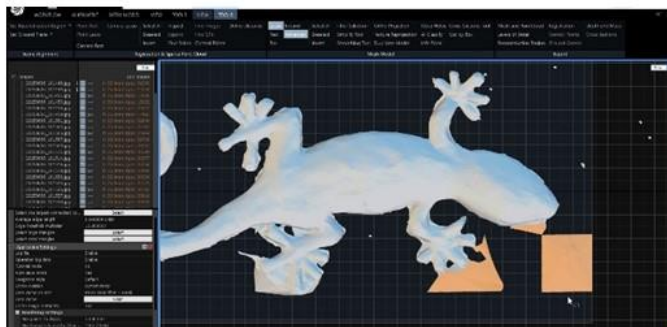
Побудова хмари точок у RealityCapture

# Скріншоти інтерфейсу програмного забезпечення

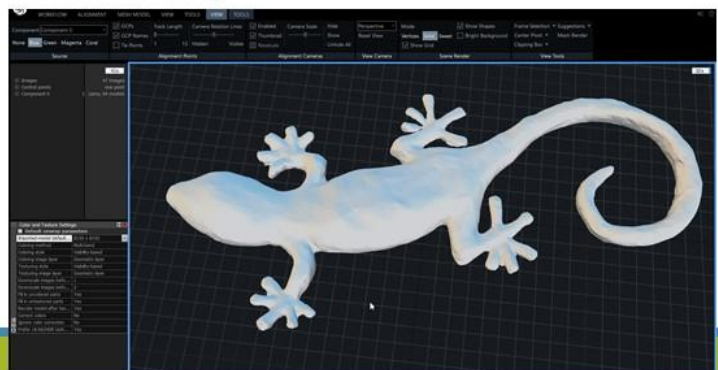


Генерація полігональної сітки у RealityCapture

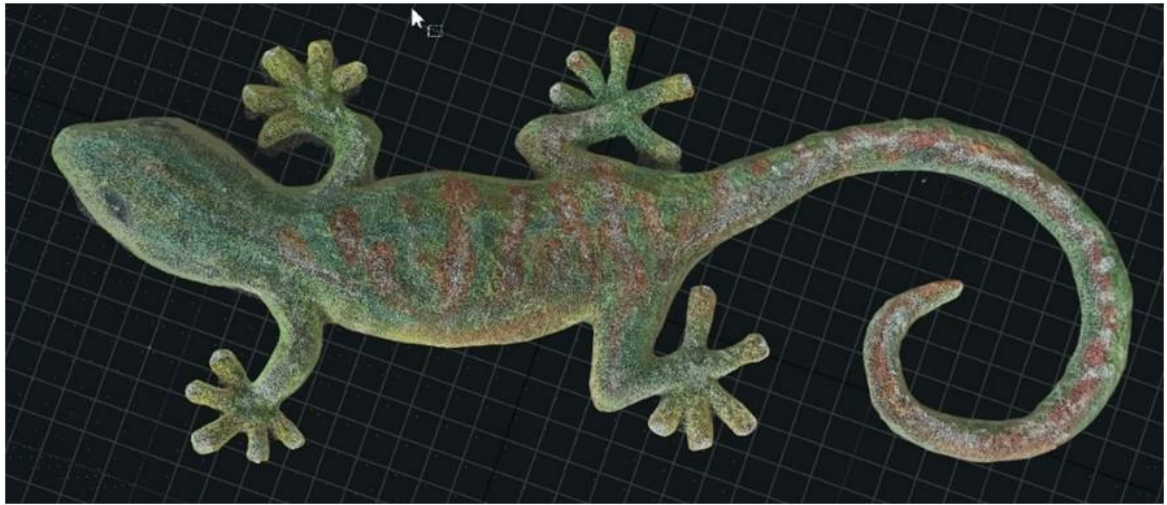
# Скріншоти інтерфейсу програмного забезпечення



Застосування команди *Filter Selection* для очищення сітки у RealityCapture



## *3D-модель, отримана в результаті дослідження*



## *3D-модель, отримана в результаті дослідження*



*Імпорт отриманої 3D моделі у Blender*

# 3D-модель, отримана в результаті дослідження

**Upload Model** DenK2025  
[Upload with a different account](#)

Model Name:

Description:

Tags:

Make the model private

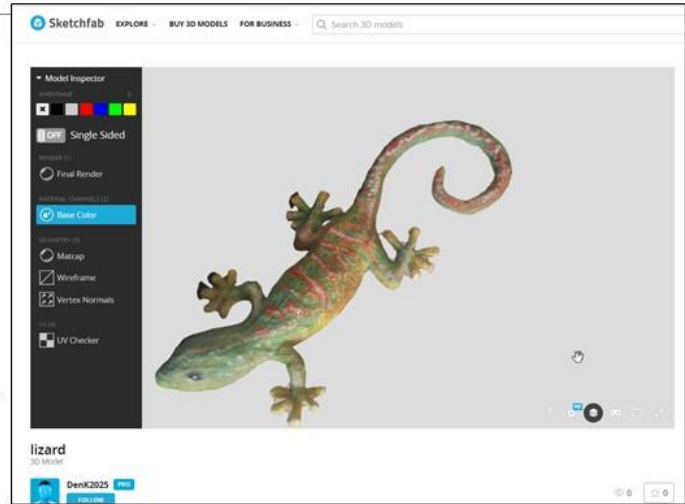
Mesh Quality:

Texture Quality:

Allow further simplification to fit Sketchfab file size limits

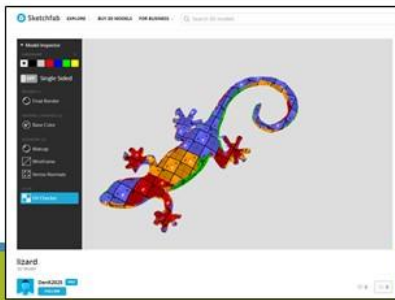
Publish the model after upload

Open in the default web browser after upload



**Публікація готової 3D моделі на Sketchfab**

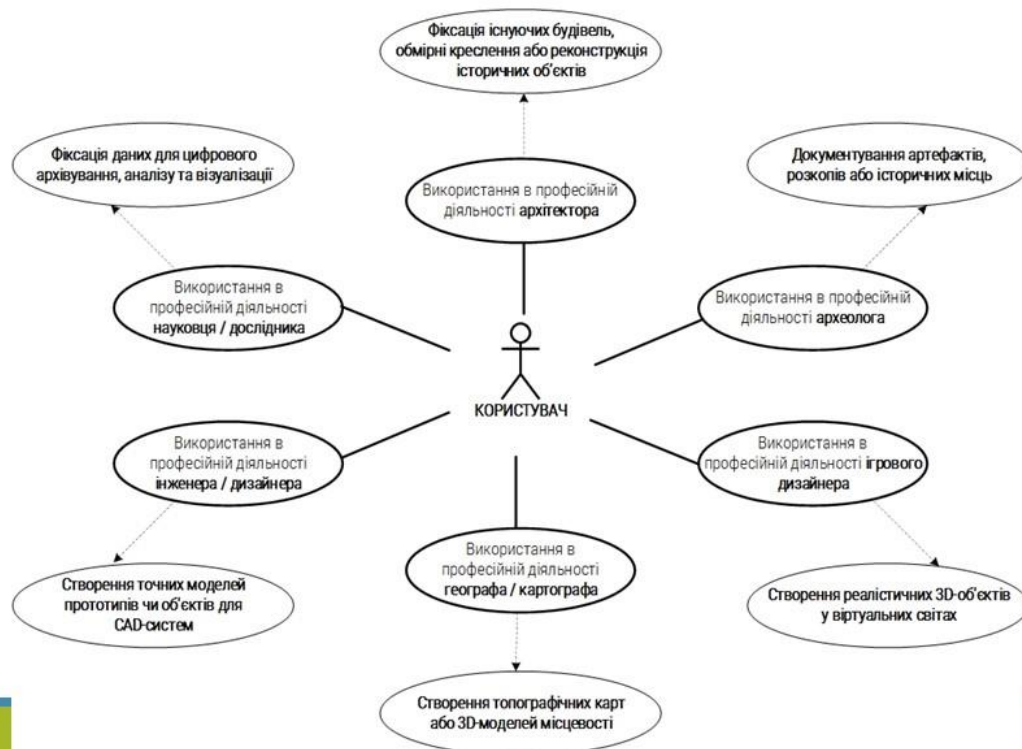
<https://sketchfab.com/3d-models/lizard-a511e02b6ee54646b2c3891770a636b9>



## Аналіз результатів дослідження. Оцінка якості 3D-моделі

Критерій оцінки	Опис	Приклад/Примітки	Оцінка (1–5)
1. Геометрія (сітка)	Точність і повнота форми об'єкта	Видно деталі шкіри, всі кінцівки моделі ящірки збережені без отворів	4
2. Якість текстур	Чіткість, реалістичність і узгодженість з геометрією	Текстура добре накладена, без розривів, з високою деталізацією	5
3. Топологія	Чистота полігональної сітки, відсутність артефактів і «зайвих» вершин	Сітка рівномірна, виявлено незначні артефакти	3
4. Масштаб і пропорції	Відповідність реальним розмірам, правильні пропорції	Модель збережена у природному масштабі, всі пропорції реалістичні	5
5. Готовність до використання	Придатність до друку, візуалізації чи інтеграції в ігрові рушії	Модель експортується у форматах GLTF, FBX, OBJ; полігональність прийнятна	5
Загальний індекс якості моделі			4,0

# Діаграма варіантів використання фотограмметрії



## ВИСНОВКИ

Галузі, де критично важлива геометрична точність:

- Архітектура та реставрація
- Геодезія та кадастр
- Інженерні дослідження та будівництво

Галузі, де важливіша візуальна реалістичність:

- Комп'ютерні ігри та VR/AR-додатки
- Цифровий музей та археологія
- Дизайн, реклама, презентації



**РЕЦЕНЗІЯ**

на кваліфікаційну роботу здобувача (здобувачки) освіти  
відділення комп'ютерних систем

*Капралова Дениса Олександровича*

(прізвище, ім'я та по батькові)

Спеціальність 123 "Комп'ютерна інженерія"

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

Керівник кваліфікаційної роботи Суліма Юлія Євгенівна

(прізвище, ім'я та по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи Дослідження технології фотограмметрії для отримання 3D-моделей

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки 75 сторінок

Обсяг графічної (презентаційної) частини 18 аркушів (слайдів)

**ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

а) заключення про ступінь відповідності виконаної кваліфікаційної роботи завданню

Представлена на рецензію кваліфікаційна робота бакалавра повністю відповідає меті випускної роботи та технічному завданню. Тематика кваліфікаційної роботи є актуальною для своєї галузі та присвячена дослідженню технології фотограмметрії для отримання 3D-моделей.

б) характеристика виконання кожного розділу кваліфікаційної роботи

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, переліку використаних джерел. Якість матеріалу добра

в) оцінка якості виконання пояснювальної записки та графічної частини кваліфікаційної роботи

Графічна частина виконана на достатньо високому рівні у вигляді презентації із використанням офісного пакету Microsoft PowerPoint та Visio. Пояснювальна записка виконана охайно та у відповідності до норм оформлення документів із використанням офісного пакету Microsoft Word. Загальна якість виконання документації – добра, академічного плагіату ідей у роботі не виявлено

г) перелік позитивних якостей кваліфікаційної роботи Ретельно проведено огляд сучасного програмного забезпечення (Agisoft Metashape, RealityCapture, Meshroom, 3DF Zephyr, Pix4D), з порівняльною таблицею критеріїв. Це обґрунтовує вибір RealityCapture як оптимального інструменту для подальшої обробки фотограметричних даних.

д) основні недоліки кваліфікаційної роботи Хоча огляд програмного забезпечення проведено детально, варто було б порівняти кінцевий результат реконструкції за допомогою RealityCapture з моделями, отриманими іншими системами (наприклад, Agisoft Metashape або Pix4D). Це дозволило б чіткіше підкреслити переваги і недоліки обраного підходу.

Запропонована 5-бальна шкала відносно моделі виглядає децю суб'єктивно.

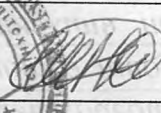
Оцінка розрахункової частини Відмінно

Оцінка графічної частини Відмінно

Загальна оцінка Відмінно

Прізвище, ім'я, по батькові рецензента к.т.н. Шубаєва Наталя Олегівна

Місце роботи і посада рецензента Національний університет «Одеська політехніка», доцент кафедри інформаційних технологій

Підпис: 



« 6 2025 р.

## ВІДГУК

керівника про кваліфікаційну роботу бакалавра

*Капралова Дениса Олександровича*

(прізвище, ім'я та по батькові)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

*«Комп'ютерна графіка і Web-дизайн»*

Тема кваліфікаційної роботи Дослідження технології фотограмметрії для отримання 3D-моделей

### ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

а) обсяг і якість виконання роботи (графічного матеріалу і розрахунково-пояснювальної записки) Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи виконана на 75 сторінках формату А4. Графічний (презентаційний) матеріал виконано на 18 слайдах презентації MS Power Point. Кваліфікаційну роботу виконано на належному рівні та у достатньому обсязі, із дотриманням вимог ЄСКД. Всі питання, які необхідно було розглянути, докладно описані в кваліфікаційній роботі.

б) самостійність роботи : Капралов Д.О. працював над виконанням кваліфікаційної роботи переважно самостійно, однак інколи звертався до керівника роботи за необхідними консультаціями по технічних питаннях. Під час виконання роботи активно користувався спеціальною технічною літературою та здійснював результативний пошук необхідної інформації в мережі Internet.

в) Теоретична підготовка здобувача освіти У ході виконання кваліфікаційної роботи Капралов Д.О. продемонстрував достатній рівень володіння теоретичними знаннями з основ фотограмметрії, вміння проводити аналітичний огляд методів, інструментів і програмного забезпечення, зокрема, автором обґрунтовано вибір найбільш ефективних інструментів для обробки фотограмметричних даних. Проведено аналіз точності моделі, визначено переваги й обмеження технології, що свідчить про глибоке розуміння теми.

г) Вміння розв'язувати виробничі і конструкторські питання на базі останніх досліджень науки і техніки, передових методів виробництва Здобувач освіти Капралов Д.О. розробив чітку методичку фотограмметричної зйомки, яка дозволила виконати якісну тривимірну реконструкцію об'єкта.

У практичній частині Капралов Д.О. продемонстрував володіння сучасними інструментами тривимірної графіки, грамотно виконав усі етапи побудови 3D-моделі, забезпечив наочність роботи скріншотами програмного забезпечення та результатів.

Обрана тема є вкрай своєчасною та має практичне значення для широкого спектра галузей – від архітектури та географії до геймдизайну та віртуальної реконструкції музейних експонатів.

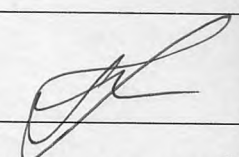
Оцінка розрахункової частини 4 (добре)

Оцінка графічної частини 4 (добре)

Загальна оцінка 4 (добре)

Прізвище, ім'я, по батькові Суліма Юлія Євгеніївна

Місце роботи і посада керівника роботи ВСП «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету», викладач вищої категорії циклової комісії комп'ютерних технологій та програмної інженерії

Підпис 

« 2 » березня 20 25 р.

**ДОЗВІЛ  
НА РОЗМІЩЕННЯ  
ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
(ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ)  
В ЕЛЕКТРОННОМУ РЕПОЗИТАРІЇ ВСП «ОТФК ОНТУ»**

Ми, що нижче підписалися,

**Капралов Денис Олександрович,**  
Здобувач освіти гр. 2БКС-29, та

**Суліма Юлія Євгенівна,**  
керівник дипломного проєкту,

не заперечуємо щодо розміщення електронного варіанту пояснювальної записки до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

**«Дослідження технології фотограмметрії для отримання 3D-моделей»  
(автор роботи – Капралов Д.О., керівник роботи – Суліма Ю.Є.)**

виконаного у ВСП «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету» в 2025 році, у повному обсязі в електронному репозитарії ВСП «ОТФК ОНТУ» для вільного доступу через мережу Інтернет.

Несемо відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів випускної кваліфікаційної роботи/дипломного проєкту і даємо згоду на обробку персональних даних.

Виконавець \_\_\_\_\_ / **Капралов Д.О.** /

Керівник \_\_\_\_\_ / **Суліма Ю.Є.** /

«16» червня 2025 р.

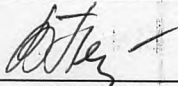
# Д О В І Д К А

кафедри комп'ютерної інженерії  
про допуск до захисту кваліфікаційної роботи  
здобувача (здобувачки) освіти ІІ курсу  
відділення комп'ютерних систем групи 2БКС-29

*Капралова Дениса Олександровича*

на тему Дослідження технології фотограметрії  
для отримання 3D-моделей

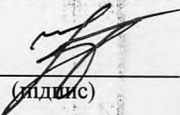
Висновок відповідальної особи за проведення нормоконтролю:  
пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи виконана з несуттєвими  
порушеннями ДСТУ та оформлена відповідно до вимог Положення про  
дипломне проєктування

  
(підпис)

20.06.2025  
(дата)

Петрашова В.І.  
(П.І.Б.)

Висновок відповідальної особи за перевірку роботи на наявність академічного  
плагиату згідно звіту про перевірку від 13.06.2025 р. значення коефіцієнту  
подібності в роботі становить 4,02%, коефіцієнт цитування – 0,51%.

  
(підпис)

20.06.2025  
(дата)

Краснокутська К.Г.  
(П.І.Б.)

**Попередня експертиза (малий захист) кваліфікаційної роботи**

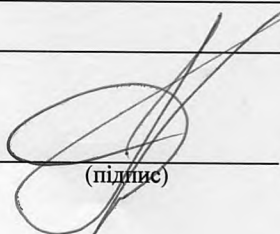
здобувача (здобувачки) освіти

Капралова Д.О.  
(П.І.Б.)

проведена « 20 » червня 2025 р.

Висновки Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи виконана у  
повному обсязі. Випускна кваліфікаційна робота відповідає вимогам  
Положення про дипломне проєктування та рекомендована до захисту.

Зав. кафедри КІ

  
(підпис)

Іванова Л.В.  
(П.І.Б.)

## Звіт подібності

## метадані

Назва організації

Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology

Заголовок

Дослідження технології фотограметрії для отримання 3D-моделей

Автор

Науковий керівник / Експерт

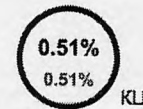
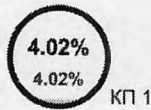
Капралов Денис Олександрович Суліма Юлія Євгенівна

підрозділ

Відокремлений структурний підрозділ "Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету"

## Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

13075

Кількість слів

105823

Кількість символів

## Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про **МОЖЛИВІ** маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		20
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		47

## Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

## 10 найдовших фраз

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	Колір тексту
1	<a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download</a>	102 0.78 %
2	<a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download</a>	57 0.44 %
3	<a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffb1-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffb1-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download</a>	57 0.44 %
4	<a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download</a>	32 0.24 %

5	<a href="https://elearn.nubip.edu.ua/mod/glossary/print.php?id=91530&amp;sortorder=desc&amp;offset=790&amp;sortkey=CREATION&amp;mode=date&amp;hook&amp;lang=uk">https://elearn.nubip.edu.ua/mod/glossary/print.php?id=91530&amp;sortorder=desc&amp;offset=790&amp;sortkey=CREATION&amp;mode=date&amp;hook&amp;lang=uk</a>	25 0.19 %
6	<a href="https://studopedia.su/13_104137_praktichna-robota-.html">https://studopedia.su/13_104137_praktichna-robota-.html</a>	20 0.15 %
7	<a href="https://lj.journal.kspu.edu/index.php/lj/article/view/50">https://lj.journal.kspu.edu/index.php/lj/article/view/50</a>	18 0.14 %
8	<a href="https://lj.journal.kspu.edu/index.php/lj/article/view/50">https://lj.journal.kspu.edu/index.php/lj/article/view/50</a>	17 0.13 %
9	Олійник, Василенко Стаття_ 1/28/2025 Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")	16 0.12 %
10	<a href="http://www.leonorm.com.ua/P/News/NTD_UKRNDNC_2018.htm">http://www.leonorm.com.ua/P/News/NTD_UKRNDNC_2018.htm</a>	15 0.11 %

### з домашньої бази даних (0.10 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Розробка 3D-гри у жанрі survival-horror з налаштуваннями рівнів складності 6/12/2025 Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology (Відокремлений структурний підрозділ "Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету")	13 (2) 0.10 %

### з програми обміну базами даних (0.12 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Олійник, Василенко Стаття_ 1/28/2025 Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")	16 (1) 0.12 %

### з Інтернету (3.79 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	<a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/7f031b5d-95bb-43c2-8b3f-0fa2499416c4/download</a>	222 (8) 1.70 %
2	<a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffbf-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffbf-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download</a>	73 (3) 0.56 %
3	<a href="https://studopedia.su/13_104137_praktichna-robota-.html">https://studopedia.su/13_104137_praktichna-robota-.html</a>	36 (3) 0.28 %
4	<a href="https://lj.journal.kspu.edu/index.php/lj/article/view/50">https://lj.journal.kspu.edu/index.php/lj/article/view/50</a>	35 (2) 0.27 %
5	<a href="https://elearn.nubip.edu.ua/mod/glossary/print.php?id=91530&amp;sortorder=desc&amp;offset=790&amp;sortkey=CREATION&amp;mode=date&amp;hook&amp;lang=uk">https://elearn.nubip.edu.ua/mod/glossary/print.php?id=91530&amp;sortorder=desc&amp;offset=790&amp;sortkey=CREATION&amp;mode=date&amp;hook&amp;lang=uk</a>	25 (1) 0.19 %
6	<a href="http://www.lr-pl.gov.ua/index.php/sotsialnyi-ofis/94-okhorona-pratsi-z-choho-pochaty">http://www.lr-pl.gov.ua/index.php/sotsialnyi-ofis/94-okhorona-pratsi-z-choho-pochaty</a>	20 (2) 0.15 %
7	<a href="https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/299986/mod_resource/content/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%96%D1%82.pdf">https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/299986/mod_resource/content/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%96%D1%82.pdf</a>	19 (2) 0.15 %
8	<a href="http://www.leonorm.com.ua/P/News/NTD_UKRNDNC_2018.htm">http://www.leonorm.com.ua/P/News/NTD_UKRNDNC_2018.htm</a>	15 (1) 0.11 %
9	<a href="https://geo.knu.ua/fakultet/pidrozdily/kafedry/kafedra-geodeziyi-ta-kartografiji/kafedra-geodeziyi-ta-kartografiji-rekomendovana-fahova-literatura/">https://geo.knu.ua/fakultet/pidrozdily/kafedry/kafedra-geodeziyi-ta-kartografiji/kafedra-geodeziyi-ta-kartografiji-rekomendovana-fahova-literatura/</a>	14 (1) 0.11 %
10	<a href="https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/91990/1/Hruzdo_bak_rob.pdf">https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/91990/1/Hruzdo_bak_rob.pdf</a>	13 (1) 0.10 %

11	<a href="http://dspace.oneu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/17894/2/Yakhimovich2024.pdf">http://dspace.oneu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/17894/2/Yakhimovich2024.pdf</a>	13 (1) 0.10 %
12	<a href="https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/95300/1/Horbatenko_master_thesis.pdf">https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/95300/1/Horbatenko_master_thesis.pdf</a>	11 (2) 0.08 %

## Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-------	---------------------------------------

### МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ» Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія  
Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерна інженерія» Група: 2БКС-29

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача освіти денної форми навчання БКС. 29.24.000. КРБ

КАПРАЛОВА ДЕНИСА  
ОЛЕКСАНДРОВИЧА

м. Одеса

2025 р. МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ» Спеціальність: 123  
Комп'ютерна інженерія  
Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерна інженерія»  
Група: 2 БКС-29

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА До кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: \_\_\_\_\_

Проектний матеріал складається з

пояснювальної записки на \_\_\_\_\_ сторінках та графічного (презентаційного) матеріалу на \_\_\_\_\_ аркушах (слайдах) Виконавець \_\_\_\_\_  
( Капралов Д.О.)

Керівник проекту \_\_\_\_\_ ( Суліма Ю.Є.)

#### Консультанти:

з розділу охорони праці та техніки безпеки \_\_\_\_\_ ( Чорновол Н.І.) з нормоконтролю

( Петрашова В.І.) старший консультант \_\_\_\_\_ ( Кривченко Ю. В.)

До захисту допущений

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ( Іванова Л.В.) Завідувач відділенням \_\_\_\_\_  
( Краснокутська К.Г.)

Захист « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 \_\_\_\_\_ р. Протокол ЕК No \_\_\_\_\_

Оцінка ЕК \_\_\_\_\_

Секретар ЕК \_\_\_\_\_

«Дослідження технології  
фотограмметрії для отримання 3D-моделей»

### АНОТАЦІЯ

Метою даної роботи є дослідження технології цифрової фотограмметрії для створення 3D-моделей об'єктів реального світу з використанням програмного забезпечення RealityCapture.

Вивчено закономірності формування тривимірної геометрії на основі послідовних цифрових зображень, розглянуто класифікацію, етапи фотограмметричної обробки та порівняно функціональні можливості актуальних програм для 3D-реконструкції.

Отримані кількісні характеристики якості побудованої 3D-моделі, включаючи точність відображення деталей та відповідність оригіналу. Створено повноцінну тривимірну модель об'єкта за фотознімками, зібраними за допомогою камери смартфона, реалізовано методику обробки даних, побудовано IDEFO схеми процесу та запропоновано рекомендації щодо застосування фотограмметрії в архітектурі, географії, археології, дизайні та