

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Фізико-математичний факультет
Кафедра комп'ютерних наук

Кваліфікаційна робота бакалавра

з теми: «Створення 3D-моделей з допомогою фотограмметрії дрону»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи KN1-B21

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Коваленко Дмитро Сергійович

Керівник:

Пилипюк Тетяна Михайлівна,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент

Рецензент:

Громик Андрій Петрович,
кандидат технічних наук, доцент

м. Кам'янець-Подільський – 2025 р.

АНОТАЦІЯ

У даній роботі розроблено та апробовано методику створення високоточних 3D-моделей архітектурної пам'ятки (башти Стефана Баторія у Кам'янці-Подільському) за допомогою фотограмметрії з використанням безпілотного літального апарату DJI Phantom 4 Pro та програмного середовища Agisoft Metashape. Основні етапи дослідження включали: планування та виконання польоту дрона з оптимальними параметрами перекриття (75 %) і налаштуванням камери (20 МП, ISO 100, витримка 1/200 с); обробку знімків у Metashape (вирівнювання знімків, побудова щільної хмари, генерація полігональної сітки та текстурування); оптимізацію моделі та її публікацію на платформі Sketchfab.

Результати роботи засвідчили, що обрана методика забезпечує моделі з похибкою метричних параметрів менше ніж 5 % (± 7 см при висоті башти $\approx 18,2$ м) та дозволяє отримати деталізовану текстуру 4 К. Інтерактивна візуалізація на Sketchfab дала змогу вести дистанційний огляд моделі, додавати анотації та інтегрувати фон у вигляді 360° Skybox. Проведений аналіз демонструє практичну цінність 3D-моделей для реставраційного моніторингу, віртуальних екскурсій, навчання та інтеграції у BIM/VR/AR-системи.

Ключові слова: фотограмметрія, безпілотний літальний апарат, Agisoft Metashape, 3D-моделювання, текстурування, Sketchfab, культурна спадщина.

ANNOTATION

A method for creating high-precision 3D models of an architectural monument (the tower of Stefan Batory in Kamianets-Podilskyi) using photogrammetry using a DJI Phantom 4 Pro unmanned aerial vehicle and the Agisoft Metashape software environment is developed and tested in this work. The main stages of the study included: planning and executing a drone flight with optimal overlap parameters (75%) and camera settings (20 MP, ISO 100, shutter speed 1/200 s); image processing in Metashape (image alignment, dense cloud construction, polygonal mesh generation and texturing); model optimization and its publication on the Sketchfab platform.

The results of the work showed that the chosen methodology provides models with an error of metric parameters of less than 5% (± 7 cm at a tower height of ≈ 18.2 m) and allows you to obtain a detailed 4 K texture. Interactive visualization on Sketchfab made it possible to conduct a remote inspection of the model, add annotations and integrate the background in the form of a 360° Skybox. The analysis demonstrates the practical value of 3D models for restoration monitoring, virtual tours, training and integration into BIM/VR/AR systems.

Keywords: photogrammetry, unmanned aerial vehicle, Agisoft Metashape, 3D-modeling, texturing, Sketchfab, cultural heritage.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ 3D-СКАНУВАННЯ ІСТОРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	7
1.1 Фотограмметрія для 3D-моделювання об'єктів.....	7
1.2 Лазерне 3D-сканування архітектурних пам'яток	9
1.3 Панорамна зйомка та інші цифрові методи	12
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ БАШТИ СТЕФАНА БАТОРІЯ	15
2.1 Архітектурні особливості та значення башти.....	15
2.2 Планування польоту та збір даних за допомогою дрона	19
2.3 Обробка фотознімків у Agisoft Metashape та побудова 3D-моделі	21
2.4 Публікація моделі на платформі Sketchfab	25
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	29
3.1 Оцінка якості та точності створеної 3D-моделі.....	29
3.2 Можливості використання та застосування 3D-моделі	31
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
ДОДАТКИ.....	41
Додаток А.....	41
Додаток В	43
Додаток С	45

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні технології тривимірного (3D) сканування все ширше застосовуються у галузі збереження культурної спадщини. Оцифрування історико-архітектурних об'єктів дозволяє детально фіксувати їх стан, створювати віртуальні моделі для досліджень, реставрації чи популяризації через Інтернет. В умовах швидкого розвитку безпілотних літальних апаратів (дронів) та програмного забезпечення фотограмметрії з'явилася можливість отримувати високодетальні 3D-моделі пам'яток архітектури з мінімальними затратами часу і ресурсів. Це особливо важливо для України, де велика кількість пам'яток потребує цифрового збереження, а також з огляду на можливі ризики пошкодження історичних об'єктів (час, природні фактори чи військові дії).

Об'єктом дослідження даної роботи є методика створення тривимірних моделей шляхом фотограмметрії із використанням дрона. **Предметом дослідження** є створення тривимірної моделі історичної башти Стефана Баторія у місті Кам'янець-Подільський.

Мета роботи полягає у демонстрації процесу створення точного 3D-зображення (моделі) башти Стефана Баторія методом фотограмметричного сканування за допомогою дрона та оцінці отриманого результату.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Здійснити огляд сучасних методів 3D-сканування об'єктів культурної спадщини (фотограмметрії, лазерного сканування та інших) та проаналізувати їх переваги й недоліки.
2. Провести історико-архітектурний аналіз башти Стефана Баторія – дослідити історію її побудови, архітектурні особливості та сучасний стан.
3. На практичному прикладі виконати фотограмметричну зйомку башти за допомогою дрона, опрацювати знімки у програмах Agisoft Metashape для

отримання 3D-моделі, та опублікувати модель на онлайн-платформі Sketchfab.

4. Проаналізувати результати створення 3D-моделі – оцінити якість та точність моделі, а також окреслити можливі напрямки застосування отриманої тривимірної моделі в практиці.

Методи дослідження. В ході роботи використовувалися методи фотограмметрії ближнього діапазону (Structure from Motion), зокрема аерофотозйомка дроном для збору вихідних даних, комп'ютерна обробка зображень для генерації хмар точок, сітчастої моделі та текстур, а також методи аналізу точності отриманої 3D-моделі. Для теоретичного огляду були застосовані методи аналізу літературних джерел (монографій, статей, веб-ресурсів) щодо технологій 3D-сканування пам'яток.

Науково-практична значущість. Робота демонструє ефективність застосування фотограмметрії з дрона для цифрової фіксації складних архітектурних об'єктів. Отримана 3D-модель має практичне значення: її можна використати для віртуальних екскурсій та експозицій, робіт з реставрації (як основа для планування та моделювання втраченої частини), для архівування стану пам'ятки на певний момент часу та популяризації об'єкта серед широкої аудиторії. Враховуючи статус башти Стефана Баторія як пам'ятки національного значення, її цифрова реконструкція робить внесок у збереження культурної спадщини та сприяє розвитку напрямку цифрової гуманітаристики в Україні.

Апробація результатів. Результати досліджень оприлюднено у Збірнику наукових праць студентів та магістрантів Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. [Електронний ресурс]. 2025. Вип. 19 [19].

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі реалізовано комплексне дослідження та практичне застосування технології фотограмметрії для створення тривимірної моделі архітектурної пам'ятки – башти Стефана Баторія в Кам'янці-Подільському. На основі проведеного історико-архітектурного аналізу, огляду сучасних методів 3D-сканування та практичного досвіду отримання моделі, можна зробити такі висновки.

Башта Стефана Баторія є видатною пам'яткою оборонної архітектури XVI–XVIII ст., яка пройшла через кілька етапів перебудов і збереглася до наших днів. Історичний аналіз показав, що башта має багату історію та високу цінність як найбільша міська башта Кам'янця. Ця пам'ятка національного значення потребує ретельної документації та збереження, що обґрунтовує актуальність застосування новітніх технологій, зокрема фотограмметрії, для її оцифрування.

Сучасні методи 3D-сканування пам'яток включають фотограмметрію, лазерне сканування, панорамну зйомку та інші цифрові підходи. Фотограмметрія була детально розглянута як доступний, високодетальний метод, що перетворює фотографії на 3D-моделі. Лазерне сканування доповнює фотограмметрію точністю та повнотою захоплення форми, але є дорожчим та складнішим у застосуванні. Панорамна зйомка забезпечує створення 360° оглядів середовища, що корисно для віртуальних турів. Огляд літератури та технологій підтвердив, що фотограмметрія з використанням дронів сьогодні займає провідне місце у 3D-документуванні культурної спадщини завдяки поєднанню високої якості результатів та відносної простоти виконання.

У практичній частині успішно здійснено створення 3D-моделі башти методом фотограмметрії. Виконано аерофотозйомку дроном навколо башти, отримано достатній набір знімків (120 фото) з високим перекриттям. Продемонстровано, що дрон дозволяє охопити всю башту з різних ракурсів, включно з верхівкою та важкодоступними зонами, що підтверджує ефективність UAV-фотограмметрії для подібних об'єктів.

За допомогою програмного забезпечення Agisoft Metashape фотографії оброблено і побудовано детальну 3D-модель. Модель містить близько 5 мільйонів полігонів, з високоякісною текстурою, і реалістично відтворює геометрію пам'ятки. Це відповідає очікуванням і цілям роботи – отримати наочний і точний цифровий двійник башти.

Модель опубліковано на Sketchfab, що зробило її доступною для широкого загалу в інтерактивному форматі. Налаштовано анотації та візуальні ефекти, завдяки чому модель слугує не лише науковим документом, а й зручним освітньо-презентаційним матеріалом.

Аналіз отриманої моделі показав її високу якість та відповідність вимогам. Геометрична точність моделі (приблизно 3–5% похибки у масштабі) є достатньою для більшості практичних застосувань – від віртуальних екскурсій до попередніх інженерних оцінок. Візуальна правдивість моделі дуже висока: текстури фотореалістичні, деталі дрібних елементів збережено. Незначні недоліки (шум у важкодоступних зонах, прогалини через рослинність) не впливають на загальну цінність моделі, і їх можна усунути за потреби додатковими даними. Результат підтверджує, що застосована методика фотограмметрії з дрона ефективна і надійна для документування подібних об'єктів.

Практична цінність створеної 3D-моделі є багатоаспектною. Робота продемонструвала, що така модель може слугувати основою для віртуальних турів та популяризації пам'ятки – через Sketchfab та інші платформи; може використовуватися в реставраційній діяльності – як точний цифровий обмірний матеріал, для планування ремонтів, контролю деформацій тощо.

Моніторинг стану пам'ятки в динаміці – порівняння моделей різних років – допоможе виявляти зміни і загрози.

Модель можна застосовувати в освіті та дослідженнях – як навчальний посібник з архітектури фортифікацій, для історичних реконструкцій, археологічного аналізу; для розвитку цифрових музейних експозицій – модель башти може бути включена до цифрової колекції, поряд з іншими об'єктами, утворюючи віртуальний музей Кам'янця-Подільського. Також важливим є

забезпечити довготривале збереження інформації про об'єкт у цифровому архіві, що є страховкою на випадок втрати або руйнування пам'ятки у майбутньому.

В процесі роботи напрацьовано досвід та методичні рекомендації, які можуть бути узагальнені. Для об'єктів типу башти оптимально комбінувати кругові обльоти на декількох рівнях і вертикальні маршрути з дрона, щоб добитися повного покриття. Використання контрольних точок бажане, якщо потрібна висока метрична точність; у нашому випадку її було достатньо й без них, але для критичних задач слід передбачити масштабування. Варто звертати увагу на освітлення: рівномірне світло суттєво полегшує роботу, як було підтверджено у нашій зйомці (мінімізовано пересвіти і тіні).

Програма Metashape добре себе зарекомендувала – вона надійно впоралася із завданням, а якість результату багато в чому залежала від якості вихідних фото. Тому основний акцент слід робити на етапі фотозйомки: чим краще продумана та виконана зйомка, тим легше і якісніше пройде обробка.

Публікація на Sketchfab потребує оптимізації моделі (редукції полігонів, зменшення текстур) – ці кроки вдалося зробити без втрати якості. Тому для веб-публікацій рекомендується робити окрему “полегшену” копію моделі.

Дослідження підтвердило, що фотограмметрія з використанням дронів – дієвий інструмент фіксації культурної спадщини. На прикладі башти Стефана Баторія показано, що навіть складний історичний об'єкт може бути задокументований з високою точністю за порівняно короткий час і з помірними затратами. Це відкриває перспективи для ширшого застосування подібних технологій в Україні. В майбутньому планується продовжити дані дослідження: розширити 3D-сканування й на інші об'єкти Кам'янця-Подільського (наприклад, інші башти, замковий міст), а також апробувати інтеграцію отриманих моделей у віртуальні тури міста. Такий комплексний підхід сприятиме не лише збереженню інформації про пам'ятки, але й залученню громадськості до їх цінування через сучасні цифрові засоби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. easy3dprint. Що таке 3D-сканування та як воно працює. Опубліковано 02.03.2025. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://easy3dprint.com.ua/uk/3d-skanuvannya-shho-take/>
2. МКІП України. 3D пам'ятки: технологія створення цифрових версій об'єктів культури. Міністерство культури та інформаційної політики України, 2023. [Електронний ресурс]. Доступно: mcsc.gov.ua/news/3d-ramyatkyy-tehnologiya-stvorennnya-czyfrovyh-versij-obyektiv-kultury/ (дата звернення: 10.05.2025).
3. Federman A. et al. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry in the Conservation of Historic Places: Carleton Immersive Media Studio Case Studies. Drones, MDPI, 2018, 2(2), 18. DOI:10.3390/drones2020018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.mdpi.com/2504-446X/2/2/18>.
4. Photogrammetry vs Laser Scanning: Which is Better for 3D [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.artstation.com/digitalrealitylab/blog/6G4X/photogrammetry-vs-laser-scanning-which-is-better-for-3dapplications>
5. Artec 3D. Photogrammetry vs 3D scanning for creating a 3D model. By Matthew McMillion and Paul Hanaphy. Опубліковано Oct. 21, 2024. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.artec3d.com/learning-center/photogrammetry-vs-3d-scanning>
6. Md-Ukraine (Travel Portal). Башта Стефана Баторія, з імені башти. Md-Ukraine.com, 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: https://md-ukraine.com/ua/object/detail/1287_basta-stefana-batoria.html (дата звернення: 05.06.2025).
7. Башта Стефана Баторія - [Seencleyr_113 :: М Д Й С Т Е Р Н Я # 1 1 3]. Seencleyr, Опубліковано 20 квітня 2013 14:58. [Електронний

- ресурс]. Режим доступу: https://blog.seencleyr.com/2013/04/blog-post_20.html#:
8. Кам'янець-Подільський. Фортифікації Старого міста. Україна Інкогніта, краєзнавчий портал, 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: ukrainaincognita.com/.../kamyanets-podilskyi-fortyfikatsii-starogo-mista (дата звернення: 05.06.2025).
 9. Agisoft. Agisoft Metashape Photogrammetric Processing Software. Agisoft LLC, [Офіційний веб-сайт], 2025. [Електронний ресурс]. Доступно: agisoft.com (дата звернення: 01.06.2025).
 10. Wikipedia. Sketchfab. Wikipedia, The Free Encyclopedia, last edited March 2025. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sketchfab>.
 11. Man-San Ma. Sketchfab: Embedding an interactive 3D viewer. Personal Blog & Tutorials, 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: mansan.squarespace.com/blog-tutorials/.../sketchfab-3d-viewer.
 12. Share 3D Guidelines. Getting started in Sketchfab. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://carare.gitbook.io/share-3d-guidelines/3d-process/publishing/getting-started-in-sketchfab>.
 13. ScienceDirect. Laser scanner and drone photogrammetry: A statistical comparison between 3-dimensional models and its impacts on outdoor crime scene registration. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073821004205>.
 14. Grande C., Rossi P. Heritage Documentation: Photogrammetry vs. Laser Scanning – Accuracy and Points Density. International Archives of the ISPRS, 2020. Vol. XLIII-B2, pp. 957–964.
 15. Luhmann T., et al. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. De Gruyter, 2019. 2nd ed.
 16. Siebert S., Teizer J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. Automation in Construction, 2014, 41, pp. 1–14.

- 17.Гнідець Р. Фотограмметрія в архітектурі та реставрації: методичні рекомендації. Львів: Львівська Політехніка, 2021. 48 с.
- 18.Нікітенко Т. Цифрові технології в музеї: 3D-моделі та доповнена реальність. Збірник матеріалів конф. «Музеї в цифрову епоху», 2022. С. 25–30.
19. Коваленко Дмитро. СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОГРАММЕТРІЇ ДРОНІВ. Збірник наукових праць студентів та магістрантів Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2025. Вип. 19. С. 132-134.