



УДК 721

ORCID ID: 0000-0003-4202-6156

ORCID ID: 0009-0001-6727-9435

DOI <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2025-37-8>

Ганна Олійник

*старша викладачка кафедри архітектурного проектування
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
oliynyk_gi@ukr.net*

Карина Василенко

*здобувачка вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
факультет архітектури
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
Centruvagy@gmail.com*

ІНТЕГРАЦІЯ ФОТОГРАМЕТРІЇ І ТЕХНОЛОГІЙ LiDAR У СИСТЕМУ АРХІТЕКТУРНОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Анотація. *Метою нашого дослідження є вивчення можливостей впровадження фотограмметрії і технологій LiDAR¹ у систему архітектурної освіти України. Основну увагу приділено практичному досвіду використання таких технологій під час літнього тренінгу 2024 року та визначенню перспектив їхньої інтеграції у навчальний процес для розширення професійних компетенцій студентів-архітекторів. Методи.* Для досягнення поставленої мети було використано кілька підходів, зокрема практичний досвід: літній тренінг з фотограмметрії та 3D-сканування, який дав змогу оцінити ефективність технологій у реальних умовах; аналіз переваг: визначення ключових аспектів використання фотограмметрії та технологій LiDAR в архітектурній діяльності; огляд освітнього контексту: дослідження поточних можливостей для впровадження цифрових інновацій у навчальні програми архітектурних факультетів. **Результати дослідження.** Участь у тренінгу виявила значний потенціал фотограмметрії і технологій LiDAR для архітектурної освіти. Студенти продемонстрували високий рівень зацікавленості та відзначили низку переваг: простоту інтеграції з сучасними програмними продуктами; можливість отримання точних тривимірних моделей архітектурних об'єктів; полегшення документування і реставрації історичних споруд. Особливо актуальним є застосування таких технологій у сфері збереження культурної спадщини, де точність, делікатність і зворотність втручання є критично важливими. Практичні вправи показали, що оволодіння технологіями майже не потребує досвіду, а результативність навчання суттєво зростає завдяки візуалізації та практичним завданням. **Висновки.** Використання фотограмметрії та LiDAR у навчальному процесі може стати ефективним інструментом для розвитку професійних навичок студентів. Зважаючи на позитивний досвід тренінгу, рекомендовано: розробити спеціалізовані курси або модулі, присвячені цим технологіям; внести практичні вправи з фотограмметрії та 3D-сканування до навчальних програм; розширити технічну базу факультетів для забезпечення доступу до сучасного обладнання. Особливу увагу варто приділити застосуванню цих технологій у сфері реставрації: точні цифрові моделі сприяють детальному аналізу стану історичних об'єктів, дають змогу фіксувати втрати, планувати обґрунтовані втручання та зберігати цифрову документацію для майбутніх поколінь. Впровадження таких заходів сприятиме підвищенню якості архітектурної освіти в Україні та її адаптації до сучасних вимог галузі.

Ключові слова: *фотограмметрія, технології LiDAR, 3D-сканування, система архітектурної освіти України, охорона культурної спадщини, реставрація.*

¹ Light Detection and Ranging; укр.: технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах.

**INTEGRATION OF PHOTOGRAMMETRY AND LIDAR TECHNOLOGIES
IN THE ARCHITECTURAL EDUCATION SYSTEM OF UKRAINE: CHALLENGES AND PROSPECTS**

Hanna Oliinyk

*Senior Lecturer at the Department of Architectural Design,
National Academy of Fine Arts and Architecture
oliinyk_gi@ukr.net*

Karyna Vasylenko

*Student of the First (Bachelor's) Level of Higher Education
Faculty of Architecture
National Academy of Fine Arts and Architecture
Centruvagy@gmail.com*

Abstract. *The purpose of this study is to study the possibilities of introducing photogrammetry and LiDAR technologies into the architectural education system of Ukraine. The main attention is paid to the practical experience of using these technologies during the summer training of 2024 and determining the prospects of their integration into the educational process to expand the professional competencies of architectural students. **Methods.** Several approaches were used to achieve the goal: practical experience: summer training in photogrammetry and 3D-scanning, which allowed to assess the effectiveness of technologies in real conditions; analysis of advantages: determination of key aspects of the use of photogrammetry and LiDAR in architectural activity; an overview of the educational context: researching the current opportunities for the implementation of digital innovations in the educational programs of the faculties of architecture. **Research results.** Participation in the training revealed the significant potential of photogrammetry and LiDAR for architectural education. Students demonstrated a high level of interest and highlighted several advantages: 1) ease of integration with modern software tools; 2) the ability to generate accurate three-dimensional models of architectural objects; 3) facilitation of documentation and restoration of historical structures. Particularly relevant is the application of these technologies in the field of cultural heritage preservation, where precision, delicacy, and reversibility of interventions are critically important. Practical exercises showed that mastering these technologies does not require extensive prior experience, while the effectiveness of learning significantly increases through visualization and hands-on tasks. **Conclusions.** The use of photogrammetry and LiDAR in the educational process can serve as an effective tool for developing students' professional skills. Based on the positive outcomes of the training, it is recommended to: develop specialized courses or modules dedicated to these technologies; integrate practical exercises in photogrammetry and 3D-scanning into academic programs; and expand the technical infrastructure of faculties to ensure access to modern equipment. Special attention should be given to the application of these technologies in the field of restoration: accurate digital models support detailed analysis of the condition of historical structures, enable the documentation of losses, facilitate the planning of well-grounded interventions, and help preserve digital records for future generations. Implementing these measures will contribute to improving the quality of architectural education in Ukraine and its alignment with contemporary industry demands.*

Key words: *photogrammetry, LiDAR technologies, 3D-scanning, system of architectural education of Ukraine, protection of cultural heritage, restoration.*

Постановка проблеми. У сучасному світі цифровізація стає невіддільною складовою архітектурної освіти, проте впровадження прогресивних технологій, таких як фотограмметрія та LiDAR залишається недостатнім. Ці технології відкривають нові можливості для аналізу, реконструкції та моделювання архітектурних об'єктів, зокрема у сфері реставрації, де точність і збереження автентичності є критичними. Вони дають змогу детально фіксувати стан історичних будівель, оцінювати їхні пошкодження, планувати обґрунтовані втручання та зберігати цифрову документацію для майбутніх поколінь. Проте цим технологіям не відведено належного місця в навчальному процесі. Відсутність систематичного підходу

до їхнього викладання обмежує конкурентно-спроможність студентів на міжнародній арені та стримує розвиток сучасної архітектурної практики в Україні. Потреба інтеграції цих технологій в освітні програми є нагальною, враховуючи їхній потенціал для формування нових професійних компетентностей, особливо в контексті збереження культурної спадщини та реставрації архітектурних пам'яток.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наукових та освітніх колах активно обговорюються перспективи використання цифрових технологій в освіті. Цифровізація вищої освіти базується на розвитку технологій доступу до мережі, напівпровідникових технологій і програмного забезпечення, що сприяє

розширенню освітніх можливостей [1]. Так, зарубіжні дослідники наголошують на ефективності фотограмметрії та технологій LiDAR під час документування культурної спадщини, створення цифрових моделей об'єктів та вдосконалення методів реставрації [2; 3]. Це дуже важливе для практики реставрації, оскільки точні цифрові моделі дають змогу детально фіксувати стан історичних споруд, виявляти пошкодження і втрати, а також планувати відповідні реставраційні заходи.

В Україні про використання цих технологій у професійній діяльності архітекторів та реставраторів йдеться в окремих дослідженнях [4; 5], однак систематизоване їхнє впровадження в освітній процес ще не стало повсякденною практикою. Це особливо актуально в умовах війни, коли збереження культурної спадщини стало одним із пріоритетів. За даними Міністерства культури та інформаційної політики України, з початку повномасштабного вторгнення Росії було знищено або пошкоджено 1096 пам'яток архітектури, зокрема 121 – національного значення, 892 – місцевого та 83 – щойно виявлені об'єкти [6]. З огляду на це, особливо важливим є використання цифрових технологій для збереження пам'яток архітектури, їхнього відтворення і реставрації.

Програми, які впроваджуються в Україні, спрямовані на підготовку фахівців у сфері архітектурної спадщини та адаптацію інноваційних технологій. Так, курс Харківської школи архітектури (ХША), що реалізується за підтримки грецької Організації з управління спадщиною HERITAGE (The Heritage Management Organization), передбачає вивчення методології викладання фотограмметрії, лазерного сканування, GIS-управління та 3D-моделювання, що дасть змогу студентам і аспірантам отримати практичні знання у цій галузі [7]. Важливим напрямком є воркшопи, – наприклад «Спадок», координований ЮНЕСКО, – які пропонують практичні алгоритми збереження культурної спадщини в умовах війни [8].

Окрім освітніх програм, диджиталізації культурної спадщини з 2022 року значну увагу приділяють як міжнародні організації (ЮНЕСКО, ICOMOS, HERITAGE), так і українські інституції. Так, грантова програма «Культурна спадщина» від Українського культурного фонду сприяє впровадженню цифрових технологій у процес дослідження та збереження архітектурних пам'яток [9]. Це важливо не лише для сучасного документування, але

й для навчального процесу, де технології фотограмметрії та LiDAR можуть стати інструментом, що збагачує традиційні методи викладання та сприяє реставрації пам'яток.

Показовим у цьому контексті є інтерв'ю з В. Рожком, фахівцем із цифрових технологій в архітектурі, який акцентує увагу на тому, що фотограмметрія та лазерне сканування вже зараз стали невіддільними від сучасних практик збереження культурної спадщини. Він підкреслює, що ці інструменти допомагають швидко і точно фіксувати стан об'єктів, навіть у зоні бойових дій, і водночас слугують основою для майбутнього відтворення та цифрової реконструкції. В. Рожко також наголошує на необхідності створення національної цифрової бази культурної спадщини, до якої могли б мати доступ як дослідники, так і студенти архітектурних спеціальностей. На його думку, інтеграція таких практик в освітній процес є не лише актуальною, але й стратегічно необхідною умовою формування фахівця нової генерації, здатного працювати з даними в умовах нестабільності та втрат [10].

Таким чином, сучасні дослідження та ініціативи є свідченням активного розвитку цифрових технологій у сфері архітектурної освіти та збереження спадщини, включно з реставрацією пам'яток. Інтеграція фотограмметрії і технологій LiDAR відкриває нові можливості для підготовки висококваліфікованих фахівців та створення інноваційного навчального середовища, здатного відповідати потребам реставрації та збереженню культурної спадщини в умовах сучасних загроз.

Виклад основного матеріалу. В Україні триває реформа вищої освіти, яка передбачає створення інноваційного середовища, де студенти зможуть розвивати ключові компетентності, необхідні для успішної життєдіяльності і позитивного впливу на соціально-економічний та інноваційний розвиток країни [11]. Теперішня система вищої освіти України в галузі архітектури та будівництва стрімко змінюється, намагаючись якомога повніше відповідати світовим тенденціям розвитку цифровізації. На сьогодні архітектор-фахівець дедалі більше потребує набуття високого рівня цифрової компетентності та вміння володіти новітніми професійними програмами і технологіями. Тому надзвичайно корисним та інформативним був літній тренінг «Оцифрування архітектурної спадщини: 3D-сканування для збереження і відновлення», проведений 22–26 липня 2024 р. у Києві за підтримки уряду Японії в рамках

проекту ЮНЕСКО. Ця міжнародна організація прагне підтримувати зміцнення охорони культурної спадщини в Україні шляхом систематичного моніторингу та оцінки збитків, а також ефективного реагування на надзвичайні ситуації в контексті збільшення шкоди культурній спадщині, одночасно інтегруючи захист культурної спадщини в плани відновлення. У тренінгу взяли участь студенти-архітектори і викладачі Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури (НАОМА) та Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА). Тьюторами курсу/тренінгу виступили учасники програм Бюро ЮНЕСКО в Україні зі збереження і відновлення архітектурної спадщини: Сергій Ревенко (Україна), Джо Каллас (Ліван) та Педро Кантор (Колумбія).

Програма тренінгу охоплювала кілька етапів:

- ознайомлення зі спеціальною апаратурою – 3D-сканером (іл. 1), здобуття навичок користування та розуміння процесу фіксації даних;

- ознайомлення зі способом збирання даних за допомогою фотограмметрії;

- ознайомлення зі способами та потребами моніторингу за станом об'єктів культурної спадщини;

- демонстрація новітніх цифрових технологій для збирання геодезичних даних – GPS-геодезія;

- камеральна робота над опрацюванням зібраної інформації за допомогою спеціалізованих програм з метою отримання хмари точок (англ. point cloud), яку згодом використовують зокрема для відтворення цілісної моделі об'єкта в архітектурних програмах;

- самостійна робота (домашнє завдання): запропонувати своє бачення застосування зібраного матеріалу, виклавши його у формі презентації.

Учасникам проекту була надана можливість під керівництвом спеціалістів спробувати попрацювати з лазерним 3D-сканером, який фіксує силу відбивання лазерного променя від об'єкта, одночасно зчитуючи інформацію про колір та матеріал з максимальної кількості точок поверхні (див. іл. 1). Апарат створений на основі системи LiDAR (Light Detection and Ranging) – технології дистанційного зондування. Принцип роботи LiDAR полягає у випромінюванні лазерних імпульсів, які відбиваються від об'єктів на сенсор. Час повернення імпульсу використовується для розрахунку відстані до об'єкта, що дає змогу

створювати тривимірні моделі та карти місцевості з високою точністю.

Технологія 3D-сканування допомагає створювати детальні й точні цифрові моделі об'єктів, які потім імпортують в програмне забезпечення для проектування чи візуалізації. За допомогою лазера отримують докладну інформацію про розміри та геометрію поверхонь об'єкта. Точність методу дає змогу фіксувати і відтворювати найменші деталі розміром від 1 мм, тому його доречно використовувати для створення цифрових копій історичних пам'яток архітектури зі складним оздобленням, багатою архітектурною пластикою, ліпниною тощо.

Розпочинаючи 3D-сканування, найперше, визначають траєкторію встановлення апарату з інтервалом, що не перевищує 15 м. Якщо відстань між станціями буде коротшою, отримуватимемо більше точок, які густіше накладатимуться одна на одну (співпадатимуть), отже легше буде «зшивати» їх у 3D-об'єкт, що складатиметься з «хмари» точок. Така технологія надає для роботи фахівцям дуже точну інформацію про об'єкт: його фізичні розміри, фактуру, текстуру, колір поверхні, наявність пошкоджень та їхній характер. Спираючись на отримані дані, фахівці мають змогу в камеральних умовах документувати об'єкт, досліджувати, моніторити його стан. Імпортувавши «хмару» точок в архітектурне або інженерне програмне забезпечення (ми працювали в програмах ArchiCAD та Revit) можна виконувати обмірні креслення: плани, фасади, робити детальні розрізи, окремі деталі, профілі стін та інших елементів; працювати одночасно з екстер'єром та інтер'єром. До речі, за необхідності (залежно від потужності комп'ютера) «хмару» точок можна розріджувати для полегшення маніпулювання 3D-зображенням.

3D-сканування, виконане архітектором, тьютором тренінгу, який спеціалізується на лазерному скануванні та документуванні руйнувань культурної спадщини в Україні С. Ревенком, лягло в основу відновлення купола Будинку вчителя в Києві на Володимирській вулиці, який був зруйнований 10.10.2022 р. під час масованого обстрілу російськими військами України. Він також співпрацював з Бюро ЮНЕСКО в Україні над 3D-документацією інших історичних будівель, зокрема в Києві, Одесі, Харкові, Львові, Чернігові та Миколаєві.

3D-сканування використовують для моніторингу динаміки змін або стабільності

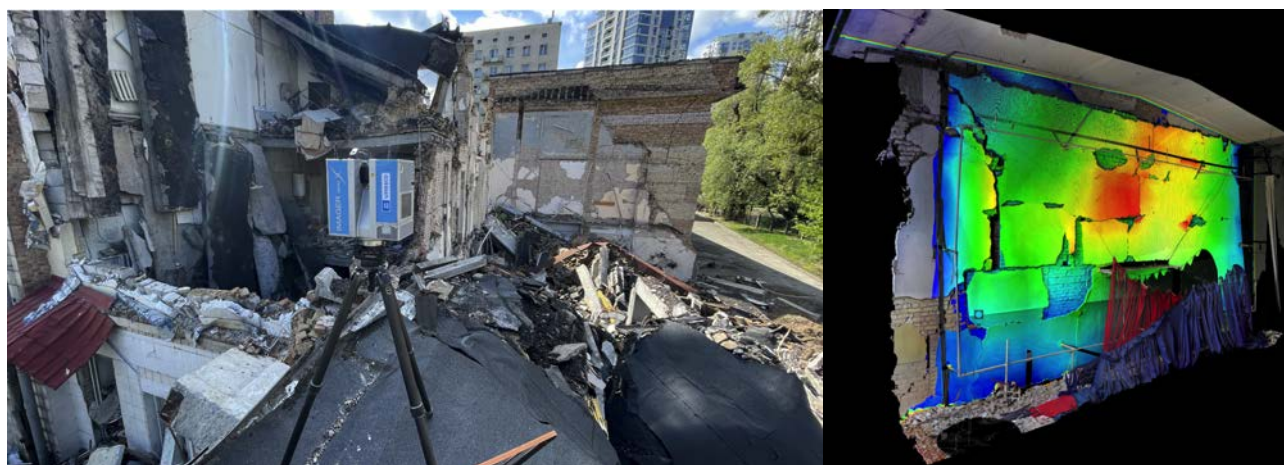
будівель, які можуть зазнати різних видів руйнувань через: вологість, вітер, різні біологічні чинники, зсуви ґрунтів тощо. Дуже важливо, особливо в умовах війни, яка триває на території України, що 3D-сканування не потребує безпосереднього контакту з об'єктом фіксації, оскільки він може знаходитися в небезпечному стані руйнації після бомбардування, або бути замінованим. Наприклад, таким чином вчасно визначили небезпечні ділянки стіни частини будівлі Київської державної академії декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім. М. Бойчука, куди влучила російська ракета 25.03.2024 р.; стіна загрозливо зависла на деякий час перед падінням. Отримавши попередження від спеціалістів, вчасно були вжиті відповідні термінові заходи (іл. 2).

Ще одним ефективним методом збирання інформації про об'єкт є фотограмметрія. Фотограмметрія – дає змогу перетворити звичайні фотографії у тривимірні моделі об'єктів. Порівняно з 3D-скануванням, фотограмметрія

має приємні переваги – вона не завжди потребує дорогого обладнання [12]. Розмістивши на будівлі мітки за методом триангуляції, користуючись хорошою фотокамерою або навіть простою камерою смартфона, покроково, за однією траєкторією об'єкт фотофіксується під різними кутами спрямованості до «нормалі». Фотофіксація має бути максимально щільною: бажано, щоб кожен наступний кадр перекривав попередній не менш ніж на 90%, що забезпечує наявність достатньої кількості спільних ознак між сусідніми зображеннями та виключає «прогалини». Далі, за допомогою спеціалізованих програм (наприклад, RealityCapture), що розпізнають та сортують фотознімки, розташовуючи їх за порядком покрокового знімання (з мінімальним втручанням в цей процес людини), створюється 3D-зображення. Програма використовує збіги між зображеннями для відтворення тривимірної моделі об'єкта у вигляді хмари точок або полігональної сітки. Одночасно програма



Іл. 1. Лазерний сканер вимірює відстань до об'єкта за часом прольоту лазерного променя та аналізує відбитий сигнал для визначення властивостей поверхні. [16]



Іл. 2. Критична горизонтальна деформація на внутрішній стіні концертного залу Національної академії декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім. М. Бойчука, в яку влучила російська ракета 25.03.2024. [16]

розкладає текстури з фотографій на відтворену 3D-модель, візуально надаючи їй реалістичного зовнішнього вигляду. Залежно від потреби, 3D-модель може бути експортована у різні формати. Зі створеною таким чином моделлю-хмарою можна працювати так само, як із хмарою, відзнятою за допомогою лазерного 3D-сканування.

Фотограмметрія та лазерне сканування є двома різними технологіями для вимірювання та відтворення фізичних об'єктів у цифровому форматі. Обидві технології мають свої переваги та недоліки, тому обирають метод залежно від конкретних завдань, часто використовуючи обидва.

Переваги фотограмметрії.

1. Фотограмметрія може виконуватися за допомогою стандартного фотоапарата, тому витрати на обладнання менші, аніж у випадку лазерного 3D-сканування.

2. Не потрібно носити важкий сканер, в даному разі потрібна лише камера і, можливо, штатив до неї.

3. Висока роздільна здатність текстури для 3D-моделі (при хорошій камері).

Недоліки фотограмметрії.

1. Для забезпечення достатньої деталізації необхідна надзвичайно велика кількість фотографій.

2. Якість фотоматеріалу дуже залежить від зовнішніх умов: освітлення, погоди, наявності рухомих предметів у кадрі (людей, транспорту, тварин, порухів апарату за відсутності штативу тощо).

3. Іноді можна заплутатись у великій кількості світлин, або не віднайти якоїсь сполучної ланки – «прогалини».

Переваги лазерного 3D-сканування.

1. Лазерне сканування гарантує високу точність вимірювання, що необхідно, наприклад, для реставраційних та відновлювальних робіт на об'єктах архітектури.

2. Швидкість збирання великої кількості даних, що надзвичайно важливо під час виконання термінових проєктів, або навіть під час роботи між обстрілами.

Лазерне сканування дає точну та детальну геометрію об'єкта, тоді як фотограмметрія, завдяки високій роздільній здатності може допомогти детально відобразити текстуру об'єкта. Поєднання цих двох технологій дає змогу отримати все найкраще від обох: детальну і точну геометрію та високу якість текстури в одному опрацьованому скануванні.

Учасник програми Бюро ЮНЕСКО в Україні Д. Каллас презентував свій досвід роботи з технологією фотограмметрії [13], яка відіграла ключову роль у прискоренні заходів з реагування на стихійні лиха, спрямованих на збереження культурної спадщини Бейруту після найбільшого в історії руйнівного вибуху, який стався 04.08.2020 року. Потужність вибуху була близько 2 кілотонн у тротиловому еквіваленті. Вибуховою хвилею практично повністю було зруйновано припортову інфраструктуру та пошкоджено будівлі на відстані до 10 км. Д. Каллас працював з командою волонтерів-студентів. Покроково, вони накопичували сотні тисяч кадрів. Їхнім винаходом було встановлення трьох дзеркальних фотокамер на штативі витотою 15 м, що дорівнювало середній висоті припортових будівель міста. Камери дублювали кадри з однієї точки, але з різних ракурсів для гарантованої якості кадрів. Для



Іл. 3. Покрокове накопичення кадрів. Тимчасові брезентові накриття для ізоляції від опадів вцілілих конструкцій. [17]

фотограмметрії також використовують дрони, переважно марки DJI. Отриманий матеріал допоміг оцінити ситуацію й ухвалити оперативні рішення, йдеться про виготовлення тимчасових брезентових дахів для ізоляції від опадів вцілілих конструкцій (іл. 3).

Учасник програми Бюро ЮНЕСКО в Україні, спеціаліст з конструктивного аналізу та пожежної безпеки пам'яток архітектури П. Кантор (Лісабонський університет) ознайомив учасників тренінгу з методами та способами збирання інформації для визначення пошкодженості та загроз руйнації будівель (іл. 4), різновидів і способів їхньої фіксації та моніторингу [14].

Літній тренінг відбувався на базі історичної будівлі Поштової станції на Поштової площі в Києві. Матеріал, отриманий у «польових умовах» методом лазерного 3D-сканування та фотограмметрії, наприкінці курсу, вже в «камеральних» умовах, був опрацьований на навчальних версіях відповідних програм, які перетворюють сканований та фотоматеріал на 3D-об'єкт у вигляді «хмари» точок. Завдяки високоточним даним, можливо відтворювати навіть декоративне оформлення інтер'єрів, меблі, роздивлятися картини на стінах, у зруйнованих будівлях бачити куди і звідки падали уламки будівельних конструкцій та навіть снарядів тощо.

Після тренінгу всі учасники отримали домашнє завдання: виконати презентацію

отриманих знань, задокументувавши об'єкт дослідження у вигляді креслень (іл. 5) та 3D-моделі (іл. 6).

Під час проведення зі студентами НАОМА літньої обмірно-проектної практики в середовищі історичної спадщини вони набули цінний досвід, який дав змогу порівняти «класичні» методи виконання обмірно-фіксуральних робіт із використанням новітніх технологій. Виконання завдання за допомогою традиційних методів обмірів і обробки даних тривало 15 днів напруженої праці [15]. Натомість застосування сучасних технологій, таких як фотограмметрія та LiDAR, скоротило б цей термін до 5 днів. Це обумовлене тим, що в межах класичного методу виникає необхідність неодноразово повертатися до об'єкта для додаткових замірів, тоді як використання новітніх методів передбачає виконання обмірів протягом одного дня з подальшим камеральним опрацюванням даних. Тривалість етапу опрацювання залежить тільки від складності архітектурної форми об'єкта і не потребує повторних виїздів на місце.

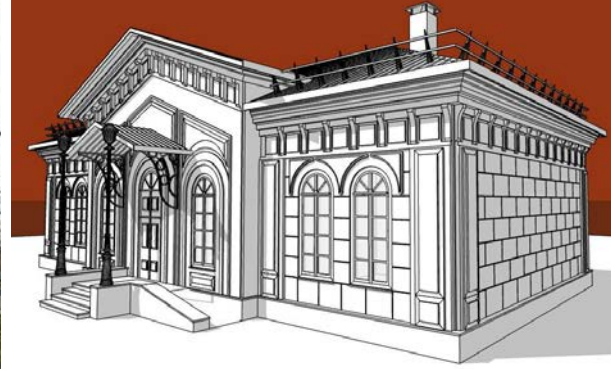
Висновки і перспективи використання результатів дослідження. У контексті розвитку сучасних архітектурних практик і технологій, оцифрування архітектурної спадщини набуває особливої важливості не тільки як інструмент збереження, але й як елемент навчання та професійного розвитку архітекторів. Застосування таких технологій, як



Іл. 4. Документування руйнацій та пошкоджень Спасо-Преображенського кафедрального собору Одеси, в який влучила російська ракета 23.07.2023 р. [18]

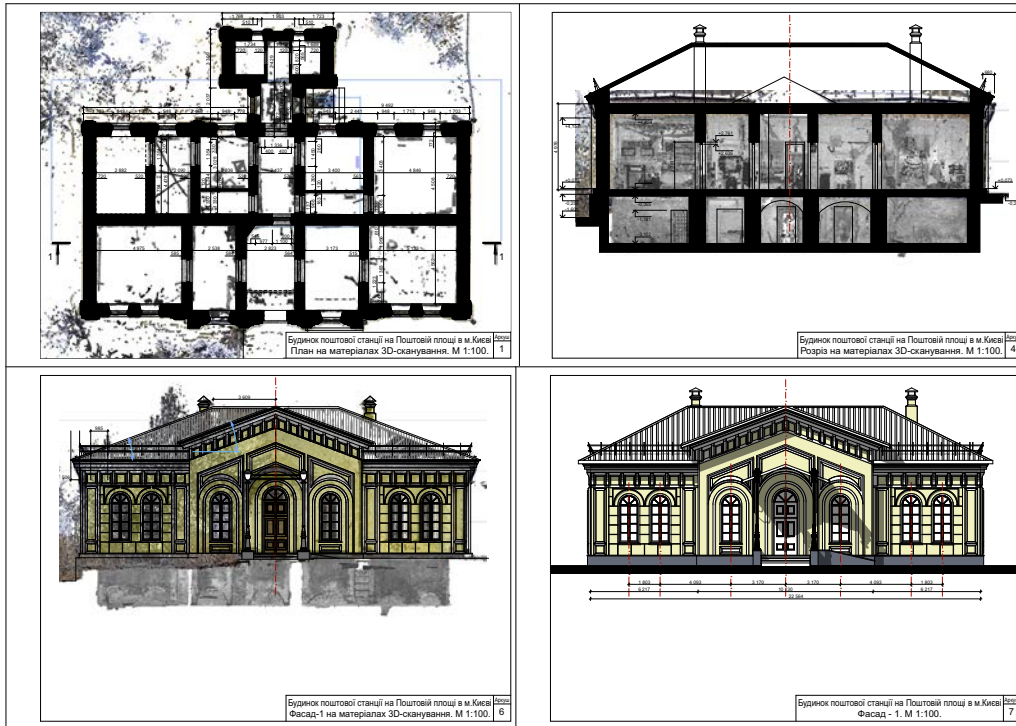


а



б

Іл. 5. Будівля Поштової станції на Поштовій площі у Києві: *а* – у вигляді хмари точок; *б* – 3D-модель, виконана в програмі ArchiCAD на основі хмари точок. 2024. [Виконавці: ст. викладач Г. Олійник, студентки К. Василенко, С. Богомаз]



Іл. 6. Креслення будівлі Поштової станції на Поштовій площі в Києві, виконане на основі хмари точок. 2024. [Виконавці: ст. викладач Г. Олійник, студентки К. Василенко, С. Богомаз]

3D-сканування та фотограмметрія, відкриває нові можливості для точного документування архітектурних об'єктів, створення високоточних цифрових моделей та подальшої реставрації. Тренінг, присвячений застосуванню цих технологій у сфері архітектурної освіти та реставрації, став важливою сходинкою в адаптації інноваційних методів для українських фахівців. Використання 3D-технологій дає змогу підвищити ефективність роботи в умовах війни та інших кризових ситуаціях, коли

збереження об'єктів архітектурної спадщини потребує нових підходів.

На основі аналізу роботи тренінгу «Оцифрування архітектурної спадщини: 3D-сканування для збереження і відновлення» нами сформульовані висновки.

1. Оцифрування архітектурної спадщини за допомогою таких сучасних технологій, як 3D-сканування та фотограмметрія є важливим кроком до інтеграції цифрових інструментів в архітектурну освіту. Це допомагає студентам

і професіоналам отримати практичні навички роботи з новітніми технологіями, що відповідають світовим тенденціям розвитку цифровізації в галузі архітектури та будівництва.

2. В умовах війни та природних катастроф, коли архітектурні об'єкти зазнають значних руйнувань, технології 3D-сканування та фотограмметрії дають змогу створювати високоточні цифрові моделі, що стають основою для реставраційних робіт і моніторингу стану об'єктів. Такі методи забезпечують детальну документацію й оцінку пошкоджень, що є критично важливим для збереження культурної спадщини. Окрім того, такі моделі можуть слугувати основою для майбутніх реставраційних проєктів, що передбачають не тільки відновлення зовнішнього вигляду, але й технологічне оновлення будівель.

3. Поєднання лазерного 3D-сканування та фотограмметрії дає змогу отримати максимально точні цифрові копії об'єктів, що охоплюють як геометричні характеристики, так і текстурні деталі. Така комбінація технологій підвищує ефективність відтворення реалістичних 3D-моделей і застосовується для реставраційних робіт, що є важливим для архітекторів, реставраторів та науковців.

4. Спільна робота з міжнародними експертами, які мають досвід застосування передових технологій для збереження культурної спадщини, сприяє розвиткові висококваліфікованих фахівців у цій галузі. Навчальні програми і тренінги з участю таких експертів, як С. Ревенко, Д. Каллас та П. Кантор, значно

покращують професійний рівень та підвищують можливості для ефективного використання новітніх технологій.

5. В умовах війни та інших кризових ситуаціях, коли доступ до об'єктів може бути обмежений через загрози для безпеки, технології 3D-сканування та фотограмметрії дають змогу збирати точні дані без фізичного контакту з об'єктами. Це особливо важливо для документування пошкоджених або замінованих будівель, що потребують швидкого реагування і безпеки. Крім того, це уможливорює створення бази даних для подальших реставраційних робіт, не порушуючи цілісності об'єктів.

6. Враховуючи позитивний досвід застосування 3D-сканування та фотограмметрії на тренінгу, можна із впевненістю твердити, що ці технології мають стати частиною навчальних програм архітектурних факультетів України. Вони забезпечують студентам можливість глибше розуміти процеси збереження та відновлення архітектурної спадщини, а також працювати з новітніми цифровими інструментами для вирішення реальних завдань у реставрації та реконструкції.

Висновки підтверджують важливість інтеграції новітніх цифрових технологій у навчальні програми та практичну діяльність архітекторів і фахівців, особливо тих, які займаються збереженням культурної спадщини, і сприяють розвиткові ефективних підходів до реставрації та відновлення об'єктів архітектурної спадщини в умовах кризових викликів.

Список використаних джерел

1. Базелюк О. Особливості цифровізації вищої освіти в сучасних умовах. *Педагогічні інновації: ідеї, реалії, перспективи*. 2021. № 2(27). С. 37–43. URL: https://pi.iod.gov.ua/images/pdf/2021_2/5.pdf (дата звернення: 05.12.2024).
2. Parsinejad H., Choi I., Yari M. Production of Iranian Architectural Assets for Representation in Museums: Theme of Museum-Based Digital Twin. *Body, Space & Technology*. 2021. № 20. P. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.16995/bst.364> (дата звернення 05.11.2024)
3. A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage / Bekele M., Pierdicca R., Frontoni E., Malinverni E.S. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*. 2018. № 11. P. 1–36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3145534> (дата звернення 07.12.2024)
4. ScanX. Що таке лазерне сканування та його принципи!. URL: https://scanx.com.ua/article/10_2022/10.html (дата звернення: 05.12.2024).
5. ACC media agenci. Що таке 3D-сканер і як він працює? *Агенство ACC*. URL: <https://acc.cv.ua/news/storystorynka/print-service/scho-take-3d-skaner-i-yak-vin-pracyue-64697>. (дата звернення: 15.12.2024)
6. Через російську агресію в Україні постраждали 872 пам'ятки культурної спадщини. *Міністерство культури та стратегічних комунікацій*. URL: <https://mcsc.gov.ua/news/cherez-rosijsku-agresiyu-v-ukrayini-postrazhdaly-872-pamyatku-kulturnoyi-spadshhnyu/> (дата звернення: 03.12.2024)
7. Безкоштовний навчальний курс для викладачів/-ок та аспірантів/-ок зі збереження спадщини. *XIII A*. URL: <https://kharkiv.school/courses/bezkoshtovnyj-navchalnyj-kurs-dlya-vykladachiv-ok-ta-aspirantiv-ok-zi-zberezhennya-spadshhnyu/> (дата звернення 10.01.2025)
8. Українська урбаністична платформа та Управління охорони історичного середовища Львова за підтримки Львівського культурного хабу та UNESCO. Спадок: воркшоп із захисту культурної спадщини. 2025. URL: <https://gastroli.ua/events/lviv-urban-forum> (дата звернення 15.10.2024).

9. Реформа освіти та науки. *Кабінет Міністрів України*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/reformi/rozvitok-lyudskogo-kapitalu/reforma-osviti> (дата звернення 15.11.2024).
10. Рожко В. Василь Рожко: «Тустань – моя колиска цифровізації». Як фортеця стала порядком для української спадщини під час війни : інтерв'ю / спілкувалися О. Бодняк, І. Середа. *The Ukrainians*. URL: <https://theukrainians.org/vasyl-rozhko/> (дата звернення: 07.01.2025)
11. Ukrainian Cultural Foundation starts accepting applications for the «Cultural Heritage» grant program. *Український культурний фонд*. URL: <https://ucf.in.ua/news/17012023> (дата звернення: 30.12.2024).
12. Гривняк А. Що таке фотограмметрія, як вона допомагає зберегти українську спадщину і чим корисна для геймдеву. *GameDev DOU*. URL: <https://gamedev.dou.ua/blogs/skeiron-developer-about-photogrammetry/> (дата звернення: 14.01.2025)
13. Kallas J. Emergency Response. First-Aid to Cultural Heritage and Post-Disaster Heritage Sites Documentation. SESSION 01. Beirut Case Study : [presentation]. Kyiv. 2024. 63 s.
14. Cantor P. Visual inspection for damage buildings. Kyiv. 2024. 36 с.
15. Олійник Г. Інноваційні підходи проведення архітектурних практик. досвід факультету архітектури НАОМА. *Вісник Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури*. 2024. № 1. С. 23–28. URL: <https://journals.naoma.kyiv.ua/index.php/bulletin/issue/view/20/20> (дата звернення: 19.01.2025).
16. Revenko S. UNESCO-ICCROM field exercise on the use of post-event on-site damage and risk assessment methodology and International Form for immovable cultural property in Ukraine 12–13 August : [presentation]. Kyiv, 2024.
17. Kallas J. UNESCO-ICCROM field exercise on the use of post-event on-site damage and risk assessment methodology and International Form for immovable cultural property in Ukraine 12–13 August 2024 : [presentation]. Kyiv, 2024.
18. Cantor P. Visual inspection for damage buildings : [presentation]. [Kyiv, 2024].

References

1. Bazeliuk, O. (2021). Osoblyvosti tsyfrovizatsii vyshchoi osvity v suchasnykh umovakh [Characteristics of Higher Education Digitalization in Modern Conditions]. *Pedahohichni innovatsii: idei, realii, perspektyvy [Pedagogical Innovations: Ideas, Realities, and Prospects]*, 2(27), 37–43. Retrieved from: https://pi.iod.gov.ua/images/pdf/2021_2/5.pdf [in Ukrainian].
2. Parsinejad, H., Cho, I., & Yari, M. (2021). Production of Iranian Architectural Assets for Representation in Museums: Theme of Museum-Based Digital Twin. *Body, Space & Technology*, 20, 61–74. DOI: <https://doi.org/10.16995/bst.364> [in English].
3. Bekele, M.K., Pierdicca, R., Frontoni, E., & Malinverni, E.S. (2018). A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 11, 1–36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3145534> [in English].
4. ScanX. (2022, Zhovten 29). *Shcho take lazerne skanuvannia ta yoho pryntsypp!* [Understanding Laser Scanning and Its Principles]. Retrieved from: https://scanx.com.ua/article/10_2022/10.html [in Ukrainian].
5. ACC media agenci (2020, Zhovten 23). *Shcho take 3D-skaner i yak vin pratsiuie?* [What Is a 3D Scanner and How Does It Work?]. Retrieved from: <https://acc.cv.ua/news/storystorynka/print-service/scho-take-3d-skaner-i-yak-vin-pracyue-64697> [in Ukrainian].
6. Ministerstvo kultury ta stratehichnykh komunikatsii (2024, Sichen 09). *Cherez rosiisku ahresiiu v Ukraini postrazhdaly 872 pamiatky kulturnoi spadshchyny* [Due to Russian aggression in Ukraine, 872 cultural heritage sites have been damaged.]. Retrieved from: <https://mcs.gov.ua/news/cherez-rosijsku-agresiyu-v-ukrayini-postrazhdaly-872-pamyatky-kulturnoyi-spadshhyny/> [in Ukrainian].
7. KhShA. (2025, Sichen 27). *Bezkoshtovnyi navchalnyi kurs dlia vykladachiv/-ok ta aspirantiv/-ok zi zberezhenia spadshchyny* [Free Educational Course for Teachers and Postgraduate Students on Heritage Preservation]. Retrieved from: <https://kharkiv.school/courses/bezkoshtovnyj-navchalnyj-kurs-dlya-vykladachiv-ok-ta-aspirantiv-ok-zi-zberezhenia-spadshhyny/> [in Ukrainian].
8. Ukrainiska urbanistychna platforma ta Upravlinnia okhorony istorychnoho seredovyshcha Lvova za pidtrymky Lvivskoho kulturnoho khabu ta UNESCO. (2025) Spadok: vorkshop iz zakhystu kulturnoi spadshchyny. [Ukrainian Urban Platform and the Department for the Protection of the Historical Environment of Lviv with the support of the Lviv Cultural Hub and UNESCO. Heritage: A Workshop on the Protection of Cultural Heritage] Retrieved from: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdr3RBs89uYjuxSQNzMWrHjUWUWLyVu6OtFPfJec1MqsT-BxIA/viewform> [in Ukrainian].
9. Kabinet Ministriv Ukrainy (n.d). Reforma osvity ta nauky [Education and Science Reform. Cabinet of Ministers of Ukraine.]. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/reformi/rozvitok-lyudskogo-kapitalu/reforma-osviti> [in Ukrainian].
10. Rozhko, V. (2023, Zhovten 20). «Tustan – moia kolyska tsyfrovizatsii». Yak fortetsia stala poriatunkom dlia ukrainskoi spadshchyny pid chas viiny [Rozhko V. Vasyl Rozhko: ‘Tustan is My Cradle of

- Digitalization.’ How a Fortress Became a Refuge for Ukrainian Heritage During the War] [Interviu] / Interviewer: O. Bodniak, I. Sereda. *The Ukrainians*. Retrieved from: <https://theukrainians.org/vasyl-rozhko/> [in Ukrainian].
11. Ukrainskyi kulturnyi fond. (2023, January 17). *Ukrainian Cultural Foundation starts accepting applications for the «Cultural Heritage» grant program*. Retrieved from: <https://ucf.in.ua/news/17012023> [in English].
 12. Hryvniak, A. (2023, Kvitennia 03). Shcho take fotogrammetriia, yak vona dopomahaie zberehty ukrainsku spadshchynu I chym korysna dlia heimdevu [What is Photogrammetry, How It Helps Preserve Ukrainian Heritage, and Why It’s Useful for Game Development]. *GameDev DOU*. Retrieved from: <https://gamedev.dou.ua/blogs/skeiron-developer-about-photogrammetry/> [in Ukrainian].
 13. Kallas, J. (2024). Emergency Response. First-Aid to Cultural Heritage and Post-Disaster Heritage Sites Documentation. SESSION 01. Beirut Case Study [Presentation] [in English].
 14. Cantor, P. (2024). *Visual inspection for damage buildings* [in English].
 15. Oliinyk, H. (2024). Innovatsiini pidkhody provedennia arkhitekturnykh praktyk. dosvid fakultetu arkhitektury NAOMA. *Visnyk Natsionalnoi akademii obrazotvorchoho mystetstva i arkhitektury*, 1, 23–28. Retrieved from: <https://journals.naoma.kyiv.ua/index.php/bulletin/article/view/58> [in Ukrainian].
 16. Revenko, S. (2024). UNESCO-ICCROM field exercise on the use of post-event on-site damage and risk assessment methodology and International Form for immovable cultural property in Ukraine 12–13 August [Presentation] [in English].
 17. Kallas, J. (2024). UNESCO-ICCROM field exercise on the use of post-event on-site damage and risk assessment methodology and International Form for immovable cultural property in Ukraine 12–13 August 2024 [Presentation] [in English].
 18. Cantor, P. (2024). *Visual inspection for damage buildings* [Presentation] [in English].

Подано до редакції 25.01.2025