

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.74.195-203>

УДК 725.94 (045)

Приступа Денис Віталійович,

*здобувач другого (магістерського) ступеня освіти
за спеціальністю G17 «Архітектура та містобудування»
Державного університету «Київський авіаційний інститут»*

6874640@stud.kai.edu.ua

<http://orcid.org/0009-0007-9493-3918>

Крижанівський Олександр Анатолійович,

*кандидат архітектури, доцент
кафедри архітектури та просторового планування
Державного університету «Київський авіаційний інститут»*

oleksandr.kryzhanivskyi@npp.kai.edu.ua

<http://orcid.org/0000-0001-8108-6149>

ЦИФРОВІ МЕТОДИ В РЕНОВАЦІЇ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ: ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ 3D-СКАНУВАННЯ ТА ВІМ У ПРОЄКТУВАННЯ САДИБИ САНГУШКІВ

Анотація: актуальність дослідження зумовлена необхідністю збереження та реновації архітектурної спадщини України, що вимагає застосування сучасних цифрових технологій для підвищення точності та ефективності проєктних рішень. Використання 3D-сканування та ВІМ-моделювання дозволяє не лише зафіксувати автентичний стан історичних будівель, а й створити інформаційні моделі, які забезпечують інтеграцію даних для реставраційних і проєктних робіт.

Ключові слова: реконструкція; пам'ятки архітектури; ВІМ-моделювання; Садиба Сангушків; історичне середовище; 3-D сканування; архітектурна спадщина.

Постановка проблеми. Ми можемо спостерігати як з року в рік все більше удосконалюються технології у всіх сферах нашого життя. Не оминули вони і галузь архітектури, проєктування та реставрації. Сьогодні завдяки сучасним комп'ютерам та високотехнологічним приладам спеціалісти мають змогу працювати над об'єктом значно швидше, набагато якісніше та більш точніше. А якщо враховувати що вся робота може відбуватися у режимі реального часу між усіма учасниками проєкту, то отримаємо і відповідний результат. Грамотно продумана робота, чітка послідовність дій, можливість візуалізації будь якої будівлі, споруди чи пам'ятки мистецтва дає інженерам-проєктантам та реставраторам розуміння кінцевої мети [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи реновації та адаптивного повторного використання пам'яток архітектури ґрунтуються на положеннях міжнародних хартій та доктрин, таких як Венеційська хартія (1964) та рекомендації ICOMOS, що визначають принципи мінімального втручання та збереження автентичності. Провідні українські дослідники, наприклад, професор О.М. Слепцов у галузі урбаністичної регенерації, або В.В. Вечерський щодо архітектурної спадщини України, а також зарубіжні фахівці, такі як Jorge Otero-Pailos, що займається теорією консервації, або Robert Adam, відомий переосмисленням класицизму, заклали фундаментальні основи для розуміння цінності історичних об'єктів та підходів до їхнього відновлення. Водночас, постійно виникає потреба в адаптації цих принципів до сучасних технологічних реалій.

Застосування 3D-сканування у реставрації стало потужним інструментом для документування та аналізу стану пам'яток. Технології лазерного сканування та фотограмметрії дозволяють створювати надзвичайно точні хмари точок, які є базою для детального вивчення деформацій, пошкоджень та особливостей архітектурних елементів. Світові проекти, такі як сканування собору Нотр-Дам де Парі після пожежі або численні проекти Британського музею та Смітсонівського інституту, демонструють незамінність цих методів для фіксації та подальшої роботи з об'єктами культурної спадщини. Переваги цих методів очевидні: висока точність, швидкість збору даних, можливість роботи у важкодоступних місцях та мінімальний ризик для самої пам'ятки. Однак існують і обмеження, пов'язані з високою вартістю обладнання та необхідністю кваліфікованих фахівців для обробки великих обсягів даних [7].

BIM-технології (Building Information Modeling) у контексті реновації історичних об'єктів набули форми так званого Heritage BIM (H-BIM) або Historic BIM. Цей підхід дозволяє не просто моделювати об'єкт у 3D, а й інтегрувати всю інформацію про нього: від історичних даних, матеріалів та їхнього стану до інженерних систем та планування будівельних робіт. Досвід Великобританії, де BIM є обов'язковим для багатьох публічних проектів, у тому числі й реноваційних, яскраво демонструє переваги BIM у координації, управлінні даними та оптимізації процесів. Він дозволяє ефективно управляти колізіями, симулювати різні сценарії втручання та прогнозувати поведінку будівлі після реновації.

В українській практиці застосування цифрових методів у реновації пам'яток архітектури перебуває на стадії активного розвитку. Хоча поодинокі проекти, такі як реставрація певних об'єктів у Києві або Львові, вже використовували елементи 3D-сканування, комплексне та системне впровадження BIM для реновації історичних садиб, особливо в регіонах, є ще рідкісним явищем.

Більшість українських фахівців зіштовхуються з викликами, пов'язаними з браком фінансування, відсутністю стандартизованих протоколів та недостатньою кількістю спеціалістів, які володіють цими технологіями. Саме тому дослідження на прикладі Садиби Сангушків в Ізяславі є особливо актуальним, оскільки воно дозволяє продемонструвати практичні переваги інтегрованого цифрового підходу та заповнити певну прогалину в українській архітектурній практиці. Це дослідження має на меті показати, як поєднання 3D-сканування та BIM може стати ефективним інструментом для ревіталізації навіть таких складних об'єктів, як історичні садиби в умовах малих міст.

Метою публікації є аналіз можливостей використання цифрових технологій, зокрема 3D-сканування та BIM-моделювання, в процесі реновації об'єктів архітектурної спадщини на прикладі Садиби Сангушків у м. Ізяслав.

Основна частина. У сучасних умовах збереження та реновація архітектурної спадщини постають як одне з ключових завдань у галузі архітектури та містобудування. Значна частина історичної забудови в Україні перебуває в аварійному або напівзруйнованому стані, що потребує комплексного підходу до її дослідження, документації та реконструкції. Водночас традиційні методи обстеження та проєктування вже не забезпечують належного рівня точності, гнучкості й швидкості, особливо коли йдеться про складні об'єкти зі значними деформаціями та втратами. У зв'язку з цим цифрові технології, зокрема 3D-сканування та інформаційне моделювання будівель (BIM), стають дедалі важливішими у сфері реставраційної архітектури.

Садиба Сангушків в Ізяславі — цінний об'єкт української архітектурної спадщини XVII–XIX століть, який сьогодні знаходиться в руйнівному стані. Його реновація потребує точного фіксування наявної структури та формування стратегії відновлення, що базується на достовірних даних. Саме тому об'єкт став основою для дослідження можливостей цифрових методів у проєктуванні та реставрації історичної архітектури [2].

У дослідженні застосовано методи натурного 3D-сканування з використанням лазерного сканера та фотограмметрії, що дозволило створити точну цифрову модель об'єкта. Також використано BIM-моделювання для подальшої роботи з проєктними рішеннями. Метод аналізу історико-архівних матеріалів дозволив виявити первісні характеристики об'єкта. Компаративний метод використано для порівняння традиційного і цифрового підходів до реставрації.

Результати. Внаслідок проведеного 3D-сканування була створена точна геометрична модель Садиби Сангушків з урахуванням деформацій та втрат. Це може бути основою для створення BIM-структури, що дозволить здійснити аналіз стану конструкцій, підготувати документацію, моделювати варіанти

відновлення. Було виявлено, що використання цифрових методів дозволяє значно скоротити час на обстеження, зменшити ймовірність помилок, підвищити точність та гнучкість проєктних рішень.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає у комплексному застосуванні 3D-сканування та BIM-моделювання як інструментів реновації пам'ятки архітектури, що перебуває у складному технічному стані. Вперше подано алгоритм інтеграції цифрових даних у процес проєктної реставрації об'єкта локального культурного значення.

Для комплексного проєктування реновації Садиби Сангушків в Ізяславі було проведено низку етапів із застосуванням цифрових методів. Садиба, що має багату історію з XVIII-XIX століть, на момент початку дослідження перебувала у значною мірою занедбаному стані, проте зберігала свої ключові архітектурні та структурні елементи, що вимагали збереження та адаптації.

Першим ключовим етапом стало детальне 3D-сканування об'єкта. Застосування професійного лазерного сканера дозволить отримати високоточну хмару точок (мільйони точок з географічною прив'язкою), що відображає поточний фізичний стан садиби, включаючи всі деформації, тріщини, руйнування та унікальні архітектурні деталі. Процес сканування охопить як зовнішні фасади, так і внутрішні приміщення, що дозволило зафіксувати складну геометрію та взаємозв'язки просторів. Отримані дані обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення [наприклад, Faro Scene, Leica Cyclone, ReCap Pro], де хмара точок можна "очистити" від шуму та "зшити" для отримання єдиної, повної цифрової моделі існуючого об'єкта. Ці дані стануть безцінною основою для подальшого проєктування, дозволивши з високою точністю визначити зони, що потребують укріплення, реставрації або повного відновлення [5].

Наступним етапом є інтеграція отриманих даних у BIM-середовище. На основі хмари точок у програмному комплексі [наприклад, Autodesk Revit або Graphisoft ArchiCAD] щоб була побудована інформаційна модель Садиби Сангушків. Цей процес включає моделювання існуючих стін, перекриттів, покрівлі, віконних та дверних прорізів, а також архітектурних деталей. Кожен елемент моделі наділяється відповідною інформацією: тип матеріалу, рік будівництва, поточний стан, необхідні ремонтні роботи тощо. Особлива увага приділялася моделюванню нових функціональних зон та інженерних систем (опалення, вентиляція, водопостачання, електрика), що проєктувалися з урахуванням історичної структури та вимог до сучасної експлуатації. Завдяки BIM-моделі вдається провести колізійний аналіз, виявивши потенційні конфлікти між новими інженерними комунікаціями та існуючими

конструкціями, що дозволить уникнути багатьох помилок ще на етапі проєктування [4].

В рамках проєкту реновації, для Садиби Сангушків було обґрунтовано, "створення багатофункціонального культурно-туристичного центру з експозиційними, конференц-зонами, кафе та готельними номерами"]. Наприклад, за допомогою BIM-моделі проводився аналіз інсоляції та природного освітлення для оптимального розміщення функціональних зон та віконних прорізів. Моделювання дозволить оцінити енергоефективність запропонованих рішень (наприклад, утеплення, нові вікна) та прогнозувати витрати на експлуатацію. Візуалізації та рендери, створені на основі BIM-моделі, забезпечили чітке та реалістичне представлення майбутнього вигляду садиби, що є критично важливим для комунікації з усіма зацікавленими сторонами – від інвесторів до місцевої громади.

Незважаючи на значні переваги, у процесі застосування цифрових методів виникають і певні виклики. Зокрема, висока вартість ліцензійного програмного забезпечення та необхідність навчання фахівців роботі з великими обсягами даних. Також виникає потреба в адаптації стандартних BIM-бібліотек до специфіки історичних будівель, що часто мають унікальні, нетипові елементи [3].

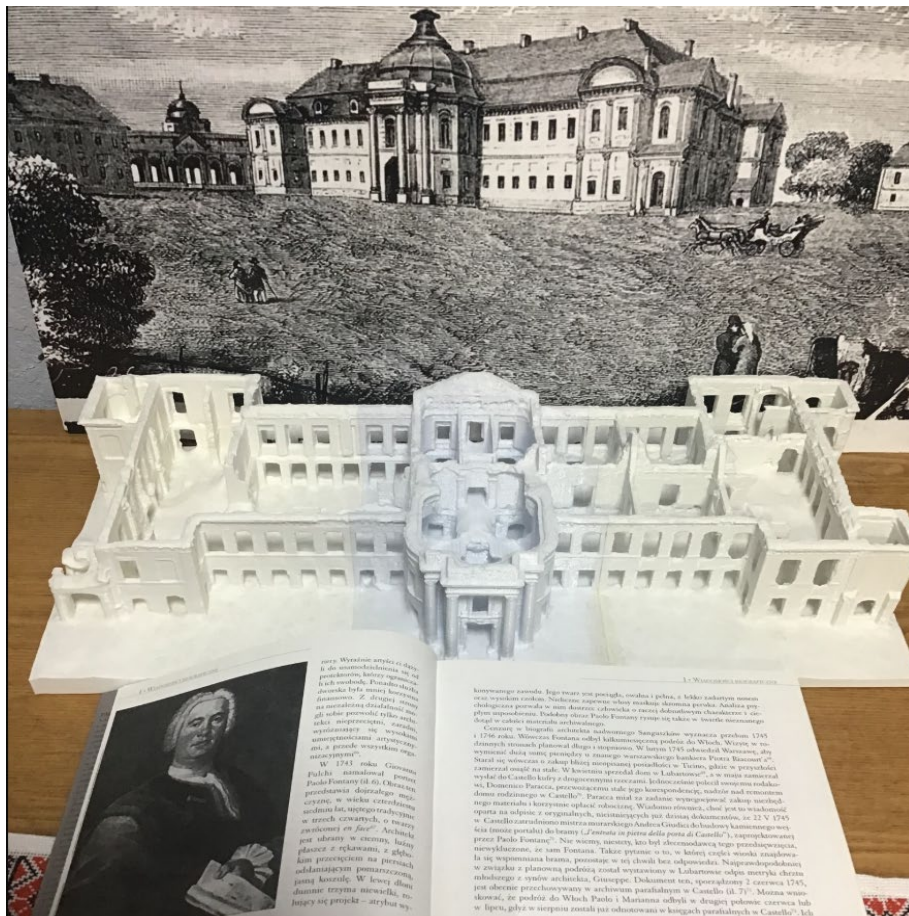


Рис.1 3-D модель надрукована зі сканованої моделі палацу

Загалом, досвід проєктування реновації Садиби Сангушків демонструє, що інтеграція застосування 3D-сканування та BIM-моделювання є не просто технологічним трендом, а незамінним інструментом для сучасної архітектурно-реставраційної практики. Ці методи дозволять досягти безпрецедентної точності в діагностиці та фіксації існуючого стану, значно підвищують ефективність планування, мінімізують ризики помилок і, зрештою, сприятимуть збереженню культурної спадщини шляхом її гармонійної інтеграції у сучасне життя.

Висновки. Сучасні технології відіграють дуже важливу роль у відновленні пам'яток архітектури тому, що при їхньому використанні робота не лише займатиме набагато менше часу, але й стане більш ефективною й точною. Подальше вивчення та застосування цих технологій неодмінно підніме рівень економіки країни, пришвидшить її розвиток та стабільність. Окрім цього дані технології є і будуть необхідними при реставрації культурної спадщини України, зруйнованої російським агресором. Ці об'єкти є нашими історичними й духовними осередками, створеними предками для передання майбутнім поколінням. Ми бачимо що вже зараз в Україні все активніше застосовується лазерне сканування, 3-D моделювання, BIM технології, 3-D друк, оцифровуються об'єкти та інше. Отже передові комп'ютерні технології пропонують широкий спектр варіантів збереження, реставрації та відновлення історичної й культурної спадщини.

Успішне застосування лазерного 3D-сканування дозволило отримати вичерпну та надзвичайно точну інформацію про поточний фізичний стан історичного об'єкта, що є критично важливим для будь-яких реставраційних втручань. Інтеграція цих даних у BIM-модель забезпечила створення єдиного інформаційного простору, який дозволив ефективно планувати архітектурно-планувальні та інженерні рішення, оптимізувати функціональне наповнення та візуалізувати майбутній стан садиби. Це значно підвищило якість проєктування, мінімізувало потенційні колізії та прискорило процес прийняття рішень.

Наукова новизна роботи полягає в детальному аналізі та практичному застосуванні синергії цих цифрових технологій для реновації конкретного типу пам'ятки – історичної садиби XVIII-XIX століття – в українських реаліях, що раніше не було предметом системного вивчення. Практична значущість дослідження виявляється у розробці реального інструментарію та методичних рекомендацій, які можуть бути використані архітекторами-реставраторами та проєктними організаціями для підвищення ефективності робіт зі збереження та адаптації культурної спадщини України [8].

Проєкт реновації Садиби Сангушків не лише сприятиме збереженню цінної пам'ятки, а й стане прикладом її інтеграції у сучасне життя громади, підвищуючи її туристичну привабливість та загальний рівень комфорту міського середовища.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію елементів штучного інтелекту для оптимізації функцій та створення "цифрових двійників" для моніторингу об'єкта після реновації.

Список літератури

1. ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016. Настанова щодо виконання ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятках архітектури та містобудування. Чинний від 01.01.2017. Київ: Мінрегіон України, 2016. 50 с. URL: http://kyiv-heritage.com/sites/default/files/ДСТУ-Н%20Б%20В.3.2-4~2016%20%20Роботи%20РЕСТАВРАЦІ%2053с_0.pdf
2. Про затвердження Списку історичних населених місць України: постанова Кабінету Міністрів України від 26.07.2001р. №878. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2001-%D0%BF#Text>
3. Бевз М., Лукомський Ю. До проблеми застосування сучасних методів у дослідженні архітектурно-археологічних містобудівних комплексів (на прикладі території Національного заповідника «Давній Галич») // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2022. Вип.63. С.3–17. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.63.3-17>
4. Кротенко Р. Сучасні технології у реставрації пам'яток архітектури в Україні // Актуальні питання гуманітарних наук. 2023. Вип. 68, т. 2. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/68-2-3>
5. Губарева В. Цифрова відбудова: як сучасні технології допоможуть зберегти архітектурну спадщину? // Рубрика. 13.07.2023. URL: <https://rubryka.com/article/3d-skanuvannya-arhitektury/> (дата звернення: 13.08.2025).
6. Голик Й., Багрій Н., Стецько І. Реконструкція будівель як метод збереження історичної забудови // Містобудування та територіальне планування. 2024. Вип. 86. С. 41–56. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.41-56>
7. Покотило Я. У гру вступають лідари. Як лазерне сканування рятує пам'ятники від війни, стихії та часу // Фокус. 30.05.2022. URL: <https://focus.ua/uk/opinions/517147-kak-lazernoe-skanirovanie-spasaet-pamyatniki-istorii-i-arhitektury> (дата звернення: 13.08.2025).
8. Лещенко Н. А. Методологічні основи реставраційно-реконструктивних трансформацій історичних центрів малих міст: дис. ... д-ра архітектури: 18.00.01 – теорія архітектури, реставрація пам'яток архітектури. Київ: КНУБА, 2020. 447 с. URL: <https://uacademic.info/ua/document/0520U101783>

References

1. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2016). Guidelines for carrying out repair and restoration works on architectural and urban planning heritage sites (DSTU-N B V.3.2-4:2016). https://kyiv-heritage.com/sites/default/files/ДСТУ-Н%20Б%20В.3.2-4~2016%20%20Роботи%20РЕСТАВРАЦ%2053с_0.pdf (in Ukrainian).
2. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2001). On approval of the list of historical populated places of Ukraine (Resolution No. 878, July 26, 2001). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2001-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).
3. Bevz, M., & Lukomskyi, Y. (2022). To the problem of using modern methods in the research of architectural and archaeological urban complexes (On the example of the National Reserve “Ancient Halych” territory). *Current Problems of Architecture and Urban Planning*, 63, 3–17. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.63.3-17> (in Ukrainian).
4. Krotenko, R. (2023). Modern technologies in the restoration of architectural monuments in Ukraine. *Current Issues of Humanities*, 68(2), 22–27. <https://doi.org/10.24919/2308-4863/68-2-3> (in Ukrainian).
5. Hubareva, V. (2023, July 13). Digital reconstruction: How modern technologies will help preserve architectural heritage. *Rubryka*. <https://rubryka.com/article/3d-skanuvannya-arhitektury/> (in Ukrainian).
6. Holyk, J., Bagrij, N., & Stetsko, I. (2024). Reconstruction of buildings as a method of preserving historical buildings. *Urban Development and Spatial Planning*, 86, 41–56. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.41-56> (in Ukrainian).
7. Pokotylo, Y. (2022, May 30). Lidars enter the game: How laser scanning saves monuments from war, natural disasters, and time. *Focus*. <https://focus.ua/uk/opinions/517147-kak-lazernoe-skanirovanie-spasaet-pamyatniki-istorii-i-arhitektury> (in Ukrainian).
8. Leshchenko, N. A. (2020). Methodological foundations of restoration and reconstruction transformations of historic centers of small cities (Doctoral dissertation). Kyiv National University of Construction and Architecture. <https://uacademic.info/ua/document/0520U101783> (in Ukrainian).

Abstract

Denys Prystupa, Student, Department of Architecture and Spatial Planning, The State University «Kyiv Aviation Institute».

Oleksandr Kryzhanivskyi, Candidate of Architecture, Associate Professor of Department of Architecture and Spatial Planning, The State University «Kyiv Aviation Institute».

Digital methods in the renovation of architectural heritage: the experience of using 3D scanning and BIM in the design of the Sangushky estate

The objective of the research is to analyze the potential of using digital technologies, in particular 3D scanning and BIM modeling, in the process of renovating architectural heritage objects, using the example of the Sangushky Estate in the city of Izyaslav.

The research methodology involves the application of on-site 3D scanning techniques, including laser scanning and photogrammetry, which made it possible to create an accurate digital model of the object. BIM modeling was also used for further work with design solutions. Historical and archival analysis enabled the identification of the object's original characteristics. A comparative method was employed to evaluate the differences between traditional and digital approaches to restoration.

As a result of the 3D scanning, a highly accurate geometric model of the Sangushky Estate, which documents existing deformations and structural losses. The model provides a foundation for the development of a BIM structure that enables structural condition analysis, preparation of documentation, and simulation of renovation scenarios. It was established that the application of digital methods leads to a significant reduction in the time required for surveying, minimizes errors, and improves the accuracy and flexibility of design solutions.

The scientific novelty of the study consists in the integrated use of 3D scanning and BIM modeling as effective tools for the renovation of an architectural monument in a complex technical condition. For the first time, an algorithm has been proposed for integrating digital data into the process of project-based restoration of a site of local cultural significance.

The obtained results can be applied in the preparation of project documentation for the renovation and preservation of other cultural heritage sites. Furthermore, the created BIM model can serve as a basis for digital documentation and for the systematic future condition monitoring of the monument. The proposed approach contributes to the preservation of historical authenticity while optimizing the design process.

Keywords: reconstruction; architectural heritage; BIM modeling; Sangushky Estate; historical environment; 3D scanning.