
ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ І КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ

УДК 528.8:042:004.946:719:94 (477.411)

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.06>

ЛАЗЕРНЕ СКАНУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ВІМ МОДЕЛІ КОРПУСУ № 1 НТУУ «КПІ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» ЯК МЕТОД ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІСТОРИКО-АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ

І.П. КОВАЛЬЧУК,

доктор географічних наук, професор кафедри геодезії та картографії

Email: kovalchukip@nubip.edu.ua

ORCID: 0000-0002-2164-1259

М.С. КОЖЕМ'ЯКО,

магістрант 2-го року навчання кафедри геодезії та картографії

Email: nikitakozemiakons@gmail.com

ORCID: 0009-0007-5603-1331

П.С. КОЖЕМ'ЯКО,

магістрант кафедри геодезії та картографії

Email: polgoldman@gmail.com

ORCID: 0009-0001-1591-103X

О.О. КУЦЕНКО,

аспірант кафедри геодезії та картографії

Email: kutsenkijob@gmail.com

ORCID: 0009-0008-5814-8389

Д.Ю. МАТВІЙЧУК,

*магістрант 2-го року навчання
кафедри геодезії та картографії*

Email: dima220203@gmail.com

ORCID: 0000-0009-8452-2984

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У статті охарактеризовано комплексний підхід до отримання та опрацювання даних після наземного лазерного сканування пам'ятки архітектури та створення BIM-моделі фрагмента фасаду історичної будівлі – Першого корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». У процесі виконання цієї роботи застосовано сучасні методи просторової фіксації досліджуваного об'єкта, включаючи високоточне 3D-сканування за допомогою сканера Leica ScanStation C10, реєстрацію хмар точок, фільтрацію даних та результати їх подальшого опрацювання у програмному забезпеченні Leica Cyclone REGISTER 360, Autodesk ReCap і побудову інформаційної 3D моделі цієї будівлі в середовищі Autodesk Revit.

Проаналізовано зарубіжний та вітчизняний досвід виконання робіт такого змісту. Показано, що одним із найефективніших способів просторового документування є наземне лазерне сканування (TLS), яке забезпечує отримання високоточної хмари точок, яка відображає реальну форму об'єкта з точністю до кількох міліметрів. Міжнародні дослідження свідчать, що технологія Scan-to-BIM є ключовою у процесах цифрової реставрації та планування реконструкцій історичних об'єктів. Зазначено, що в Україні бракує систематизованих прикладних досліджень, які б поєднували ці технології у комплексний алгоритм для конкретних історико-архітектурних об'єктів. Ця обставина вказує на практичну важливість даного дослідження та необхідність подальшого розвитку методик документування історичних фасадів із використанням сучасних геодезичних і геоінформаційних технологій.

Особливу увагу у статті приділено питанням забезпечення високої точності набору даних, алгоритмам реєстрації станцій, вибору параметрів сканування та можливостям подальшого використання моделі у реставраційних роботах, моніторинзі технічного стану та цифровій консервації об'єктів культурної спадщини. Модель рівня LOD 300 підтверджує можливість якісного відтворення геометрії історичних об'єктів із застосуванням технології Scan-to-BIM в українських реаліях.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, хмара точок, TLS, BIM-модель, Scan-to-BIM, цифрова консервація, історична будівля, архітектурна спадщина, Autodesk Revit, Leica ScanStation C10, реєстрація хмар точок, Cyclone REGISTER 360, NBIM, реставрація фасадів, 3D-моделювання, геодезичне документування, інформаційне моделювання, точність вимірювань, LOD 300, цифрова реконструкція.

Актуальність дослідження

У сучасних умовах збереження архітектурної та історико-культурної спадщини України набуває особливої важливості. Воєнна агресія росії, фізичне старіння споруд, недостатнє фінансування реставраційних робіт та відсутність системної цифрової документації призводять до втрати унікальних архітектурних об'єктів,

які становлять національну культурну цінність. Високий ризик руйнування будівель під впливом зовнішніх факторів вимагає впровадження нових технологій фіксації їх фактичного стану, які здатні забезпечити довготривале збереження інформації про геометрію, конструктивні особливості та архітектурні деталі історичних об'єктів.

Одним із найефективніших способів просторового документуван-

ня є їх наземне лазерне сканування (TLS). Воно забезпечує отримання високоточної хмари точок, яка відображає реальну форму об'єкта з точністю до кількох міліметрів. Зібрані дані дозволяють здійснювати цифрову консервацію пам'яток, створювати повноцінні інформаційні моделі, аналізувати деформаційні процеси та планувати заходи з відновлення споруд. В умовах воєнних дій такі цифрові моделі можуть стати єдиним джерелом інформації про первісний вигляд об'єкта у разі його часткового або повного руйнування [4; 5].

Використання BIM-технологій значно розширює можливості аналізу та відтворення архітектурних об'єктів. Поєднання хмар точок із параметричним моделюванням дає змогу створювати 3D-моделі рівня LOD 300 і вище, що не лише відображають геометрію, але й забезпечують можливість додавання інформаційних атрибутів, інтеграції конструктивних даних та подальшого використання моделі у реставраційних, наукових або проєктних цілях. Міжнародні дослідження вказують, що технологія Scan-to-BIM є ключовою у процесах цифрової реставрації та планування реконструкції історичних об'єктів, особливо тих, що мають складну архітектурну пластику, численні декоративні елементи та нерівності поверхні [9; 10].

У контексті зростання потреби у цифровій інвентаризації архітектурних пам'яток України, розроблення та практичне застосування методики створення BIM-моделі історичного фасаду на основі лазерного сканування є актуальним і відповідає світовим тенденціям розвитку галузі. Застосування таких технологій сприяє підвищенню ефективності ремонтних

робіт, забезпечує достовірність геометричної інформації та створює надійну основу для збереження культурної спадщини в умовах сучасних загроз.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій

У світовій науковій літературі питання тривимірного документування історичних об'єктів та створення їх цифрових моделей на основі лазерного сканування досліджується вже понад два десятиліття. Значний внесок у формування теоретичних та методичних засад цифрової фіксації архітектурної спадщини зробили праці M. Murphy, S. Pavia, E. McGovern, в яких запропоновано концепцію HBIM (Historic Building Information Modeling) та обґрунтовано застосування BIM-моделювання для реконструкції та реставрації історичних споруд [1].

У дослідженнях F. Remondino та A. Rizzi детально розглянуто процеси комбінування наземного лазерного сканування та фотограмметрії, які дозволяють створювати високоточні цифрові копії архітектурних об'єктів, включаючи складні фасадні структури, декоративні елементи та об'єкти культурної спадщини [2]. Автори підкреслюють, що використання хмар точок у поєднанні з сучасними алгоритмами моделювання забезпечує точність, необхідну для виконання реставраційних робіт.

Вагомий внесок у вивчення можливостей BIM-технологій для моделювання існуючих будівель зробили R. Volk, J. Stengel та F. Schultmann, які систематизували переваги та обмеження застосування BIM у реконструкції різних типів споруд та підкреслили важливість використання

даних TLS для створення моделей «as-built» [3]. У цих роботах наголошено, що точність початкових геодезичних даних є ключовою умовою для подальшого параметричного моделювання.

У дослідженнях С. Dore та М. Murphy окремо підкреслено важливість автоматизації процесів виявлення фасадних елементів у хмарах точок та їх трансформації у BIM-об'єкти [4]. Автори вказують, що створення алгоритмів розпізнавання архітектурних форм має велике значення для пришвидшення процесу моделювання та підвищення точності цифрової реконструкції.

Праці S. Fai, N. Graham та їх співавторів зосереджують увагу на практичному застосуванні лазерного сканування для створення високоточних цифрових копій історичних будівель, музеїв та архітектурних комплексів, підкреслюючи важливість повного охоплення об'єкта, правильного налаштування щільності сканування і точності реєстрації отриманих даних [5].

Серед праць, присвячених використанню BIM у збереженні культурної спадщини, вагоме місце займає огляд S. Bruno, M. De Fino та F. Fatiguso, в якому розглянуто можливість НВІМ як інструменту комплексної документації та управління історичними будівлями [6]. Автори зазначають, що НВІМ-моделі можуть поєднувати геометричну та атрибутивну інформацію, забезпечуючи цілісний підхід до реконструкції архітектурних об'єктів.

У новітніх дослідженнях 2024 року особливу увагу приділено інтеграції НВІМ із методами аналізу пошкоджень та стану збереженості історичних об'єктів. Так, у роботі L. Zhuo та співавторів запропоновано багатови-

мірний підхід до аналізу ушкоджень об'єктів архітектурної спадщини на базі об'єднання TLS-даних, оптичних зображень та структурних параметрів у середовищі НВІМ [13]. Автори продемонстрували, що поєднання геометричних та атрибутивних даних дозволяє значно точніше оцінювати стан історичних фасадів і прогнозувати їх подальше руйнування.

Ще один важливий напрям новітніх досліджень представлено у роботі М. Aricò (2024). В ній запропоновано Scan-to-BIM робочий процес, орієнтований на створення карт деградації фасадів у середовищі НВІМ [14]. Автор наголошує на важливості автоматизованого виявлення дефектів кладки, зміни фактури та тріщин на основі аналізу щільності хмари точок, що перспективно для реставраційних підходів.

Значний внесок у стандартизацію процесів цифрової реконструкції зроблено також групою дослідників М. Avena, G. Patrucco, F. Remondino та А. Spanò, які у 2024 році запропонували масштабований алгоритм автоматизації ключових етапів Scan-to-BIM для об'єктів культурної спадщини [15]. У роботі продемонстровано, що автоматичне сегментування хмар точок та генерація базових елементів BIM-моделі суттєво скорочують час моделювання та зменшують вплив людського фактора, що є особливо актуальним для складних фасадів історичних споруд.

Проблематика застосування лазерного сканування та BIM у контексті дослідження історичної спадщини активно розвивається й серед українських науковців. Зокрема, у публікаціях останніх років розглянуто можливості цифрової документації пам'яток архітектури, відтворен-

ня об'єктів історичного значення та формування 3D-моделей для музеїв і реставраційних проєктів [9–11]. У цих роботах підкреслюється важливість адаптації міжнародного досвіду до українських умов, зокрема в частині інвентаризації архітектурних об'єктів, які перебувають під загрозою руйнування.

Узагальнюючи дані аналізу літературних джерел, маємо підстави констатувати, що технології TLS і BIM є невід'ємною складовою сучасних підходів до цифрового моделювання і збереження архітектурної спадщини. Проте в Україні бракує систематизованих прикладних досліджень, які б поєднували ці технології у комплексний алгоритм для конкретних історичних об'єктів. Це визначає практичну важливість даного дослідження та необхідність подальшого розвитку методик документування історичних фасадів із використанням сучасних геодезичних і геоінформаційних технологій.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення та обґрунтування методики створення високоточної BIM-моделі фасаду пам'ятки архітектури – Першого корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» – на основі даних наземного лазерного її сканування, а також визначення ефективності використання технології TLS для цифрової фіксації архітектурних об'єктів. У межах дослідження передбачено аналіз точності отриманої хмари точок, оцінювання відповідності BIM-моделі фактичному стану об'єкта та формування алгоритму практичного застосування технології Scan-to-BIM для задач реставрації, моніторингу і цифрової консервації архітектурної спадщини.

Матеріали і методи наукового дослідження

Матеріалами дослідження є дані наземного лазерного сканування фасаду історичної будівлі, отримані нами за допомогою сканера Leica ScanStation C10, а також результати їх подальшого опрацювання у програмному забезпеченні Leica Cyclone REGISTER 360, Autodesk ReCap та Autodesk Revit. Польові роботи виконувалися за умов міської забудови, що вимагало використання декількох станцій сканування для забезпечення повного покриття ділянки фасаду.

Алгоритм дослідження включав наступні кроки і види робіт:

- отримання хмари точок методом наземного лазерного сканування;
- реєстрацію сканів за алгоритмом Cloud-to-Cloud із подальшою ручною корекцією;
- очищення хмари точок від сторонніх об'єктів та шумів;
- експорт даних у форматах E57 та RCP для подальшої роботи;
- формування BIM-моделі фасаду в середовищі Autodesk Revit шляхом моделювання основних архітектурних елементів на підставі хмари точок;
- контроль точності моделі шляхом накладання геометрії на хмару точок та аналізу відхилень.

Виконані дослідження та отримані дані забезпечили можливість створення цифрової моделі рівня LOD 300 і виконання подальшого аналізу геометричних характеристик фасаду сканованої архітектурної пам'ятки.

Результати дослідження та їх обговорення

Матеріали дослідження представлені вихідними геодезичними



**Рисунок 1. Фасадна частина першого корпусу
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»**

вимірюваннями, хмарами точок, отриманими в результаті наземного лазерного сканування історичної будівлі, а також даними, сформованими на етапах опрацювання сканів у вказаному спеціалізованому програмному забезпеченні. Ці роботи проводилися на прикладі фасаду історичної споруди, що є цінним зразком архітектурної спадщини і має складну геометричну структуру, властиву будівлям кінця XIX – початку XX століття (рис.1).

Польові роботи виконувалися в умовах обмеженого міського простору, наявності припаркованого транспорту та складних кутів огляду. З огляду на це, оптимальне розміщення станцій сканування було визначено з урахуванням забезпечення максимальної видимості декоративних елементів і мінімізації «мертвих зон» на фасаді (рис. 3).

Для збирання первинних даних застосовувався наземний лазерний



**Рисунок 2. Наземний лазерний
сканер Leica ScanStation C10**

сканер Leica ScanStation C10 (рис. 2), який є широко використовуваним інструментом у практиці архітектурних і деформаційних знімачів. Основні технічні характеристики сканера,

який використовувався у нашій роботі, наведені нижче:

- дальність роботи – до 300 м;
- реальна точність вимірювань – до 6 мм на 50 м;
- швидкість сканування – до 50 000 точок/с;
- можливість кольорової зйомки при використанні зовнішньої камери.

Польові роботи виконувалися в умовах обмеженого міського простору, наявності припаркованого транспорту та складних кутів огляду. З огляду на це, оптимальне розміщення станцій сканування було визначено з урахуванням забезпечення максимальної видимості декоративних елементів і мінімізації «мертвих зон» на фасаді (рис. 3).

Сканування виконувалося зі стандартною щільністю, придатною для моделювання фасадів історичних будівель, з акцентом на деталізацію дрібних архітектурних форм [7; 8].

Під час проведення польових знімальних робіт було розміщено кіль-

ка станцій та виконано сканування об'єкта з них. Такий підхід забезпечив повне покриття фасаду та його просторову фіксацію з різних ракурсів. Розташування станцій опиралося на принцип перекриття сканованої поверхні щонайменше на 30–40 %, що гарантувало якісну реєстрацію на етапі з'єднання хмар точок.

Первинна реєстрація та опрацювання сканів здійснювалися у програмному забезпеченні Leica Cyclone REGISTER 360, яке дозволило:

- виконати автоматичне попереднє зшивання даних зі станцій;
- здійснити ручну реєстрацію в місцях недостатнього перекриття;
- оптимізувати хмару точок, видаливши шуми та артефакти;
- провести контроль точності реєстрації;
- експортувати дані у форматах E57 та RCP для подальшого 3D моделювання.

Контроль з'єднання станцій виконано за допомогою інструментів реєстрації за методом «Cloud-to-Cloud».

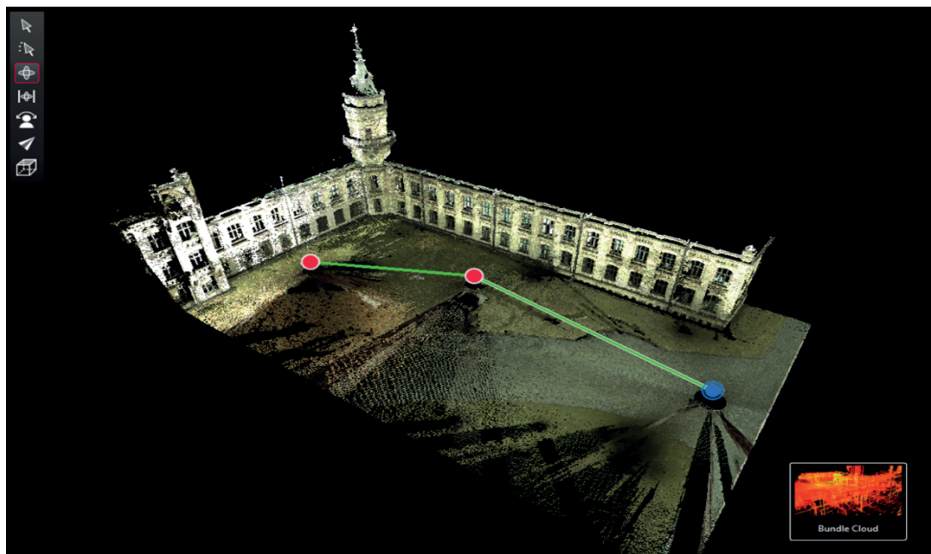


Рисунок 3. Розташування станцій сканування на місцевості

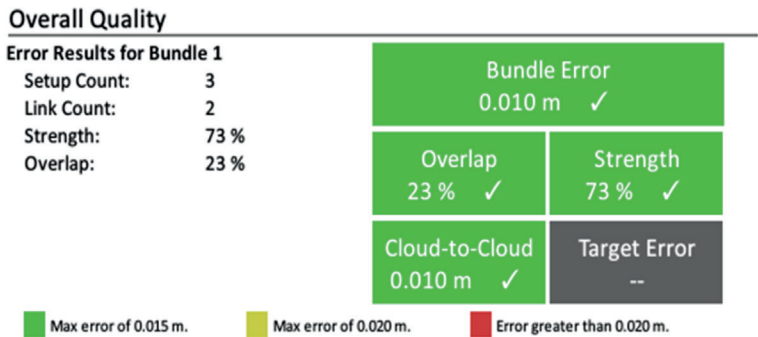


Рисунок 4. Викопіювання з кінцевого звіту про результати якості зшивання

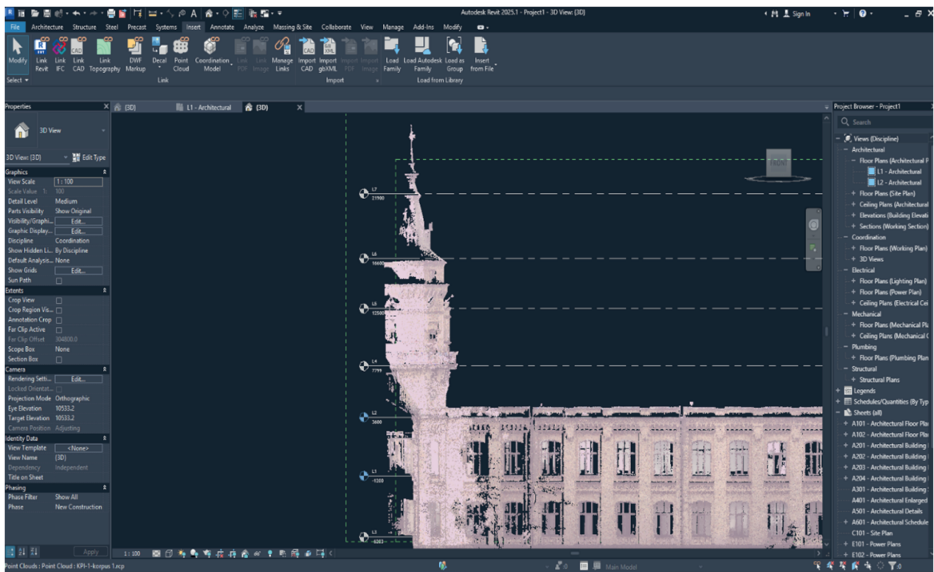


Рисунок 5. Система висотних рівнів у програмі Autodesk Revit 2025

Середнє відхилення становило не більше 8–10 мм (рис. 4), що відповідає вимогам до моделювання фасадів у рівні деталізації LOD 300 [3, 6].

Після імпорту хмари точок у форматі .RCP в середовище Autodesk Revit було сформовано базову просторову структуру моделі (рис.5):

- створено сітку рівнів (Levels) відповідно до фактичних конструктивних горизонталей;
- визначено головні осі фасаду;

- виконано прив'язку координат моделі до хмари точок.

Основний контур стін будівлі формувався з допомогою інструмента Wall, причому товщина та положення кожної стіни уточнювалися на підставі хмари точок. Аналіз графічних перетинів показав відхилення між фактичною поверхнею та моделлю, що не перевищують 5 мм, що відповідає вимогам для LOD 300 [6].

Архітектура фасаду містить чис-

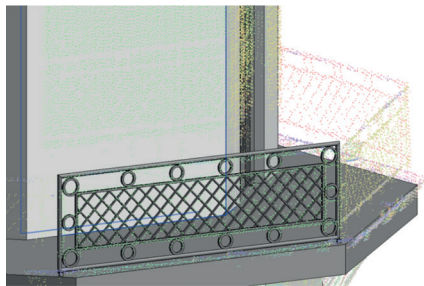


Рисунок 6. Параметричне сімейство огорож



Рисунок 7. Високоточне 2D креслення на основі BIM моделі

ленні аркові прорізи. Для їх моделювання використовувалися (рис. 6):

- інструменти профільного моделювання,
- in-place families,

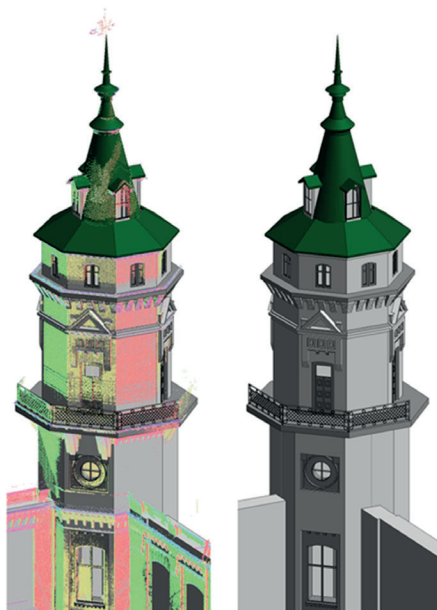


Рисунок 8. Актуальний стан першого корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» (фрагмент – права вежа)

- імітація дуг за точками хмари.

Складні профілі будівлі моделювалися за допомогою:

- Sweep,
- Extrusion,
- побудови індивідуальних сімейств.

Створення профілів вимагало закладання значної кількості контрольних перерізів хмари точок. Такий підхід забезпечив точне відтворення криволінійних архітектурних форм, що виступало одним з важливих завдань удосконалення методики сканування будівель і створення їх 3D моделей.

Для підтвердження точності моделі виконано процедуру накладання BIM-елементів на хмару точок. Контрольні перерізи показали, що:

- середнє відхилення становить 3,2 мм,
- максимальне відхилення досягає 8 мм у зонах пошкодженої кладки,
- мінімальне відхилення становить 1,5 мм.

Отримані результати відповідають міжнародним нормам моделювання історичних фасадів (рис. 7-8) [1; 4; 12].

Висновки

У результаті виконаного дослідження було здійснено комплексний аналіз можливостей застосування технології наземного лазерного сканування та BIM-моделювання для документування і цифрової реконструкції історичних архітектурних об'єктів. На основі отриманих даних сформовано інформаційну модель фрагмента фасаду історичної будівлі, що дозволило всебічно оцінити ефективність методики Scan-to-BIM у задачах збереження культурної спадщини.

По-перше, встановлено, що використання наземного лазерного сканування забезпечує отримання високоякісних та інформативних хмар точок із деталізацією, достатньою для відтворення складних архітектурних форм. Застосування кількох станцій сканування та методики перекриття сканів дозволило досягти просторової злагоженості даних і зменшити кількість «мертвих зон», що є важливою умовою для роботи з історичними об'єктами, які можуть містити численні дрібні деталі та нерівності поверхні. Середні похибки реєстрації не перевищили прийнятих у геодезії значень, що свідчить про високу точність отриманих вихідних даних.

По-друге, створення BIM-моделі у середовищі Autodesk Revit підтвер-

дило можливість високоточного відтворення геометрії фасаду на основі хмари точок. Використання інструментів BIM дозволило змодельовати основні конструктивні елементи: арочні прорізи, карнизи, профільовані пояски та інші декоративні складові будівлі. Отримана модель рівня LOD 300 відтворює фактичний стан фасаду та може ефективно застосовуватися у подальших реставраційних, проєктних і дослідницьких роботах.

Загалом, виконане дослідження підтверджує високу ефективність застосування технології лазерного сканування та інформаційного моделювання у сфері документування і реставрації історичних фасадів. Застосований алгоритм може бути адаптований для досліджень широкого спектра архітектурних об'єктів і слугувати методичною основою для подальших наукових і практичних робіт з цифрового документування культурної спадщини України.

Список використаної літератури

1. Pavlovskis M., Migilinskas D., Antuchevičienė J., Kutut V. Implementing BIM for industrial and heritage building conversion. *Engineering Structures*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3846/colloquium.2019.003>
2. Autodesk University. Scan-to-BIM Workflows: Best Practices for Creating As-Built Models from Point Cloud Data. Autodesk, 2018. URL: <https://www.autodesk.com/autodesk-university>. (дата звернення 3.12.2025 року)
3. Leica Geosystems. Leica ScanStation C10. Technical Specifications and User Manual. Heerbrugg: Leica Geosystems AG, 2015. URL: https://www.unsw.edu.au/content/dam/pdfs/engineering/civil-environmental/sage/teaching-and-learning/surveying-instruments/SC_LA_C5_C10_ZU.pdf.

- (дата звернення 3.12.2025 року)
4. Leica Geosystems. Cyclone REGISTER 360 User Guide. 2020. URL: <https://rcdocs.leica-geosystems.com>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 5. Murphy M., McGovern E., Pavia S. Historic Building Information Modelling (HBIM). Structural Survey, 2009. DOI: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02630800910985108>
 6. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. Automation in Construction, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
 7. Dore C., Murphy M. Semi-automatic generation of as-built BIM façade geometry from laser and image data. Journal of Information Technology in Construction, 2014. URL: <https://www.itcon.org/2014/2>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 8. Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N. Building Information Modelling and Heritage Documentation. International Journal of Architectural Computing, 2013. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 9. Дехтяренко Д. О., Оболонков Д. Ф. Цифрові методи реконструкції та відтворення стародавніх міст та споруд за допомогою геодезії. Збірник наукових праць ДонНАБА, 2024. URL: <https://donnaba.edu.ua/journal/wp-content/uploads/2024/04/11-16.pdf>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 10. Коцюбівська К., Баранський С. 3D-моделювання при відновленні історико-культурних цінностей. Культура і сучасність, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.1.2020.206109>
 11. Шевченко О., Опенько І., Тихенко Р., Степчук Я. Порівняльний аналіз геодезичних знімків для лазерного сканування фасадів будівель: лазерне сканування, тахеометричне знімання та LiDAR смартфона. International Young Professionals Conference "GeoTerrace-2023", 2023. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510102>
 12. Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N. Application areas and data requirements for BIM-enabled facility management. Journal of Construction Engineering and Management, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)
 13. Zhuo L., Zhang J., Hong X. Cultural heritage characteristics and damage analysis based on multidimensional data fusion and HBIM – taking the former residence of HSBC bank in Xiamen as an example. Heritage Science, 2024, 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01238-w>
 14. Aricò M. Scan-to-BIM Process and Architectural Conservation: an HBIM-based workflow for decay mapping. Heritage, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage7020019>
 15. Avena M., Patrucco G., Remondino F., Spanò A. A scalable approach for automating Scan-to-BIM processes in the heritage field. ISPRS Archives, 2024, XLVIII-2/W4, 25–31. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-25-2024>
-

References

1. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2019). DBN B.2.2-12:2019. Planning and development of territories. Budstandart Online. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211.
2. Dorosh, O. S., & Tretiachenko, D. V. (2021). Planuval'na dokumentatsiya yak instrument upravlinnya zemlyamy zahal'noho korystuvannya [Planning documentation as a tool for managing public land]. *Balanced Nature Management*, (4), 55–61.
3. Verkhovna Rada of Ukraine. (2001). Land Code of Ukraine: Law of Ukraine No. 2768-

- III of 25.10.2001. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
4. State Committee for Land Resources of Ukraine. (2010). Instruction on the establishment (restoration) of land plot boundaries in nature (on site) and their fixation with boundary markers: Order No. 376 of 18.05.2010. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1025-10#Text>.
 5. Martyn, A., Hushchuk, S., & Hunko, L. (2011). Rozmezhuвання zemel' derzhavnoyi ta komunal'noyi vlasnosti: nova kontseptsiya [Delimitation of state and municipal land ownership: a new concept]. *Land Management Bulletin*, (11), 5–12.
 6. Martyn, A. H. (2011). Rehulyuvannya rynku zemel' v Ukraini [Regulation of the land market in Ukraine]. Kyiv: Agrar Media Group, 252.
 7. Novakivska, I. O., Blyzniuk, V. V., & Bereza, O. V. (2024). Stale zemlekorystuvannya v umovakh formuvannya mis'kykh ahlomeratsiy: vyklyky ta perspektyvy [Sustainable land use in the context of urban agglomeration formation: challenges and prospects]. *Scientific Innovations and Advanced Technologies*, 6(34), 928–941.
 8. Ministry of Economy of Ukraine. (2023). Approval of NC 018:2023 “Classifier of buildings and structures”: Order No. 1982 of 30.11.2023. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1888-23#Text>.
 9. State Committee for Land Resources of Ukraine. (1998). Technical guidelines for determining the boundaries of land plots in joint and joint partial ownership of individuals and legal entities in built-up areas of settlements. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0009400-98#Text>.
 10. Legifrance. (n.d.). General Code of Public Property: Articles L.3112-1, L.3112-2; R.3211-2. Available at: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGISC-TA000006170184/>
 11. Enemark, S. (Ed.). (2021). Fit-for-purpose land administration — Providing secure land rights at scale. *Land*, 10(9), 972. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/9/972>.
 12. Kaufmann, J., & Steudler, D. (1998). Cadastre 2014: A vision for a future cadastral system. Copenhagen: FIG. Available at: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014/translation/c2014-english.pdf>.
 13. Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development (BBSR). (2016). Model Building Code (MBO): Version of November 2002, last amended by resolution of the Conference of Building Ministers on 13.05.2016. Available at: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2016/musterbauordnung.html>.
 14. Sejm of the Republic of Poland. (n.d.). Act of 21 August 1997 on Real Estate Management (consolidated text). ISAP. Available at: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/Doc-Details.xsp?id=WDU1997115074>
 15. Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2010). Land administration for sustainable development. Redlands, CA: ESRI Press. Available at: https://eng.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0004/3929728/land-admin-for-sustainable-development.pdf.

**Kovalchuk I., Kozhemiako M., Kozhemiako P., Kutsenko O., Matviichuk D.
LASER SCANNING AND CREATION OF A BIM MODEL OF THE BUILDING NO.
1 NTUU "IGOR SIKORSKY KPI" AS A METHOD OF VISUALIZING HISTORICAL
AND ARCHITECTURAL HERITAGE**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 82-94.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.06>

Abstract. The article describes a comprehensive approach to obtaining and processing data after terrestrial laser scanning of an architectural monument and creating a BIM model of a fragment of the facade of a historic building – the First Building of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. In the course of this work, modern methods of spatial fixation of the object under study were used, including high-precision 3D scanning with a Leica ScanStation C10 scanner, point cloud registration, data filtering, and the results of their further processing in Leica Cyclone REGISTER 360 and Autodesk ReCap software, and the construction of an informational 3D model of this building in the Autodesk Revit environment.

Foreign and domestic experience in performing such work has been analyzed. It has been shown that one of the most effective methods of spatial documentation is terrestrial laser scanning (TLS), which provides a high-precision point cloud that reflects the actual shape of an object with an accuracy of several millimeters. International studies show that Scan-to-BIM technology is key in the processes of digital restoration and planning of reconstructions of historical objects. It is noted that Ukraine lacks systematic applied research that would combine these technologies into a comprehensive algorithm for specific historical and architectural objects. This circumstance indicates the practical importance of this research and the need for further development of methods for documenting historical facades using modern geodetic and geoinformation technologies.

The article pays particular attention to ensuring high data accuracy, station registration algorithms, scan parameter selection, and the potential for further use of the model in restoration work, technical condition monitoring, and digital conservation of cultural heritage objects. The LOD 300 model confirms the possibility of high-quality reproduction of the geometry of historical objects using Scan-to-BIM technology in the Ukrainian context.

Keywords: terrestrial laser scanning, point cloud, TLS, BIM model, Scan-to-BIM, digital preservation, historic building, architectural heritage, Autodesk Revit, Leica ScanStation C10, point cloud registration, Cyclone REGISTER 360, HBIM, facade restoration, 3D modeling, geodetic documentation, information modeling, measurement accuracy, LOD 300, digital reconstruction.