

УДК 343.98:343.14



<https://doi.org/10.33994/kndise.2026.71.44>

Мороз Ярослав Ростиславович

технік першої категорії відділу досліджень фотозображень, відео та звукозаписів лабораторії досліджень цифрових доказів Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України



<https://orcid.org/0009-0005-2216-6890>
yaroslav.moroz@kndise.gov.ua

Переїденко Андрій Олександрович

провідний судовий експерт відділу досліджень фотозображень, відео та звукозаписів лабораторії досліджень цифрових доказів Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України



<https://orcid.org/0009-0005-8449-8161>
andrii.pereidenko@kndise.gov.ua

Бібліографічний опис статті: Мороз Я.Р., Переїденко А.О. (2026). Застосування алгоритмів сегментації наземного лазерного сканування для підвищення точності розрахунку площ архітектурних об'єктів. *Криміналістика і судова експертиза*, 71, 704–715. doi: <https://doi.org/10.33994/kndise.2026.71.44>

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ СЕГМЕНТАЦІЇ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКУ ПЛОЩ АРХІТЕКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті розглядається проблема підвищення точності розрахунку площ архітектурних об'єктів на основі даних наземного лазерного сканування (НЛС). **Мета дослідження** – розробка методу обробки хмари точок, що дозволяє мінімізувати метричні похибки без побудови повноцінної 3D-моделі, а саме для підвищення точності вимірювання площі шляхом доповнення заданого виробником алгоритму обробки даних лазерного сканування додатковим сценарієм використання стандартних інструментів для мінімізації і контролю похибок вимірювань на прикладі матеріалу сканування відновленої після обстрілів житлової будівлі. Такі об'єкти є особливо складними для вимірювань, оскільки вони характеризуються наявністю нетипових деформацій, структурних пошкоджень, відхилень стін від вертикалі та складною геометрією залишкових руйнувань. У таких умовах

застосування стандартних, повністю автоматизованих шаблонів обробки даних є вкрай неефективним і часто призводить до хибних результатів. Саме з урахуванням економії часу на обробку матеріалу, ключовим елементом є підготовка хмари точок для вимірювання геометричних параметрів, а не 3D-моделі. **Методологічною основою** роботи стали загальнонаукові та спеціальні методи дослідження, зокрема формально-логічний, системно-структурний, метод аналізу та узагальнення наукових джерел та практики судово-експертної діяльності. Дослідження виконано на матеріалі сканування житлової будівлі, відновленої після ураження дроном. Запропонований метод базується на поєднанні алгоритму сегментації Region Grow у середовищі Leica Cyclone 3DR зі статистичним аналізом гістограм відхилень для верифікації побудованої апроксимуючої площини. Ключовим елементом підходу є ізоляція «довірчої зони» точок, що належать до цільової площини, замість суб'єктивного вибору оператором. **Наукова новизна** полягає у комплексному підході до дослідження відсканованої множини точок як самостійного об'єкта судово-експертної діяльності, визначенні ключових проблем їх дослідження, та оцінки отриманих результатів. У **висновках** підкреслюється, що застосування запропонованого методу дозволяє отримати достовірні результати з похибкою $\pm 0,002$ м, яка відповідає рівню точності LOA 40 (Level of Accuracy) за міжнародним стандартом USIBD (U.S. Institute of Building Documentation). Практична цінність роботи полягає у можливості застосування результатів як юридично верифікованої доказової бази в судовій експертизі, а також для розрахунку реставраційних кошторисів та оцінки збитків. Запропонований підхід суттєво скорочує час обробки порівняно зі стандартним Scan-to-BIM-процесом і забезпечує об'єктивність вимірювань на складних архітектурних об'єктах.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, множина точок, сегментація, Region Grow, точність вимірювань, LOA.

Moroz Yaroslav

First Category Technician of the Department of Photographic, Video, and Audio Recordings Research Kyiv Scientific Research Institute of Forensic Expertise of the Ministry of Justice of Ukraine



<https://orcid.org/0009-0005-2216-6890>
yaroslav.moroz@kndise.gov.ua

Pereidenko Andrii

Leading Forensic Expert of the Department of Photographic, Video, and Audio Recordings Research Kyiv Scientific Research Institute of Forensic Expertise of the Ministry of Justice of Ukraine



<https://orcid.org/0009-0005-8449-8161>
andrii.pereidenko@kndise.gov.ua

To cite this article: Moroz, Y., Pereidenko, A. (2026). Zastosuvannia alhorytmiv sehmentatsii nazemnoho lazernoho skanuvannia dlia pidvyshchennia tochnosti rozrakhunku ploshch arkhitekturnykh ob'ektiv [Application of terrestrial laser scanning segmentation algorithms to improve the accuracy of calculating the areas of architectural objects]. *Criminalistics and Forensics*, 71, 704–715. doi: <https://doi.org/10.33994/kndise.2026.71.44>

APPLICATION OF SEGMENTATION ALGORITHMS IN TERRESTRIAL LASER SCANNING TO ENHANCE THE ACCURACY OF AREA CALCULATIONS OF ARCHITECTURAL STRUCTURES

The article explores the problem of increasing the accuracy of area calculations for architectural objects based on Terrestrial Laser Scanning (TLS) data. **The aim of this study** is to develop a point cloud processing method that minimizes metric errors without constructing a full-scale 3D model. Specifically, it seeks to improve area measurement accuracy by complementing the manufacturer-provided laser scanning data processing algorithm with an additional workflow utilizing standard tools to minimize and control measurement errors. This approach is demonstrated using scanning data from a residential building restored after shelling. Such objects are particularly challenging for measurement due to atypical deformations, structural damage, wall deviations from the vertical, and the complex geometry of residual destruction. Under these conditions, the application of standard, fully automated data processing templates is highly inefficient and frequently leads to erroneous results. Therefore, to reduce data processing time, the key element is preparing the point cloud for geometric parameter measurement rather than generating a 3D model. **The methodological basis** of the work consists of general scientific and specialized research methods, in particular, formal-logical, systemic-structural methods, and the method of analysis and generalization of scientific sources and forensic practice. The research was conducted using scanning data from a residential building restored after being damaged by a drone. The proposed method is based on combining the Region Grow segmentation algorithm within the Leica Cyclone 3DR environment with statistical analysis of deviation histograms to verify the constructed approximating plane. A key element of the approach is the isolation of a “trust zone” of points belonging to the target plane, instead of a subjective selection by the operator. **The scientific novelty** lies in a comprehensive approach to the study of the scanned point cloud as an independent object of forensic activity, identifying key problems in their research, and evaluating the results obtained. **The conclusions** emphasize that applying the proposed method allows for obtaining reliable results with an error of ± 0.002 m, which corresponds to the LOA 40 (Level of Accuracy) according to the international USIBD (U.S. Institute of Building Documentation) standard. The practical value of the work lies in the possibility of applying the results as a legally verified evidentiary base in forensic expertise, as well as for calculating restoration estimates

and damage assessments. The proposed approach significantly reduces processing time compared to the standard Scan-to-BIM process and ensures the objectivity of measurements on complex architectural objects.

Key words: terrestrial laser scanning, point cloud, segmentation, Region Grow, measurement accuracy, LOA.

Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку технологій характеризується переходом від дискретних методів вимірювань до концепції «захоплення реальності» (Reality Capture). Ключовим інструментом у цьому процесі є наземне лазерне сканування (НЛС), яке дозволяє трансформувати фізичні об'єкти у цифрові масиви просторових координат – хмари точок. Ця технологія базується на принципі випромінювання лазерних імпульсів та вимірювання часу їх повернення (Time-of-Flight) або різниці фаз, що дозволяє з міліметровою точністю визначати просторові координати (X, Y, Z) кожної точки відбиття. Разом із геометричними даними, сучасні сканери також реєструють інтенсивність відбитого сигналу (albedo), яка безпосередньо залежить від фізичних властивостей матеріалу поверхні, кута падіння променя та навіть рівня вологості середовища. Саме ці фактори часто стають причиною виникнення оптичних артефактів та так званого «цифрового шуму» на відсканованих поверхнях, особливо при роботі зі скляними, металевими або сильно пошкодженими від кіптяви фасадами. Відповідно, «сирий» масив даних ніколи не є ідеальним і завжди потребує ретельної інтелектуальної фільтрації перед початком будь-яких прецизійних метричних операцій. Серед сучасного обладнання особливе місце посідає сканер Leica RTC360, що використовує технологію високошвидкісного зчитування геометричних параметрів зі швидкістю до 2 млн точок за секунду [1]. Проте справжній виклик криється не у зборі даних, а у швидкості їх обробки: традиційні методи створення полігональних моделей, через свою повільність та потребує значних обчислювальних ресурсів, що часто гальмує весь процес дослідження. Обробка масивів даних, що налічують сотні мільйонів або навіть мільярди точок, вимагає спеціалізованих високопродуктивних комп'ютерних станцій. Окрім того, класичні алгоритми побудови полігональних сіток (mesh) часто генерують надлишкову геометрію на плоских ділянках, що робить кінцеві файли занадто складними для імпорту у стандартні системи автоматизації проектних робіт (САПР).

Головною перевагою використання Leica RTC360 є інтегрована система візуально-інерціального позиціонування (VIS), яка забезпечує автоматичне зшивання сканів у реальному часі. Робота системи VIS базується на використанні вбудованих камер та інерціальних датчиків, що безперервно відстежують переміщення сканера у просторі між станціями спостереження. Це дозволяє програмному забезпеченню попередньо орієнтувати множини точок ще до початку етапу точної реєстрації в офісі, що критично важливо для оперативності польових робіт. Висока щільність даних дозволяє фіксувати найдрібніші дефекти конструкцій, які неможливо виявити традиційними метода-

ми. Також однією з основних переваг використання даного типу сканерів, зокрема, Leica RTC360 – це не тільки швидкість збору первинних даних сканування, а й швидкість обробки даних та можливість проводити камеральну обробку та розрахунки об'єкта. Проте, попри високу точність сенсорів, робота з такими масивами даних стикається з низкою викликів: надмірністю інформації, значними вимогами до обчислювальних ресурсів та складністю верифікації отриманих результатів при обчисленні площ у приміщеннях зі складною геометрією.

Наявна проблема полягає в тому, що наявність зібраної «сирої» множини точок ще не гарантує автоматичного отримання точних метричних показників об'єкта. Похибки при децимації (прорідженні) точок або некоректна інтерпретація площин об'єктів можуть призводити до розбіжностей у розрахунках площ та об'ємів. Стандартною процедурою фінальної обробки множини точок є створення на її базі 3D-моделі та подальші вимірювання що дає інколи значні похибки у зв'язку з особливостями перетворення у цей тип даних та займає дуже багато часу задля досягнення саме точної моделі.

Мета дослідження

Мета дослідження – розробка методу обробки хмари точок, що дозволяє мінімізувати метричні похибки без побудови повноцінної 3D-моделі, а саме для підвищення точності вимірювання площі шляхом доповнення заданого виробником алгоритму обробки даних лазерного сканування додатковим сценарієм використання стандартних інструментів для мінімізації і контролю похибок вимірювань на прикладі матеріалу сканування відновленої після обстрілів житлової будівлі. Такі об'єкти є особливо складними для вимірювань, оскільки вони характеризуються наявністю нетипових деформацій, структурних пошкоджень, відхилень стін від вертикалі та складною геометрією залишкових руйнувань. У таких умовах застосування стандартних, повністю автоматизованих шаблонів обробки даних є вкрай неефективним і часто призводить до хибних результатів. Саме з урахуванням економії часу на обробку матеріалу, ключовим елементом є підготовка множини точок для вимірювання геометричних параметрів, а не 3D-моделі.

Виклад основного матеріалу

Питання автоматизації вилучення геометрії з масивів множин точок є об'єктом активних досліджень у галузі Computer Vision та цифрової фотограмметрії. Більшість сучасних алгоритмів сегментації базуються на методах розростання областей (Region Growing) або ітераційній апроксимації, таких як алгоритм RANSAC (Random Sample Consensus).

Якщо метод RANSAC чудово справляється з пошуком ідеальних математичних примітивів (площин, циліндрів) у сильно зашумлених даних за допомогою ітеративного випадкового вибору, то метод

Region Growing працює за іншим принципом, локально розширюючи область від початкової точки. Проте, як зазначають дослідники у роботах, присвячених стандарту Scan-to-BIM, основною проблемою автоматичної сегментації є наявність «викидів» (outliers) та шумів, що виникають внаслідок специфіки відбиття лазерного променя від різних поверхонь [2]. У науковій літературі описано загальні принципи роботи інструментів типу Region Grow, де ключовими параметрами є поріг відхилення нормалі та евклідова відстань між сусідніми точками [3].

Проте, практичне застосування цих інструментів для задач прецизійного вимірювання площ у судовій експертизі залишається недостатньо висвітленим. Специфіка судової експертизи полягає у тому, що кожне вимірювання має бути науково обґрунтованим, а можлива похибка – строго регламентованою та мінімізованою. Від точності розрахунків площ пошкоджених поверхонь та об'ємів прямо залежать фінальні кошториси на відновлювальні роботи та оцінка завданих матеріальних збитків. Наявні інструкції від виробників програмного забезпечення (ПЗ), зокрема Leica Geosystems, фокусуються на технічному описі функціонала, залишаючи відкритим питання метрологічної верифікації результатів. Зокрема, потребує деталізації методика фільтрації артефактів на складних об'єктах з великою кількістю декоративних елементів (ліпнина, барельєфи), де стандартні налаштування сегментації можуть призводити до значних похибок при визначенні опорного контуру.

Для проведення вимірів геометричних параметрів об'єкту використовуються як множини точок так і 3D-модель, але у випадку з 3D-моделлю існують декілька значних чинників, які можуть впливати на вибір у користь множини точок. Затрати часу на 3D реконструкцію з множини точок, інколи можуть займати години. Процес перетворення множини точок у площину супроводжується автоматичним алгоритмом вибору точок для подальшої побудови площини і її згладжування [4]. Це часто стає причиною порушення неперервності площини, наявності значних відхилень від реального сканованого об'єкта. Замість цього, пропонується, оминаючи етап 3D реконструкції, контролювано, в ручному режимі створити умови для мінімізації похибок на етапі пост-обробки множини точок.

Точки для контуру який буде описувати площину для подальших вимірів вибираються на ізольованій площині точок на основі візуального аналізу ділянки з найменшим рівнем шумів. У процесі сканування, як вторинний результат цього сканування, можливі погрішності, артефакти, недостатньо очищені на попередньому етапі шуми. Цей візуальний шум може стати причиною вибору точки, який не лежить у площині реальної сканованої поверхні і у деяких випадках, таких як реконструкція точних деталей архітектури (ліпнина, барельєфи) і т. д. – вплинути на точність вимірів. Для вирішення подібних нестандартних завдань звичайного інженерного програмного забезпечення часто виявляється недостатньо. Саме тому доцільно використовувати спеціалізовані рішення для інспекції множин точок. Використовуючи функціонал ПЗ Leica Cyclone 3DR, можливо ізолювати певні точки у

заданому діапазоні, і це дозволяє обирати стартові точки для вимірів. Для цього спочатку необхідно грубо описати площину, визначивши її інструментом Region Grow (рис. 1). Вибір стартової точки для ініціалізації інструменту Region Grow здійснюється на візуально чистій, репрезентативній ділянці поверхні, що вільна від явних артефактів сканування та виступаючих елементів декору. Це дозволяє задати коректний початковий вектор нормалі для побудови апроксимуючої площини.

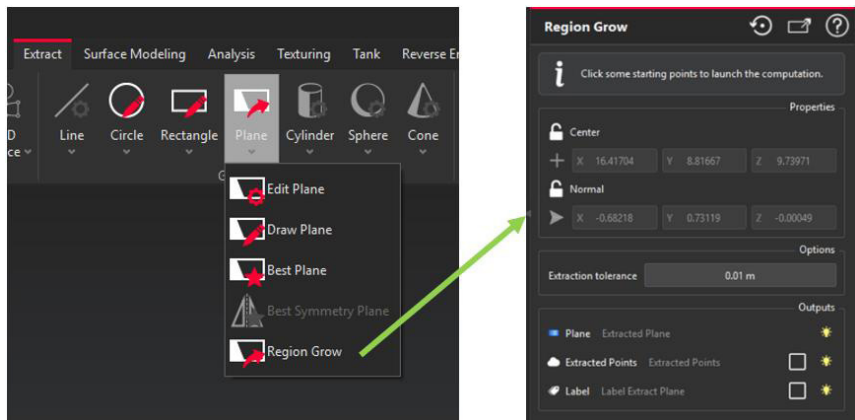


Рис. 1. Розташування та параметри інструменту Region Grow

Далі, користуючись цим інструментом обирається діапазон вилучення точок (Extraction tolerance – 0.01m). Значення допуску в 1 сантиметр визначено експериментальним шляхом як оптимальне для даного типу сканованої поверхні. Воно дозволяє ефективно нівелювати внутрішній апаратний шум лазерного сканера та незначні локальні нерівності будівельних матеріалів (наприклад, фактуру штукатурки чи шви кладки), запобігаючи при цьому помилковому захопленню точок, що належать до явно виступаючих або заглиблених архітектурних елементів фасаду.

Фактично це побудова ідеальної площини де алгоритм «вибирає» всі сусідні від обраної точки які знаходяться у межах допуску. Далі ці вибрані точки опитують вже своїх «сусідів» і т.д. Процес припиняється коли алгоритм знаходить точки, які виходять за межу допуску [3].

Такий ітеративний підхід до просторової сегментації є надзвичайно ефективним для виділення великих плоских структур з єдиного масиву «сирих» даних. Він гарантує, що результуюча вибірка точок буде належати виключно до досліджуваної площини стіни, автоматично відсікаючи віконні укоси, елементи водостічних систем, залишки будівельного риштування чи інші сторонні артефакти, які б неминуче спотворили результати подальшого обчислення площі.

Підтвердити правильність вибору стартової точки та коректність побудови площини можливо шляхом аналізу гістограми відхилень

(рис. 2). В межах заданого робочого діапазону 0.01 м, алгоритм розраховував відсотковий розподіл щільності множини точок. Для наочності цей інструмент також генерує карту відхилень (кольорове картування), де кожному колірному градієнту відповідає певна метрична відстань від конкретної точки сканування до побудованої математичної моделі ідеальної площини. Відповідно, така гістограма слугує не лише зручним засобом візуалізації процесу, а й суворим математичним критерієм оцінки якості проведеної сегментації.

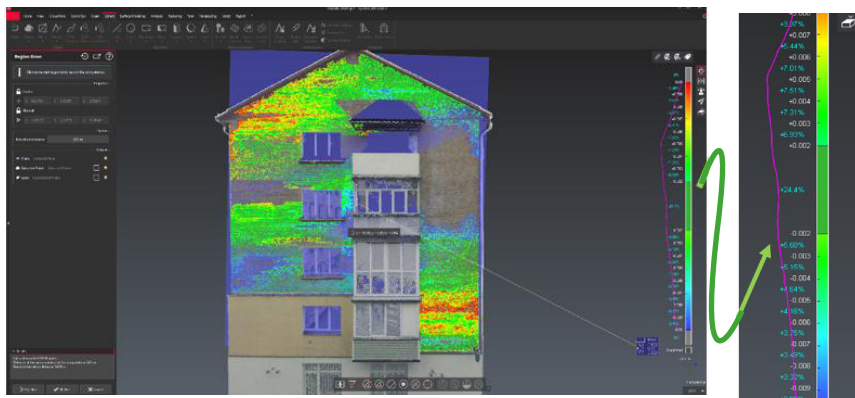


Рис. 2. Аналіз гістограми відхилень відсканованої поверхні фасаду

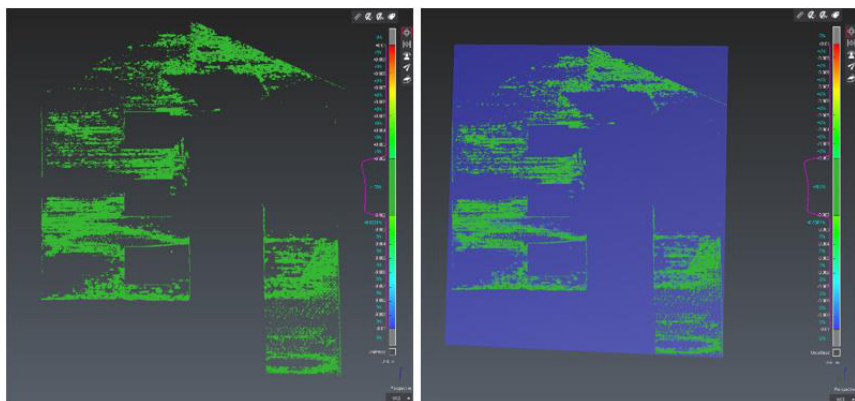



Рис. 3. Корисний масив точок відсканованої поверхні фасаду

Графічний аналіз демонструє, що розподіл має чітко виражений пік щільності в районі позначок ± 0.002 м, де зосереджено 24,4% точок (максимальне значення на крок гістограми). При цьому значна частина корисного масиву точок фасаду потрапляє у вузький «зелений допуск» ± 0.002 м (рис. 3). Це візуально підтверджує високу точність

апроксимації цільової площини відносно реальної геометрії об'єкта. Отримані статистичні результати свідчать про те, що обраний алгоритм налаштований максимально коректно, а згенерована площина може слугувати надійною базою (опорним контуром) для виконання фінальних інженерних розрахунків. Зведення похибки апроксимації до таких мінімальних значень (близько 2 міліметрів) є критично важливою передумовою для отримання об'єктивних та достовірних даних про геометрію пошкоджених фасадних систем, що повністю задовольняє жорсткі вимоги судової будівельно-технічної експертизи.

Оскільки пік гістограми яскраво виражений у центрі, це свідчить про те, що розрахована площина максимально точно відповідає однаково рівномірно розташованим по глибині точкам скану фасаду будівлі, а статистичний максимум зосереджений у межах міліметрового відхилення. Зони з негативним відхиленням («провали») коректно ідентифікуються як ділянки поза основною площиною. Такий характер розподілу є типовим для якісно відсканованих поверхонь з незначною шорсткістю. Виявлення та вилучення цих «провалів» або ж, навпаки, виступаючих елементів дозволяє уникнути систематичних помилок на наступних етапах обробки. Це гарантує, що базова площина не буде штучно зміщена через вплив локальних дефектів, таких як вибоїни від уламків, залишки зруйнованих конструкцій чи елементи декору, що часто зустрічаються на об'єктах, пошкоджених внаслідок бойових дій.

Користуючись цим візуально та статистично підтвердженим ізолюваним матеріалом, оператор отримує можливість виділити виключно достовірні точки для побудови фінальної площини, на базі якої можливо буде провести виміри.



Level	Upper Range	Lower Range
UDLOA	User Defined	User Defined
LOA10	15cm *	5cm *
LOA20	5cm *	15mm *
LOA30	15mm *	5mm *
LOA40	5mm *	1mm *
LOA50	1mm *	0 *

**Specified at the 95 percent Confidence level.*

Рис. 4. Шкала специфікації USIBD

Застосування запропонованого методу дозволяє не лише оптимізувати процес виділення контуру, але й документально підтвердити

граничну точність вимірювань згідно з міжнародними протоколами. У світовій практиці інжинірингу та цифрового будівництва (моделювання) ключовим критерієм оцінки якості просторових даних є стандарт USIBD (U.S. Institute of Building Documentation) [5], який регламентує рівні достовірності вимірювань – Level of Accuracy (LOA) (рис. 4). Інтеграція подібних протоколів у вітчизняну інженерну практику також сприяє поступовому та системному переходу до концепції інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling – BIM). У сучасній парадигмі Scan-to-BIM заявлений рівень геометричної точності (LOA) нерозривно пов'язаний з рівнем деталізації (LOD – Level of Development) кінцевої тривимірної моделі. Чим вища та достовірніша точність вихідних даних на етапі сегментації множини точок, тим надійнішою стає фінальна BIM-модель для етапів подальшої експлуатації (Facility Management), проектування посилення конструкцій або комплексної реставрації. Крім того, верифікація даних за допомогою гістограм відхилень радикально мінімізує вплив «людського фактора» під час камеральної обробки, перетворюючи суб'єктивні оцінки оператора на об'єктивні, математично підтверджені метрики. У перспективі це формує надійне стандартизоване підґрунтя для розробки новітніх автоматизованих систем аналізу руйнувань, де алгоритми машинного навчання (Machine Learning) зможуть самостійно класифікувати типи пошкоджень на основі еталонних високоточних множин точок. Цей стандарт було розроблено спеціально для подолання комунікаційних бар'єрів між виконавцями лазерного сканування та кінцевими користувачами просторових даних (експертами, архітекторами, інженерами, реставраторами). Використання специфікації LOA дозволяє ще на етапі формування технічного завдання чітко зафіксувати допустимі метричні похибки для різних елементів будівлі, що згодом мінімізує ризики непорозумінь, додаткових фінансових витрат та юридичних суперечок після здачі проєкту.

Висновки

Отриманий у ході нашого дослідження статистичний аналіз демонструє, що після просторової фільтрації цільовий масив точок має діапазон відхилень від побудованої апроксимуючої площини в межах ± 0.002 м (4 мм). Відповідно до специфікації USIBD, така метрична точність задовольняє найжорсткіші вимоги рівня LOA 40 (допуск 1-5 мм), що є здебільшого збитковим для реальних цілей вимірів великогабаритних об'єктів, але може бути цікавим саме з наукової точки зору. Досягнення цього рівня є складним завданням при стандартній обробці множини точок великогабаритних архітектурних об'єктів через вплив шумів та дефектів поверхонь. Як правило, для звичайних фасадних робіт та загально-будівельних обмірів технологія Scan-to-BIM (процес створення точної цифрової інформаційної моделі будівлі) на основі даних лазерного сканування множини точок задовольняється рівнями LOA 20 або LOA 30 (що дозволяє допуски від 5 мм до 5 см відповідно). Проте, продемонстрована в даному до-

слідженні здатність алгоритму стабільно досягати рівня LOA 40 на локальних сегментах відкриває нові перспективи. Це робить можливим високоточний моніторинг деформацій, прогинів та мікротріщин несучих конструкцій виключно за даними лазерного сканування, що раніше вимагало обов'язкового застосування спеціалізованих тензометричних датчиків або високоточних тахеометрів.

Як у самій технології Scan-to-BIM, так і в криміналістиці відповідність критеріям LOA 40 має вирішальну юридичну вагу. Доведення точності на рівні 4 мм за допомогою гістограм розподілу відхилень означає, що отримані контури та площі є беззаперечно легітимними для:

- ◆ точного розрахунку реставраційних кошторисів та оцінки збитків (що є критичним для відновлення зруйнованих будівель);
- ◆ укладання юридичних контрактів підряду з нульовим ризиком геометричних колізій;
- ◆ використання результатів як абсолютної доказової бази в судовій експертизі.

Таким чином, перехід від візуального вибору точок до математичної ізоляції масиву перетворює «сиру» множину точок фасаду на юридично верифікований документ, що відповідає найвищим міжнародним стандартам до аудиту просторових даних. Завдяки такій беззаперечній легітимності та математичній обґрунтованості вихідних даних, процедура погодження проектно-кошторисної документації значно оптимізується. На додаток, у випадку залучення міжнародних донорських організацій чи фондів для фінансування відбудови, наявність прозорої методології вимірювань, що спирається на визнані міжнародні стандарти (такі як USIBD), стає критично важливою умовою для успішного проходження фінансового та технічного аудиту, а також для підтвердження цільового використання коштів.

Запропонований авторами методичний підхід, що базується на комбінації інструментів сегментації Region Grow та аналізу відхилень, дозволяє нівелювати вплив несистематичних похибок та артефактів лазерного сканування і забезпечує перехід від суб'єктивного вибору точок оператором до об'єктивного аналітичного виділення характерних ліній контуру елементів будівлі, що є критично важливим для отримання юридично значущих результатів, в тому числі у судовій експертизі.

Список використаних джерел:

1. Leica RTC360 – 3D Reality Capture Solution : [офіц. сайт] / Leica Geosystems. Київ, 2026. URL: <https://leica-geosystems.com.ua/rtc360/> (дата звернення: 27.03.2026).
2. Patil J., Kalantari M. Automatic Scan-to-BIM – The Impact of Semantic Segmentation Accuracy. Buildings. 2025. Vol. 15, Iss. 7. Art. 1126. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15071126>.
3. Grilli E., Menna F., Remondino F. A review of point clouds segmentation and classification algorithms. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2017. Vol. XLII-2/W3. P. 339-344. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives->

XLII-2-W3-339-2017.

4. Remondino F. From point cloud to surface: the modeling and visualization problem. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2003. Vol. XXXIV. Part 5/W10. URL: <https://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/5-w10/papers/remondin.pdf> (дата звернення: 27.03.2026).

5. USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide. Document C120™ (Guide). Version 3.0 – 2019. U.S. Institute of Building Documentation (USIBD). 2019. 48 p. URL: <https://usibd.org> (дата звернення: 27.03.2026).

References:

1. Leica Geosystems. (2026). Leica RTC360 – 3D Reality Capture Solution: ofitsiyni sait [Leica RTC360 – 3D Reality Capture Solution: official website]. Kyiv. URL: <https://leica-geosystems.com.ua/rtc360/> (accessed: 27.03.2026) [in Ukrainian].

2. Patil J., Kalantari M. (2025). Automatic Scan-to-BIM – The impact of semantic segmentation accuracy. *Buildings*, 15(7), Article 1126. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15071126> [in English].

3. Grilli E., Menna F., Remondino F. (2017). A review of point clouds segmentation and classification algorithms. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, 339–344. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017> [in English].

4. Remondino F. (2003). From point cloud to surface: the modeling and visualization problem. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV, Part 5/W10. URL: <https://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/5-w10/papers/remondin.pdf> (accessed: 27.03.2026) [in English].

5. U.S. Institute of Building Documentation. (2019). USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide. Document C120™: guide. Version 3.0. 48 p. URL: <https://usibd.org> (accessed: 27.03.2026) [in English].

Надійшла до редакції / Received: 06.04.2026

Отримана після доопрацювання / Received after revision: 13.04.2026

Прийнято до друку / Accepted for publication: 27.04.2026

Опубліковано / Published: 29.05.2026

Фінансування: відсутнє / Funding: none.

Конфлікт інтересів: автор(и) заявляє(ють) про відсутність конфлікту інтересів / Conflict of interest: the author(s) declare no conflict of interest.

Дотримання етичних норм: дослідження виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності / Ethical compliance: the study was conducted in accordance with the principles of academic integrity.

Дані дослідження: усі дані, необхідні для обґрунтування висновків, наведено у статті / Research data: all data necessary to substantiate the conclusions are presented in the article.