

## Застосування лазерного сканування для моніторингу стану будівель та споруд при реконструкції

*Ірина Руднєва*

Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03037  
[irene\\_r@ukr.net](mailto:irene_r@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-9711-042X>

Отримано 12.04.2021, прийнято 19.05.2021  
<https://doi.org/10.32347/tit2141.0106>

### ВСТУП

Технологія наземного лазерного сканування все ширше використовується в останні 15 років для вирішення завдань не тільки інженерної геодезії, але й при обстеженні будівель і споруд, зокрема для виявлення пошкоджень та деформацій при експлуатації та реконструкції, а також це оперативний контроль будівництва інженерних споруд та моніторинг їх стану при експлуатації, 3D-моделювання складних архітектурних об'єктів. Зростаюча популярність лазерного сканування обумовлена цілим рядом переваг, які дає нова технологія в порівнянні з іншими методами вимірювань. Серед переваг необхідно виділити головні: підвищення швидкості робіт і зменшення трудовитрат. Поява нових більш продуктивних моделей сканерів, вдосконалення можливостей програмного забезпечення дозволяє сподіватися на подальше розширення сфер застосування наземного лазерного сканування.

Тривимірне лазерне сканування випромінює мільйони лазерних променів і, розраховуючи час їх повернення, може безпомилково і точно розрахувати їх тривимірні розташування, щоб зробити багаторазові високошвидкісні сканування, об'єднані в одну систему. Це працює шляхом цифрового запису розмірів і просторового зв'язку об'єктів за допомогою віддзеркалення лазерного випромінювання.

### МЕТА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Завдяки можливості отримання даних зі швидкістю мільйон точок в секунду і часу

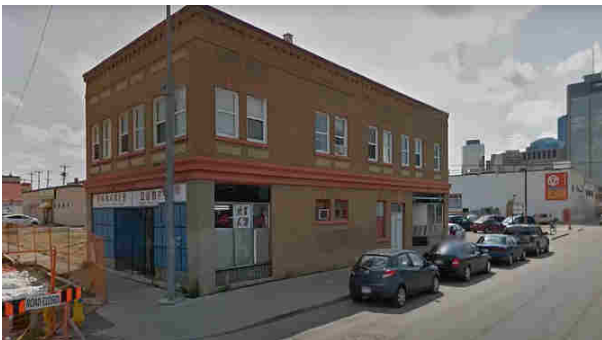
сканування всього три хвилини, використання технології 3D-лазерів є відмінним методом виявлення фактичних розмірів, пошкоджень та деформацій при експлуатації та реконструкції. Ключові переваги 3D лазерного сканування – це швидкість, точність і узгодженість.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Лазерне сканування працює дуже схоже на традиційні прилади для геодезичної зйомки в тому сенсі, що воно вимірює горизонтальний і вертикальний кут в поєднанні з похилою відстанню, але при цьому дуже швидко обертає лазер через вертикальну і горизонтальну дугу, використовуючи ці лазерні імпульси для вимірювання відстані. В результаті на комп'ютері зберігаються мільйони точок в секунду.

Одним з основних переваг використання лазерного сканера є те, що він значно знижує відповідальність проекту. Ця технологія дозволяє значно знизити кількість невідомих в проекті, тому що незалежно від того, представлено чи щось в результатах САПР або в даних опитування, інженер може фактично взяти хмару точок, подивитися на весь будівельний об'єкт і визначити інші області, що представляють інтерес. Це найбільш цілісний підхід до аналізу даних в середовищі. Якщо потрібна інформація про балки, колони, плити перекриття, стики, схеми болтів, бордюри, жолоби тощо, то всі ці різні речі представлені в одному лазерному скануванні, яке зазвичай отримується за результатами обстеження будівлі або споруди від відповідального інженера, що виконував заміри та візуальний огляд.

При скануванні об'єктів або територій реєструються мільйони точок даних (невидимих для людського ока). В результаті отримується точне зображення відсканованої території або об'єкта. Це точне зображення називається хмарою точок, яка і несе максимум інформації про досліджуваний об'єкт, будь то будинок, інженерна споруда, пам'ятник архітектури тощо (Рис. 1). Ці хмари точок потрапляють в загальну систему відліку, де вони об'єднуються в повну модель. Цей процес називається вирівнюванням або реєстрацією, де десятки сканів можна швидко об'єднати. 3D CAD модель (Рис. 2), створена з хмари точок, може допомогти в розширенні робочих процесів BIM.



а



б

**Рис. 1.** Лазерне сканування об'єкту будівництва

*а* – будівля, як об'єкт лазерного сканування; *б* – хмара точок, як результат лазерного сканування

За хмарою точок можливо вирішувати наступні задачі:

- Підготовка до будівництва.

- Отримання трьохвимірної 3D-моделі об'єктів (Building Information Modelling (BIM)).

- Отримання креслень, в тому числі креслень перерізів, при обстеженні будівель, як альтернатива обмірним кресленням.

- Виявлення дефектів будівельних конструкцій за допомогою порівняння з проектною моделлю.

- Визначення та оцінка значень деформації за допомогою порівняння з раніше проведеними вимірами.

- Контроль якості при будівництві.

- Отримання топографічних планів методом віртуальної зйомки.

В даний час активно йде перехід від 2D проектування будівель і споруд, реконструкції, реставрації, експлуатації до 3D проектування. Трьохвимірне проектування все ще досить часто залишається маркетинговим інструментом для залучення уваги. Тим не менш, лазерне сканування дозволяє робити всі перетворення в 3-D середовищі. Це виключає численні кроки перетворення від 2D до 3D, економить час і гроші проекту, що викликає розуміння істотних переваг 3D проектування не тільки у проектувальників, але, й у Замовників проектів, і вони готові платити за проекти в 3D.

Обмірні роботи та оформлення 3D моделей і обмірних креслень здійснюється відповідно до вимог ДСТУ Б А.2.4-4:2009 «Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної та робочої документації» [4]. Результати виконаних обмірних робіт виконуються в узгодженій єдиній системі координат і висот, а також в заданому форматі (в більшості випадків, в форматі .DWG).

3D лазерний сканер (ис. 2) – прилад, який, виробляючи до мільйона вимірювань в секунду, являє об'єкти у вигляді набору точок з просторовими координатами. Отриманий масив даних, званий хмарою точок, може бути згодом представлений в тривимірному і двовимірному вигляді, а також використаний для вимірювань, розрахунків, аналізу та моделювання. Хмара точок - первинний результат лазерного сканування.

За принципом дії лазерні сканери поділяються на імпульсні (TOF), фазові і триангуляційні. Імпульсні сканери розраховують відстань як функцію часу проходження лазерного променя до вимірюваного об'єкта і назад. Фазові оперують із зсувом фаз лазерного випромінювання, в триангуляційних 3D сканерах приймач і випромінювач рознесені на певну відстань, яке використовується для вирішення трикутника випромінювач-об'єкт-приймач.



**Рис. 2.** 3D лазерний сканер для тривимірного лазерного сканування будівель та споруд

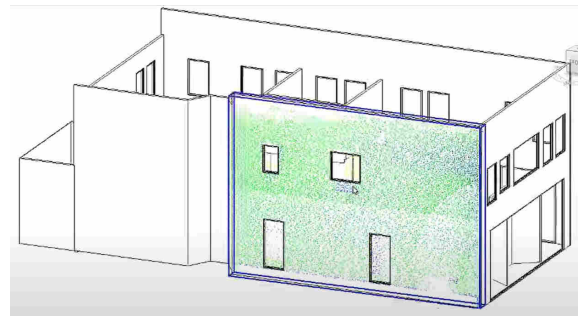
Лазерні сканувальні системи доцільно використовувати для створення 3D-моделі в Revit або в інших програмних продуктах, а далі формувати 2D-креслення для моніторингу стану будівель й міських територій, та подальшого виявлення дефектів та пошкоджень при експлуатації, реновації та реконструкції.

Після лазерного сканування будівельного об'єкту, модель хмар точок відразу не є готовою до аналізу. Дані дослідження складаються з мільйонів точок, які необхідно з'єднати, перетворити в лінії і вирівняти, щоб далі перетворити їх в модель з полігонами, і потім отримати BIM-модель (Рис. 3).

Розглянемо деякі чинники лазерного сканування, перш ніж прийняти рішення про застосування цієї технології:

- Дослідження хмари точок може бути дорогим.
- Це вимагає багато роботи на місцях

- Лазерні сканери, які використовуються для лазерної зйомки, є дорогими приладами.
- Обстежувані дані (чимала будівля вимагає мінімум 250...300 сканувань) можуть бути великими і вимагати багато оперативної пам'яті і місця для зберігання, щоб зберігати і обробляти хмари точок і перетворювати їх в BIM-модель.



*а*



*б*

**Рис. 3.** Створення моделі на основі отриманої хмари точок  
*а* – процес створення моделі на основі отриманої хмари точок ; *б* – створена 3D-модель

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Очевидно, що технологія лазерного сканування не ефективна для невеликих проєктів, з точки зору як трудовитрат, так і матеріальних витрат і часу.

У той же час, для величезних комерційних, інфраструктурних, висотних об'єктів, а також історичних будівель, що мають архітектурну цінність, сканування з перетворенням в BIM є доцільним і ефективним.

Немає жодних сумнівів у тому, що за допомогою лазерних досліджень процес збору необроблених даних стає надзвичайно простим і швидким. Але слід пам'ятати,

що 3D-сканери не можуть фіксувати деталі прихованих об'єктів, а також, що точність і кількість зібраних деталей залежать не тільки від типу сканера. Досвід фахівця з проведення досліджень також грає важливу роль.

На основі аналізу витрат і переваг слід вирішити, чи слід сканувати конкретний проект реконструкції, реновації або модернізації чи ні.

Варто відзначити, що вартість сканування з кожним роком знижується та незабаром лазерні сканери стануть доступними навіть для фахівців, які працюють над невеликими проектами, що принесе ще одну революцію в будівництві. Використання лазерної зйомки стане звичайним явищем, і навіть в невеликому двоповерховому проекті будівництва будівлі можна буде використовувати переваги хмари точок для ВІМ за допомогою проектною документації, виявлення колізій, швидкого відстеження процесу будівництва тощо.

Майбутнє лазерного сканування і перетворення в ВІМ не обмежуватиметься проектною документацією реконструкції, реновації, ремонту, а буде використовуватися в

новому будівництві для сканування встановлених конструкцій і перевірки їх на відповідність проектним моделям, а також під час експлуатації будівель.

**Ключові слова:** тривимірне лазерне сканування, хмари точок, 3D-моделювання, створення поверхонь, ВІМ, реконструкція, моніторинг, стан будівель та споруд.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Łukasz J. Bednarz, Jerzy Jasińko, Marcin Rutkowski, Tomasz P. Nowaka. (2014) Strengthening and long-term monitoring of the structure of an historical church presbytery. *Engineering Structures*, Vol.81. DOI:10.1016/j.engstruct.2014.09.028
2. <https://leica-geosystems.com/ru/products/laser-scanners/laser-scanning-industry-applications>
3. <https://hivevp.com/3d-laser-scanning-for-chemical-plant-applications/>
4. <https://www.e-arc.com/blog/4-use-cases-for-3d-laser-scanning-in-construction/>
5. ДСТУ Б А.2.4-4:2009. Система проектною документації для будівництва. Основні вимоги до проектною та робочою документації.