

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.11>

УДК 72.02.004

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО СКАНУВАННЯ ПРИМІЩЕНЬ, ЩО НАСИЧЕНІ ОБЛАДНАННЯМ, З ЦІЛЛЮ РЕВЕРСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ ОСВІТНІХ ПРОЄКТІВ

Строкань Вікторія Анатоліївна¹, Нещадим Владислав Олегович²

¹Студентка III курсу

Київського міжнародного університету, Київ, Україна,
e-mail: anklaw2017@gmail.com, orcid: 0009-0005-6494-0928

Науковий керівник – Нещадим Владислав Олегович

²Старший викладач

Київського міжнародного університету, Київ, Україна,
e-mail: architector_vn@ukr.net, orcid: 0000-0001-6443-6864

Анотація. У даній статті описано формування низько бюджетного функціонального інструментарію для реверсного проектування та побудови BIM – моделей існуючих інженерних об'єктів на базі методів тривимірного лазерного сканування зсередини приміщень з високим ступенем наповненості обладнання та інженерними комунікаціями. У випадку виробничих забудов та приміщень насичених їх обладнанням та технологічними комунікаціями ще вище, а різноманіття такого наповнення має велику кількість варіантів. Обрано спосіб до інтеграції інформації в єдиний цифровий комплекс, що носить стійку назву BIM – технології. Аббревіатура BIM розшифровується як Building Information Model та є фактично універсальним технологічним стандартом, що широко приміняється при описанні повного життєвого циклу таких об'єктів. З сьогоднішніми темпами науково-технічного розвитку складно уявити якими будуть техніка і технології отримання інформації про наземні об'єкти фотограмметричними методами в найближчому майбутньому. Доцільність використання даної технології є великою в зв'язку з проблемою з якою може зіштовхнутись будівництво, а саме низька продуктивність праці та кваліфікація робочої сили через великі об'єми робіт, складність здійснення контролю на будівельній площадці та висока матеріало та енергоємність. Можливість реалізації автоматизованої системи на місці будівництва в короткі строки дозволить скоротити технологічні складові будівельної індустрії та підвищити її ефективність. В роботі нас будуть особливо цікавити задачі обміру та генерації хмар точок не скільки для відносно пустих приміщень (житлові кімнати, учбові аудиторії, громадські та торгові простори), скільки виробничі приміщення з високою інтенсивністю заповнення обладнанням та комунікаціями. Такий підхід пов'язаний з високою інтенсивністю наповнення обладнанням та комунікаціями. Такий підхід пов'язаний з тим, що рішення задачі формування хмар точок для приміщень з високою наповненістю очевидним шляхом методично вирішує і задачу для більш простих об'єктів. При цьому практично в кожній споруді маєтись як мінімум декілька приміщень, укомплектованих забезпечуючими інженерними системами – насосна, вентиляційна, електрична, теплові пункти та інше.

Мета. Виконати огляд підходів до реінжинірингу побудови інформаційних моделей споруд з використанням дослідження геометричних параметрів об'єкту тривимірним лідарами на базі цифрової обробки хмар точок.

Методологія. Включає в себе наступні методи: комплекс загально наукових логічних методів дослідження, заснованих на теоретичному аналізі технологічних рішень, представлених в науково – технічній літературі, інформаційних ресурсах розробників та засобах масової інформації, в тому числі патентах, наукових статтях та виданнях

Результати. У результаті проведення дослідження розроблена технічна концепція низько бюджетного лідарно вимірювального комплексу на базі двовимірного лідара. Виконана розробка фізичної та програмної архітектури. Описаний результат виконання етапу серії – проектування, виготовлення та перевірка прототипу тривимірного лазерного сканування на базі двовимірного лідара.

Наукова новизна. Виявлені проблеми, та їх причини, скорегована програма дослідження та розробки.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути використані при цифровому скануванні, що насичені обладнанням з ціллю реінжинірингу.

Ключові слова: реверсне проектування, BIM-технології, цифрова обробка хмари точок, хмара точок, лазерне сканування, лідар, забудова, проектування забудови, проекти, архітектура, проектування, комунікації, прототип, двовимірний лідар, реінжиніринг.

ВСТУП

Однією з важливих задач сучасної цифрової трансформації індустрії та бізнесу стає побудова цифрових двійників різних інженерних об'єктів. В рамках даної статі ми розуміємо під складними інженерними об'єктами, насичені інженерним обладнанням загального чи виробничого призначення будівлі та споруди. Це може бути житлова забудова, громадська забудова, офісний центр – практично будь-який сучасний об'єкт має у своєму складі базові інженерні системи, такі як системи водопостачання та водовідведення, теплового постачання, повітряної підготовки, вентиляції та кондиціонування, силового електропостачання та слабо точні кабельні системи.

Використання BIM – технології почалось з етапу проектування. Ведучі виробники інженерного програмного забезпечення у всьому світі представляють на ринок широкий спектр цифрових продуктів для BIM – моделювання. При цьому створення на етапі проектних робіт BIM – моделі використовуються потім на протязі всього часу існування об'єкта (життєвого циклу) та суттєво підвищує ефективність всіх його етапів.

Однак треба розуміти, що в справжній час по технології BIM розроблена лише частина проектів останніх років, що складає в кращому випадку одиниці процентів загальної кількості об'єктів капітального будівництва, що експлуатуються практично в будь-якій країні. Вартість проектування

достатньо велика, до 10% витрат на спорудження об'єкта. Тим не менш спокуса обладнання BIM – моделлю складного інженерного об'єкта на етапах експлуатації, модернізації та реконструкції, виводу з експлуатації настільки великий, що на наших очах народжується новий ринок в високо технологічних, в базі своїй цифрових послуг, що носять назву реінжиніринг, тобто створення BIM – моделей існуючих споруд та забудов.

На відміну від початкового проектування в цифровому вигляді, реверсивне проектування має в якості джерел об'єктивної інформації не тільки задум проектного бюро, що опирається на технічні потреби замовника. Для створення цифрової моделі існуючої споруди приходиться враховувати уже існуючу проектну документацію, частіше за все не повну або частково невідповідно об'єкту, зміненого в ході життєвого циклу, але і фізичну реальність – конкретна споруда, включаючи актуальні архітектурно-планувальні дані, трасування різних видів технологічних комунікацій, розміщення промислового обладнання. Таким чином, треба мати справу з дуже об'ємною інформацією для побудови актуальної цифрової інформаційної моделі за розумні гроші і в короткі терміни.

Дана задача являється, фактично технологічним фронтом для цифрових BIM – технологій. Одним з сильно розвинених інструментів її рішення являється технологія роботи з хмарами точок. Існує декілька підходів до

інструментального забезпечення рішень за задачі реінжинірингу на базі автоматизованих обмірів споруд та забудов. Найбільш швидкою та точною представляється технологія лазерного сканування. Відповідний пристрій носить назву лідар. Є і альтернативні технології – фотограмметрія (визначення фактично фізичних розмірів по результатам молекулярних чи бінокулярних фотозйомок об'єктів з різних позицій). Для ряду спеціальних задач (визначення прихованих елементів будівельних конструкцій та інженерних систем) використовуються методи та обладнання магнітного сканування, ультразвукового сканування прихованих та важко доступних площин і ряду інших методів. В результаті таких вимірів формуються нові цифрові можливості хмари точок. В загальному вигляді це набір інформації, що об'єднує чисто геометричні характеристики (координати кожної точки з хмари) та фізичні характеристики для кожної точки. Загальна задача реверсного проектування в цьому випадку зводиться до формування більш складних та змістовних моделей на основі аналізу даних та таких хмар точок (виділення різних типів поверхонь, розпізнавання архітектурних елементів, конструкцій, технологічних комунікацій та промислового обладнання). Загальною задачею носить достатньо комплексний характер, і на даному етапі ми зосередимося на питанні формування первинного набору даних хмари точок. Методи їх цифрової обробки дуже цікаві і все ще нетривіальні, однак їх розгляд та обговорення виходять за рамки даної роботи.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В літературі останнього десятиліття широко висвітлені переваги експлуатації будівель та споруд, що мають комплексні цифрові двійники, інтегруючи просторові дані та атрибутивну інформацію як по архітектурно – планувальним параметрам, так і по інженерним системам, технологічним комунікаціям та розгорнутому обладнанню.

МЕТА

Виявлення особливостей підходів при цифровому скануванні приміщень, що оснащені обладнанням, з ціллю реінжинірингу.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В рамках даної роботи ми будемо обговорювати прикладні цифрові програмні та апаратні засоби для формування хмар точок достатнього об'єму та щільності розміщення для отримання достовірного уявлення про влаштування приміщення, включаючи:

1) архітектурні елементи (несучі конструкції, перекриття, огорожувальні конструкції, марші сходів та ліфтові шахти);

2) інженерно – технологічні комунікації (трубопроводи, кабелеві лотки, кабелі та інше);

3) обладнання технічного та виробничого призначення [15, с. 27].

Нас будуть особливо цікавити задачі обміру та генерації хмар точок не скільки для відносно пустих приміщень (житлові кімнати, учбові аудиторії, громадські та торгові простори), скільки виробничі приміщення з високою інтенсивністю заповнення обладнанням та комунікаціями [16; 21]. Такий підхід пов'язаний з високою інтенсивністю наповнення обладнанням та комунікаціями. Такий підхід пов'язаний з тим, що рішення задачі формування хмар точок для приміщень з високою наповненістю очевидним шляхом методично вирішує і задачу для більш простих об'єктів. При цьому практично в кожній споруді маєтись як мінімум декілька приміщень, укомплектованих забезпечуючими інженерними системами – насосна, вентиляційна, електрична, теплові пункти та інше. Тобто обмежитись обміром мало заповнених приміщень неможна навіть для звичайних споруд не виробничого призначення [20; 1, с. 70].

Також ми будемо розглядати задачу обміру приміщень з середини, оскільки зовнішні обміри краще автоматизувати дроном. Для поставленої задачі не дуже суттєво на час сканування в визначених розумних межах. Для отримання адекватної цифрової BIM-моделі важлива повнота сканування та його точність. На першому етапі, якому відповідає справжня робота, ми обмежимося з обговоренням формування хмари точок, не вдаючись поки в технологію та цифрові методи подальшої обробки цих даних та використаних програмних засобів для перетворення хмари точок в структуровані BIM – модель [2, с. 36]. Однак важливо розуміти, що для подальшої обробки необхідно забезпечити відносну рівномірність розповсюдження генеруючого в ході сканування хмари точок по всім поверхням зсередини приміщення. В якості базової технології ми обрали лазерне сканування на базі лідарів. Це найбільш пророблений та точний метод, добре підстроєний на апаратному рівні для генерації цифрових даних в форматі хмар точок. Однак він має ряд обмежень. Найбільш важливе з них породжено базовим фізичним принципом – виміри проводяться за рахунок відображення світлових променів від поверхні. Таким чином, у випадку високої наповненості приміщення зафіксованими об'єктами

формується велика кількість тіньових зон [11, с. 19]. Більш близькі до вимірювальної системи предмети затіняють віддалені, а при скануванні об'ємного елемента хмара точок формується лише в зоні прямої видимості і відповідає лицьовій частині об'єкту. Відповідно, необхідно сканування приміщення з більшої кількості різних точок, в загальному випадку зі змінами всіх трьох координат вимірювальної системи – переміщення лідача як по площині підлоги приміщення, так і по висоті. Після цього необхідно забезпечити високоточну зшивку фрагментів сканування – локальних хмар точок, отриманих при вимірюванні з фіксованим положенням та орієнтацією вимірювальних систем [7, с. 67, 19]. Тільки тоді можна надіятись на достатньо низький рівень неправильності інтегральної хмари точок та отримати достатньо коректні просторові дані.

В принципі на світовому ринку представлені професійні вимірювальні системи на базі технології лідарного сканування, в яких описані проблеми вирішені як мінімум частково. Однак такі системи мають дуже високу вартість для масового використання. Вони дуже дорогі для невеликих проектів чи будівельних компаній, високотехнологічних стартапів в сфері будівництва та будівельного контролю, а також для навчальних цілей [18; 6, с. 200]. Альтернативна бізнес – модель, оренда обладнання для разового вимірювання має обмеженням кваліфікаційні потреби до оператора системи. Оскільки технологія та програмне забезпечення поки не стандартизовані в достатній мірі, дане цифрове обладнання залишається в сфері використання підготовлених професіоналів, що безумовно знижує широту його використання. В даній роботі описується підходи до побудови точок для внутрішніх приміщень малого та середнього розміру з високим рівнем наповненості об'єму елементами обладнання та технологічними комунікаціями [4, с. 14]. Прикладом таких задач може бути реверсне проектування в житлових, суспільних та виробничих спорудах, а також малих виробничих приміщень.

Як слідує з приведенного вище розгляду, для реалізації адекватної системи лазерного (лідарного) сканування, що використовується для цілей реінжинірингу окремих приміщень з високим заповненням обладнанням, необхідні рішення двох різних задач. Перша задача – конструювання, виготовлення та налагодження безпосередньо тривимірного лідача з задовільними параметрами вимірювання та хорошою вартістю. Концептуальна ідея рішення полягає в використанні не

спеціалізованих тривимірних систем сканування заводського виготовлення дизайну та виробництва зарубіжних фірм, а в використанні спрощених пристроїв – двовимірних лідарів [5, с. 202]. Цей клас обладнання набагато більш широко використовується для різних змінних в одній площині пристроїв, наприклад, автомобілів, обладнаних інтелектуальними асистентами водія або безпілотних автомобілів. Ще більш простою масовою сферою використання являється серійні роботи – пилососи, як раз призначені для автономного переміщення по приміщенню з безперервним контролем положення пристрою в середині приміщення [13, с. 78]. Також подібні пристрої широко використовуються для навчальних цілей в складі комплектів – конструкторів інтелектуальних робото технічних пристроїв. Внаслідок великих тиражів випуску та необхідності вбудовування в побутову техніку, такі двовимірні системи позиціонування на технологічній базі двовимірних лідарів володіють тут дуже низькою вартістю (в межах 150–200 доларів). Відповідно для задачі тривимірного сканування необхідна добудова системи поворотної платформи, з кроково регульованим нахилом площини та синхронізацією з двовимірним скануванням по горизонту [14, с. 44]. Ця задача в механічній частині багатократно вирішена навіть для простих пристроїв та для будівельних інструментів. Генерація цифрових даних та управління такими системами на сучасному рівні легко виконується простими масовими контролерами. Саме ця концепція використання простих поворотних платформ в поєднанні з двовимірним лідаром являється перспективною, та дозволяє зменшити вартість (тривимірної лідарної вимірювальної системи для реверсивного проектування) на порядок і більш того, без втрати функціональних можливостей [15, с. 27]. Як згадувалось раніше необхідне проведення лазерного сканування з різних точок всередині приміщення для встановлення ефекту затінення значної частини контрольованого простору [17; 18]. Це необмежено приводить генерації багатьох хмар точок, достовірно позиціонованих лише відносно швидкого положення вимірювального пристрою. Для формування об'єднаної хмари точок, необхідно коректне поєднання даних локальних вимірювань в єдиному просторі приміщення. Оскільки для отримання достовірної моделі приміщення необхідна достатньо висока щільність покриття всіх поверхонь хмар точок, треба закладати автоматизовану процедуру програмної обробки та інтеграції локальних хмар в єдину цілісну хмару. Для

цього треба коректно, з мінімальною участю оператора виміряти положення та орієнтацію пристроїв платформи зсередини замкнутих, в тому числі ізольованих приміщень відносно локальної системи координат [21]. На ринку готових вимірювальних систем таке рішення відсутнє. Підмітимо що це треба для широкого класу вихідних задач, в тому числі в ході комплексного дослідження організації робіт на об'єктах [22]. Однак концепція технічного рішення системи лазерного сканування приміщення в цілях реверсного цифрового проектування повинна мати апаратно – програмне рішення.

Концепція фізичної архітектури розроблюваної системи включає в себе такі компоненти:

1) двовимірний пристрій для сканування;

2) контролер контролю та управління орієнтацією виконуючого механізму. Отримані дані з акселерометра;

3) поворотний механізм для повертання платформи з скануючим пристроєм. Для коректної роботи системи в промисловому режимі потрібно повертання платформи як мінімум відносно двох осей (а для повної автоматизації вимірювань – відносно трьох осей);

4) датчики контролю кутів нахилу та повороту вимірювальної платформи (акселерометри);

5) пристрої передачі потоку даних з двомірного сканера та даних про орієнтацію вимірювальної платформи локального пристрою обробки даних системи;

6) локальний пристрій обробки інформації;

7) віддалений сервер, бажано запроєктувати розгортання хмарного сервера зберігання та обробки даних, що отримуються з ноутбука при виході його в мережу інтернет. Сервер з кінцевою конфігурацією повинен забезпечити отримання даних з довільною кількістю вимірювальних систем.

Для створення системи по описаній концепції необхідно враховувати ряд технічних характеристик компонентів: потужність, номінальну напругу електричних пристроїв, їх інтерфейси, крутячий момент механізму що використовується та інше. Архітектуру системи можна умовно розділити на внутрішню та зовнішню [19]. До внутрішньої архітектури відносяться компоненти, котрі безпосередньо кріпляться до корпусу пристрою що розроблюється. До зовнішньої архітектури відносяться компоненти, котрі грають важливу роль в роботі системи але фізично від корпусу відділені. Таким чином до внутрішніх

компонентів розроблюваної системи можна віднести такі елементи:

1) пристрій котрий має свій власний процесор та пам'ять;

2) пристрій котрий представляє з себе 2D – лазерний сканер, котрий може виконувати сканування 360 градусів.

Дослідження системи проводиться в приміщення в центрі якого встановлюється експериментальний стенд. Навколо сканера розставляються різні геометричні форми для оцінки точності та якості сканування. На перших вимірах головка лідара робить один оберт навколо своєї осі при положення платформи, але щільність сканування в такому випадку буде дуже низькою і об'єкти з важкістю можна розрізнити [17; 18]. Тоді треба збільшити кількість оборотів головки для сканування лідара до 5 оборотів. Отримані дані завантажуються в програмний комплекс Autodesk. Це десктопне положення котре допомагає користувачам працювати з результатом лазерного сканування – хмарою точок. Також програма надає можливість завантажувати фотографії та на їх основі створювати тривимірну тріангуляційну модель. Autodesk Recap представляє багато функцій для взаємодії з завантаженими даними від початкового зумінгу отриманої хмари точок до зміни окрасу точок по різним ознакам [2, с. 40, 16]. Також проект Autodesk Recap в подальшому можна експортувати в Autodesk Revit. При детальному розгляді отриманих результатів можна побачити обриси наприклад стола та розглянутих на ньому предметів, та приміщення в цілому. Подальший алгоритм обробки даних (координат хмари точок):

1) виділення базових паттернів точок у вигляді поверхонь;

2) співвідношення отриманих поверхонь з реальними об'єктами;

3) побудова просторової моделі, котра включає в себе 3D геометрію сканованих об'єктів.

В справжній час при аналізі даних в роботі таких систем можна виявити проблему геометричної похибки. Перетворення сферичного в декартову систему координат виконуються відносно статичного центру. Однак на притиці рух центру сканування складніший – рухається платформа та повертається головка лідара і відображення йде криволінійною поверхнею, хоча в реальності це буде плоскість. Також треба враховувати, рівень перекоосу установки для сканування, так як вона може знаходитись на нерівній поверхні. Для практичного використання необхідне

уточнення програм перерахунку координат кінцевої хмари точок.

ВИСНОВКИ

За результатами даного дослідження можна підтвердити принципову працездатність розглянутою схеми апаратно – програмного комплексу, призначеного для низько бюджетних повністю функціонуючих формувань хмар точок поверхонь, насичених обладнанням та інженерними комунікаціями приміщень. Так принципово вирішується перша з двох інженерних задач необхідних для прототипування комплексної системи тривимірного лазерного сканування таких об'єктів. На наступних етапах вже необхідно вирішувати ряд задач для повноцінного досягнення створення низько бюджетних технологічно незалежних систем підготовки цифрових даних для реверсивного проектування складних цифрових даних для реверсивного проектування складних інженерних об'єктів шляхом формування хмар точок. Розглянуто задачі:

1) програмний алгоритм обробки даних вимірів першої вимірної системи – тривимірного

лазерного сканування на базі двовимірного цифрового лідара;

2) механічна частина первинної вимірювальної системи – платформи контролюваного повороту двовимірного лідара з потрібним рівнем точності та дискретності;

3) розгляд промислової версії програмного забезпечення комплексу, включаючи програмне забезпечення для переведення моделі системи в парадигму цифрового сервісу;

4) розгляд системи точного вимірювання положення та орієнтації платформи вимірювальної системи в закритих, в тому числі ізольованих приміщеннях.

Дані розглянутого дослідження та розробок можна використовувати в найближчі роки та реалізовувати поетапно в подальших публікаціях. Дане дослідження є оглядовим, але воно може бути розвинути до рівня прикладного впровадження. Розвиток дослідження передбачає перехід від аналітики до практики, а саме створення тривимірних моделей із навантаженням їх комплексною атрибутивною інформацією про об'єкти.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Агуліва Д. Лазерне сканування для гібридних моделей хмарами точок. *Лазерне сканування*. 2007. № 1. С. 69–82.
- [2] Глотов В.С. Аналіз методів створення фронтальних планів методами лазерного сканування землі та цифрової фотографії. *Геодезія, картографія та аерофотознімання*. 2013. № 78. С. 36–62.
- [3] Джафар Х. Кількісна оцінка похибок наземного лазерного сканера з метою моніторингу. *Лазерне сканування*. 2018. № 76. С. 248–260.
- [4] Камнев І.С. Аналіз тривимірної векторної моделі фасаду, створеної за фотограмметричними даними. *Фотограмметрія та сканування*. 2017. № 6. С. 4–16.
- [5] Катушков В.О. Співвідношення очікуваної точності наземного лазерного сканування. *Містобудування та планування територій*. 2012. № 44. С. 201–214.
- [6] Мехелке К. Порівняльні дослідження поведінки точності нового покоління наземних систем лазерного сканування. *Сканування в оптиці*. 2017. № 3. С. 199–227.
- [7] Пескі А. Роздільна здатність наземного лазерного сканера: чисельне моделювання та експерименти з оптимізації просторової вибірки. *Дистанційне зондування*. 2021. № 8. С. 52–70.
- [8] Серед В. Наземне лазерне сканування. *Лазерне сканування*. 2009. № 2. С. 32–40.
- [9] Соударісанан С. Геометрія наземного лазерного сканування. *Моделювання геометрії сканування*. 2018. № 6. С. 14–22.
- [10] Соударісанан С. Геометрія сканування: фактор впливу на якість точок наземного лазерного

REFERENCES

- [1] Aguilera, D., Gonzalez, P. (2007). *Automatic Co-Registration of Terrestrial Laser Scanner and Digital Camera for the Generation of Hybrid Models [ISPRS Workshop on Laser Scanning]*. Lublin: [in Poland].
- [2] Glotov, V., Glovnik, A. (2013). *Analysis of methods of creating frontal plans by laser ground scanning and digital photography [Geodesy, cartography and aerial photography]*. Lviv: Znania [in Ukrainian].
- [3] Kamnev, I., Seredovich, V. (2017). *Analysis of the three-dimensional vector façade model created from photogrammetric data [Remote Sensing & Spatial Information Sciences]*. Kyiv: Bykva [in Ukrainian].
- [4] Katushkov, V., Shultz, R. (2012). *Correlation between the expected accuracy of terrestrial laser scanning and requirements for the accuracy of engineering and geodetic works [Urban planning and territorial planning]*. Zhitomyr: Slovo [in Ukrainian].
- [5] Mechelke, K., Kersten, T. (2017). *Comparative investigations into the accuracy behaviour of the new generation of terrestrial laser scanning systems [Proc. in the Optical]*. Antalya: Kvin [in Turkey].
- [6] Pesci, A., Teza, M. (2021). *Terrestrial laser scanner resolution. Numerical simulations and experiments on spatial sampling optimization [Remote Sensing]*. Wichmann: Optil [in USA].
- [7] Schulz, T., Ingensand, H. (2019). *Influencing variables, precision and accuracy of terrestrial laser scanners [In Proceedings of INGEO]*. Stuttgart: Lilot [in Germany].
- [8] Sered, V., Komiov, A. (2009). *Terrestrial laser scanning: monograph [Laser scanning]*. Poznan: Library [in Poland].

сканування. *Фотограмметрія та геометрія сканування*. 2019. № 66(4). С. 389–399.

[11] Стайджер Р. Геометрична якість наземного лазерного сканера. *Геометрія у матеріалах сканування*. 2022. № 4. С. 15–20.

[12] Тан К. Корекція даних інтенсивності для ефекту відстані в наземних лазерних сканерах. *Землі та дистанційне зондування*. 2018. № 81. С. 12–14.

[13] Тан К. Дослідження даних інтенсивності та похибок вимірювання відстані від дзеркальних відбитків цілі. *Дистанційне зондування*. 2019. № 10(7). С. 77–78.

[14] Шан Дж. Топографічна лазерна локація та сканування: принцип та обробка. *Топографічне сканування*. 2018. № 7. С. 32–45.

[15] Шульз Т. Вплив на змінні та точність наземних лазерних сканерів. *Наземне сканування*. 2019. № 5. С. 26–30.

[16] Сайт журналу «Лабораторія дронів». URL: <https://3dprint.com/>.

[17] Сайт журналу «MIT Media Lab». URL: <https://www.media.mit.edu/>.

[18] Сайт журналу «Effects on the measurements». URL: <https://www.proceedings.work.mit.edu/>.

[19] Сайт журналу «Focus 3D Manual». URL: <https://farot.app.box.com/>.

[20] Сайт журналу «Scan Station P16». URL: <http://www.leicageosystems.us/>.

[21] Сайт журналу «Metrological». URL: <http://metrological.app.box.com/>.

[22] Сайт журналу «Scale 3D Printing». URL: <https://www.asme.org/engineering.com/>.

[9] Shan, J., Toth, C. (2018). *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing [CRC press]*. Wichmann: Optil [in USA].

[10] Soudarissanane, S., Siolt, M. (2018). *The geometry of terrestrial laser scanning. Identification of errors, modeling and mitigation [Scanning geometry]*. Michigan: Lutin [in USA].

[11] Soudarissanane, S., Lindenbergh, R. (2019). *Scanning geometry: Influencing factor on the quality of terrestrial laser scanning points [Photogrammetry and remote sensing]*. Wichmann: Optil [in USA].

[12] Staiger, R., Striger, O. (2022). *The geometrical quality of terrestrial laser scanner [In Proceedings of FIG Working]*. Michigan: Lutin [in USA].

[13] Tan, K., Cheng, X. (2018). *Intensity data correction for the distance effect in terrestrial laser scanners [Remote Sensing]*. Michigan: Lutin [in USA].

[14] Tan, K., Cheng, X. (2019). *Investigation of TLS intensity data and distance measurement errors from target specular reflections [Remote Sensing]*. Michigan: Lutin [in USA].

[15] Jaafar, H., Meng, X. (2018). *Terrestrial laser scanner error quantification for the purpose of monitoring [Survey Review]*. Antalya: Kvin [in Turkey].

[16] Sait zhurnalu «Drone Laboratory» [Site of journal «Drone Laboratory»]. *3dprint.com*. Retrieved from <https://3dprint.com/> [in USA].

[17] Sait zhurnalu «MIT Media Lab» [Site of journal «MIT Media Lab»]. *media.mit.edu*. Retrieved from <https://www.media.mit.edu/> [in USA].

[18] Sait zhurnalu «Effects on the measurements» [Site of journal «Effects on the measurements»]. *proceedings.work.mit.edu*. Retrieved from <https://www.proceedings.work.mit.edu/> [in USA].

[19] Sait zhurnalu «Farot Focus 3D Manual» [Site of journal «Farot Focus 3D Manual»]. *farot.app.box.com*. Retrieved from <https://farot.app.box.com/> [in USA].

[20] Sait zhurnalu «Scan Station P16» [Site of journal «Scan Station P16»]. *leicageosystems.us*. Retrieved from <http://www.leicageosystems.us/> [in USA].

[21] Sait zhurnalu «Metrological» [Site of journal «Metrological»]. *metrological.app.box.com*. Retrieved from <http://metrological.app.box.com/> [in USA].

[22] Sait zhurnalu «Scale 3D Printing» [Site of journal «Scale 3D Printing»]. *asme.org/engineering.com*. Retrieved from <https://www.asme.org/engineering.com/> [in USA].

ABSTRACT

Strokan V., Neshchadym V. Concept of a digital scanning system for equipment – rich rooms for reverse engineering purposes for educational projects.

The concept of a digital scanning system is housed, saturated with equipment, for the purpose of reverse engineering for educational projects. The purpose of the article is to study the concept of a system of digital scanning of a room saturated with equipment for the purpose of reverse engineering. In this article, we considered the following stages: based on the analysis of foreign and domestic literature, we identified the main factors for solving a number of problems in order to fully achieve the creation of low – budget technologically independent systems for the preparation of digital data for the reverse engineering of complex digital data for the

reverse engineering of complex engineering objects by formation of point clouds. In the case of industrial buildings and premises saturated with their equipment and technological communications, it is even higher, and the variety of such filling has a large number of options. A method was chosen for the integration of information into a single digital complex, which bears the sustainable name of BIM – technology. The abbreviation BIM stands for Building Information Model and is actually a universal technological standard that will be widely used when describing the full life cycle of such objects. With today's pace of scientific and technical development, it is difficult to imagine what the technique and technology of obtaining information about terrestrial objects by photogrammetric methods will be in the near future. The feasibility of using this technology is great in connection with the problem that construction may face, namely, low labor productivity and qualification of the workforce due to large volumes of work, the complexity of control at the construction site, and high material and energy intensity. The possibility of implementing an automated system at the construction site in a short time will reduce the technological components of the construction industry and increase its efficiency. In our work, we will be particularly interested in the tasks of measurement and generation of point clouds, not so much for relatively empty premises (residential rooms, classrooms, public and commercial spaces), as for industrial premises with a high intensity of filling with equipment and communications. This approach is associated with a high intensity of filling with equipment and communications. This approach is connected with the fact that the solution of the problem of forming point clouds for rooms with high occupancy obviously methodically solves the problem for simpler objects. At the same time, almost every building has at least several rooms equipped with supporting engineering systems – pumping, ventilation, electrical, heating points and others.

Purpose. To carry out an overview of approaches to reengineering the construction of information models of buildings using the study of geometric parameters of the object with three – dimensional lidar based on digital processing of point clouds.

Methodology. It includes the following methods: a complex of generally scientific logical research methods based on the theoretical analysis of technological solutions presented in scientific and technical literature, information resources of developers and mass media, including patents, scientific articles and publications

Results. As a result of the research, a technical concept of a low – budget lidar measuring complex based on a two – dimensional lidar was developed. The physical and software architecture has been developed. The result of the stage of the series is described – design, manufacture and verification of a prototype of three – dimensional laser scanning based on a two – dimensional lidar.

Scientific novelty. Identified problems and their causes, adjusted research and development program.

Practical relevance. The results of the study can be used in digital scanning, which is saturated with equipment for the purpose of reengineering.

Key words: Reverse engineering, BIM – technologies, point cloud digital processing, point cloud, laser scanning, lidar, building, building design, projects, architecture, design, communications, prototype, 2D lidar.

AUTHOR'S NOTE:

Strokan Viktoriia, Postgraduate Student, Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, e-mail: anklaw2017@gmail.com, orcid: 0009-0005-6494-0928

Neshchadym Vladyslav, Assistant Professor, Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, e-mail: architector_vn@ukr.net, orcid: 0000-0001-6443-6864

Стаття подана до редакції 02.05.2023 р.