

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Використання BIM технологій при будівництві та реконструкції споруд

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192

Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Гураль Т.О. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Ясній В.П. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Мещерякова О.М. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Ясній В.П. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Бобик М.П. (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гуралю Тарасу Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання BIM технологій при будівництві та реконструкції споруд

Керівник роботи Ясній Володимир Петрович, д.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 15 » _____ 2024 року № 4/7 - 346

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Провести технічне обстеження стану будівлі за допомогою LiDAR сканера

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналіз останніх публікацій та огляд літературних джерел за темою досліджень; методика проведення обстежень; аналіз результатів обстежень; охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Рендеринг Шанхайської вежі; реалізація Шанхайської вежі в BIM; Приклад роботи сканера; сканування вертикальної поверхні; принцип роботи лазерного сканера; напрями роботи лідарних режимів; практичне використання Leica 3D Disto; приклад підготовки до сканування; приклад відсканованої будівлі; вигляд об'єкта з супутника; фото будівлі; вигляд сканера в корпусі iPhone 13Pro; інтерфейс додатка Polycam; формати експорту скану; траєкторія обходу LiDAR сканера; 3D-модель в Revit; 3D-модель в ArchiCAD; модель відсканованої будівлі; 2D-проект.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	07.11.2023	
2	Постановка мети та задач досліджень	01.12.2023	
3	Підбір сканера для виконання обстеження	15.12.2023	
4	Проходження навчання по скануванню	14.02.2024	
5	Проведення обстеження будівлі	28.02.2024	
6	Обробка результатів	29.03.2024	
7	Аналіз отриманих результатів	25.04.2024	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.05.2024	
9	Загальні висновки	15.05.2024	

Студент _____
(підпис)

Гураль Т.О. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ясній В.П. _____
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	7
1.1 Актуальність застосування ВІМ в будівництві та реконструкції споруд	7
1.2 Етапи моделювання.....	8
1.3 Переваги та недоліки інформаційного моделювання.....	9
1.4 Досвід використання ВІМ в світі.....	10
1.5 Технологія лазерного сканування.....	10
1.6 Области застосування тривимірного лазерного сканування.....	12
1.7 LIDAR як нова система 3D-сканування.....	14
1.8 Практична реалізація 3D-сканування.....	17
1.9 Огляд програм для роботи з ВІМ.....	19
1.10 Висновки до розділу 1.....	19
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1 Програма досліджень.....	20
2.2 Загальна характеристика об'єкту обстеження.....	26
2.2.1 Загальна характеристика другого об'єкту обстеження.....	27
2.2 Прилади та вимірювальні інструменти.....	29
2.3 Огляд обраного сканера.....	32
2.4 Огляд програми для сканування.....	35
2.5 Сканування дефектів будівель та споруд.....	37
2.6 Висновки до розділу 2.....	39
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	40
3.1 Аналіз результатів обстеження.....	40
3.2 Сканування та розпізнавання тріщин в конструкціях.....	47
3.3 Висновки до розділу 3.....	51
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	52
4.1 Охорона праці.....	52
4.2 Правила з техніки безпеки при роботі з наземним лазерним сканером..	54

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	55
4.3.1 Підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі у військовий час.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
БІБЛІОГРАФІЯ.....	62

ВСТУП

Традиційно візуальне обстеження проводиться спеціалістами, що спеціалізуються на обстеженнях будівель та споруд. Проте ця практика має ряд недоліків, таких як висока вартість робіт, велика тривалість процесу, недостатня конкретизація місцезнаходження ушкоджень та недостатня точність визначення геометричних характеристик ушкоджень. Запропоновано метод візуального обстеження будівель та споруд за допомогою LiDAR-сканера, що дозволяє здешевити та прискорити процес, а також запропоновано застосувати розроблений метод для обробки результатів фотозйомки поверхні будівель та споруд, що виробляється за допомогою сканера.

Актуальність теми роботи визначається тим, що на разі використання LiDAR-сканера, при обстеженні будівель і споруд не достатньо досліджене. Разом з розвитком будівельної галузі стає актуальним застосування новітніх технологій, які допомагають збільшити точність та ефективність обстежень, зменшити вартість, та мінімізувати використання людських ресурсів при виконанні обстежень. Також не завжди безпечно та економічно доцільно проводити дослідження в старих спорудах, або спорудах які неможливо перестати експлуатувати на момент проведення обстеження.

Мета і задачі роботи. Дослідження ставлять на меті показати та описати можливості використання LiDAR-сканера при обстеженні будівель та споруд.

Для того, щоб досягти мету було складено список задач:

- розробити та удосконалити методику програми експериментальних досліджень споруди за допомогою сканера.
- провести обстеження для виявлення недоліків в конструкції потрібної нам будівлі.
- підсумувати та розібрати отримані в ході обстеження результати та зробити висновки на рахунок технічного стану будівлі.

Об'єктом дослідження є будівля, що знаходиться за адресою с.Хоростків, Тернопільської області.

Предметом дослідження є обстеження технічного стану будівлі за допомогою LiDAR-сканера.

Методи дослідження. Аналіз доступної теоретичної бази, статистичний аналіз, візуальне обстеження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота по технічному обстеженню будівель і споруд за допомогою LiDAR-сканера, виконана за напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки ТНТУ.

Наукова новизна одержаних результатів:

- методика досліджень будівель і споруд за допомогою LiDAR-сканера, отримала подальший розвиток;
- отримано нові дані по можливостях використання LiDAR-сканера при технічних обстеженнях будівель і споруд.

Практичне значення одержаних результатів.

Визначені в ході роботи дані доцільно враховувати при наступних дослідженнях та обстеженнях будівель і споруд, незалежно від умов експлуатації об'єкта. Також дане дослідження буде актуальне при виборі сканера для виконання задач з обстеження та інспекції.

Апробація результатів магістерської роботи. Результат роботи буде опубліковано в наукометричній базі даних Scopus.

Публікації. Результат роботи буде опубліковано в наукометричній базі даних Scopus.

Ключові слова: BIM, LiDAR, технічне обстеження, будівництво.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Актуальність застосування BIM в будівництві та реконструкції споруд

Актуальність BIM-технологій у будівництві та реконструкції будівель полягає в їхній здатності відповідати сучасним викликам. Ці технології дозволяють більш точно та ефективно проектувати, планувати та керувати будівельними проектами. Вони зменшують витрати, час і ризики, а також підвищують якість і безпеку проєктів. Враховуючи стрімкий розвиток будівельної галузі та потребу в постійних інноваціях, використання BIM-технологій стає невід'ємним елементом ефективного та конкурентоспроможного бізнесу.

Інформаційне моделювання будівель (BIM) - це комплексний процес створення та управління інформацією для будівельних проєктів[1]. На основі інтелектуальних моделей, що підтримуються хмарною платформою, BIM інтегрує структуровані дані для планування, проектування, будівництва та експлуатації, створюючи цифрове представлення об'єкта протягом усього його життєвого циклу. За допомогою BIM кожна дисципліна в рамках проєкту створює власну 3D-модель частини проєкту і зберігає за собою контроль і відповідальність за цю модель. Кожна з цих субмоделей об'єднується в центральну координаційну модель, яка містить всю інформацію в межах кожної субмоделі. Ця інформація присвоює значення об'єктам (наприклад, форма паралелепіпеда - це стіна) і описує об'єкт за допомогою таких властивостей, як, матеріал, провідність і вага. Крім того, об'єкти можуть бути пов'язані з інформацією за межами моделі[2], наприклад, зі специфікаціями продукту або детальними кресленнями. Прозорість і комунікація підвищуються завдяки використанню централізовано координованої моделі як основи для розподілу завдань між командами, співпраці та управління проєктуванням, будівництвом і експлуатацією будівлі.

Розробка проєкту, як правило, є фрагментованим процесом, з кресленнями, документами, графіками, звітами та специфікаціями, що подаються у різних

форматах різними сторонами. Обмін інформацією між різними дисциплінами та партнерами є складним і часто призводить до втрати та відновлення даних. Інформаційне моделювання може допомогти подолати цю проблему, гарантуючи, що кожен учасник проєкту має доступ до найновішої та найактуальнішої інформації і може приймати більш обґрунтовані рішення. Завдяки такому відкритому і спільному підходу, конфлікти, помилки і невідповідності можуть бути виявлені на ранніх стадіях і виправлені на етапі проєктування. Як наслідок, час і витрати на етапі будівництва можуть бути значно скорочені. Будівля також може бути оптимізована за допомогою раннього моделювання з використанням центральної моделі для визначення, наприклад, енергоспоживання та витрат на обслуговування.

ВІМ дозволяє значно прискорити процес відбудови будівель в Україні під час воєнного часу. Завдяки використанню цифрових моделей та інтегрованих даних, ВІМ сприяє ефективному плануванню, координації та виконанню будівельних робіт, що особливо важливо в умовах обмежених ресурсів і часу[3,4,5].

1.2 Етапи моделювання

Об'ємне моделювання будівлі складається з окремих інформаційних елементів і включає в себе структурні елементи будівлі, такі як колони, стіни, фундамент, сходи та дах. Елементи будівлі, такі як вікна, двері, обладнання та меблі, створюються на основі стандартних баз даних, доступних у IFC World Library і є загальнодоступними. Крім того, проєктувальники можуть розробляти власні елементи і за потреби включати їх у загальнодоступну базу даних. Такий підхід дозволяє легко створювати будівлі (або інші будівельні об'єкти) з окремих елементів стін, вибраних з «бібліотеки». Дійсно, проєктування частини інформаційної моделі будівлі автоматично генерує плани підвалу та першого поверху у 2D та 3D форматах. Ви також можете побачити, як виглядатиме фасад цієї частини будівлі в розрізі. Оскільки кожен елемент будівлі (цеглина) вже

містить найповнішу інформацію, ідентифікація об'єктів відбувається миттєво і автоматично.

1.3 Переваги та недоліки інформаційного моделювання

Переваги:

1) Інформація міститься в об'єкті моделі і дозволяє автоматично генерувати креслення та проводити аналіз проекту;

2) Підтримує спільну роботу команд і дозволяє різним фахівцям спільно використовувати цю інформацію на всіх етапах будівництва, усуваючи таким чином помилки і втрату інформації під час передачі;

3) Зниження витрат і проектних помилок (конфліктів);

4) Скорочується час, витрачений на розробку проекту, оскільки різні завдання можуть виконуватися разом;

5) Процес підбору необхідного обладнання стає швидшим і простішим;

6) Точні специфікації та специфікації матеріалів завдяки автоматизації;

7) Основні економічні та екологічні характеристики будівлі визначаються на етапі ескізного проектування, що дозволяє заздалегідь внести зміни в проєкт при необхідності;

8) Прогнози є передбачуваними;

9) Оптимізація процесу будівництва, контроль і управління графіком робіт, витратами матеріалів і коштів.

Недоліки:

1) Висока вартість (6 000-12 000 доларів США);

2) Вартість навчання за низкою програм є високою;

3) Існують певні труднощі в навчанні;

4) Потребує змін в організації загального процесу проектування;

5) Необхідно змінювати як процес, так і програмне забезпечення, а особливо психологію дизайнерів;

6) Зосередитися на архітектурних питаннях; BIM добре підходить для

вирішення питань форми, використання простору та презентації проєкту, але для розрахунків потрібне інше програмне забезпечення;

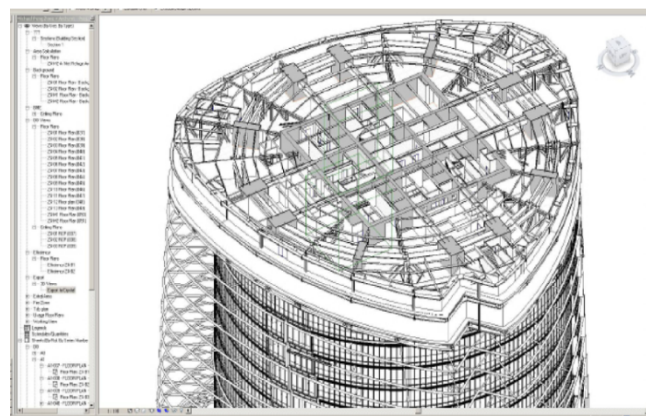
- 7) Прив'язка процесу до одного постачальника програмного забезпечення;
- 8) Втрата існуючих робочих практик під час переходу на BIM.

1.4 Досвід використання BIM в світі

BIM став головним інструментом Генслера при проєктуванні Шанхайського спірального хмарочоса (рис. 1). Інформаційне моделювання будівлі допомогло зробити поворот вежі на 120 градусів. В результаті автори проєкту мінімізували вплив тайфунів на конструкцію та зменшили енергоспоживання на 21% [6].



(a)



(б)

Рисунок 1.1 - Рендеринг Шанхайської вежі (а) та реалізація BIM (б)

1.5 Технологія лазерного сканування

3D лазерне сканування - це новітня технологія збору просторових даних. В результаті сканування створюється 3D-модель об'єкта. Це «хмара точок», що складається з серії вершин, де положення кожної вершини визначається значеннями координат X, Y і Z.



Рисунок 1.2 - Приклад роботи сканера

3D-сканування може виконуватися двома способами: стаціонарним (сканування окремих будівель, споруд або інтер'єрів) і мобільним (сканування великих, лінійних об'єктів)[7]. Технологія 3D-сканування дозволяє одночасно виконувати горизонтальні і висотні вимірювання. В результаті роботи лазерного сканера формується «хмара точок», на основі якої створюється 3D-модель.

Принцип роботи лазерного сканера схожий на принцип роботи безвідбивного електронного тахеометра, де вимірюється час проходження лазерного променя від випромінювача до відбиваючої поверхні і назад до приймача. Відстань до об'єкта визначається шляхом ділення цього часу на швидкість поширення лазерного променя. Сканер складається з лазерного далекоміра, адаптованого для роботи на високих частотах, і блоку сканування лазерного променя. Блок сканування складається з сервоприводу і полігонального дзеркала або призми. Сервопривід відхиляє промінь в горизонтальній площині на певну величину і вся верхня частина сканера обертається. Сканування у вертикальній площині відбувається за рахунок повороту або коливання дзеркала.

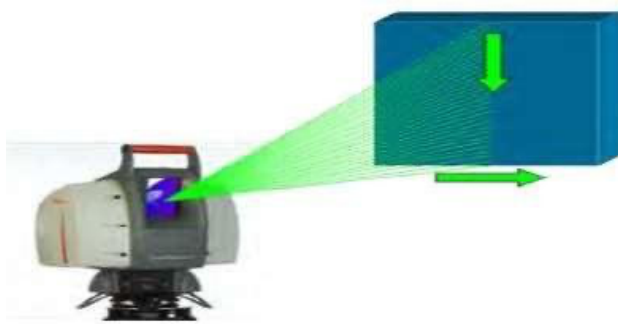


Рисунок 1.3 - Сканування вертикальної поверхні

1.6 Области застосування тривимірного лазерного сканування

3D-сканування широко використовується в

- геодезії, картографії, проектуванні доріг, будівництві та бізнесі;
- Гірничодобувній промисловості;
- Ідентифікації шахтних стволів і складів сипучих матеріалів;
- Створення цифрових моделей кар'єрів і підземних галерей для цілей моніторингу (дані про інтенсивність відбитого сигналу і реальні кольори дозволяють створювати геологічні моделі);
 - геодезичний супровід бурових та вибухових робіт;
 - Нафтогазова промисловість: створення цифрових моделей для реконструкції та моніторингу промислових і складних технічних об'єктів та обладнання[8];
 - Калібрування резервуарів для зберігання нафти та танкерів;
 - Архітектура: підготовка архітектурних креслень фасадів будівель;
 - Реставрація, ремонт, оздоблення та переобладнання інтер'єрів або окремих декоративних елементів;
 - Планування заходів щодо запобігання або ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- Топографічні зйомки сильно забудованих територій;
- Суднобудування;

- Різноманітне моделювання;
- 2D і 3D геоінформаційні системи для корпоративного управління.

Технологія тривимірного сканування [9] з'явилася лише кілька десятиліть тому, наприкінці 20-го століття. Перші практичні прототипи з'явилися в 1960-х роках. Звичайно, це були справжні 3D-сканери, але на той час вони не мали широкого спектру функцій. В середині 1980-х років скануюче обладнання було вдосконалене, з'явилися лазери, джерела білого світла та функції затемнення. Це покращило «захоплення» об'єкта дослідження. У цей період з'явилися контактні датчики. Ці датчики використовувалися для оцифрування поверхні твердих об'єктів без складної геометрії.

Використання 3D-сканерів зацікавило не лише дизайнерів у дизайнерських студіях та автомобільних компаніях, а й працівників кіноіндустрії. З 1980-х до 2000-х років різні компанії випускали власні моделі обладнання: головні сканери, 3D-сканери REPLICA тощо. З того часу обладнання змінювалося і вдосконалювалося, ставало більш мобільним і функціональним. Можливості сучасних 3D-сканерів дуже різні: пристрій 3D-сканера робить детальне дослідження фізичного об'єкта, після чого його точна модель відтворюється в цифровому вигляді. Сучасні пристрої можуть бути стаціонарними або мобільними. В якості підсвічування використовуються лазери або спеціальні лампи (їх застосування підвищує точність вимірювання)[10]. Принцип роботи 3D-сканера визначається технологією сканування.

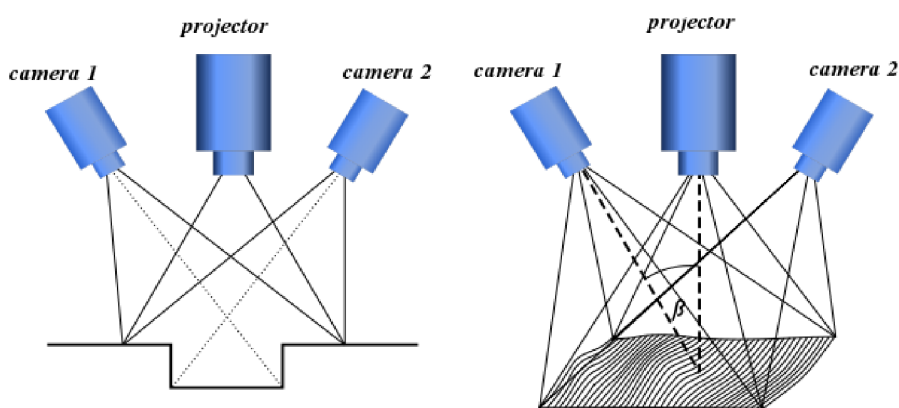


Рисунок 1.4 - Принцип роботи лазерного сканера

Після цього зображення, передані з камер, порівнюються. Після ретельного аналізу всіх отриманих даних на екран виводиться готова цифрова 3D-модель: Якщо в основі пристрою 3D-сканера лежить лазерний промінь, вимірюється відстань до конкретної точки, та на основі цієї інформації виводяться координати.

1.7 LIDAR як нова система 3D-сканування

LIDAR (Light Detection And Ranging) - це технологія дистанційного зондування[8]. Технологія виникла в 60-х роках минулого століття, але лише в останнє десятиліття вона почала ефективно використовуватися за допомогою дистанційного зондування та програмного забезпечення ГІС (географічної інформаційної системи).

LIDAR - це активний оптичний далекомір. Тобто, це активна сенсорна система, яка посилає промінь перпендикулярно до руху носія скануючого пристрою, зазвичай синусоїдальної форми, з частотою випромінювання в діапазоні від 10 000 до 70 000 сигналів на секунду. Скануючі «лідарні пристрої» в системах машинного зору створюють двовимірне або тривимірне зображення навколишньої місцевості, яке, при правильній адаптації до функціональності ГІС-платформи, забезпечує тривимірну візуалізацію у вигляді так званих 3D-сцен. Лазерне сканування засноване на використанні оптично керованих променів лідара, які безпосередньо збирають тривимірну інформацію про об'єкт. Це дозволяє траєкторній системі надійно і точно створювати зображення.

Ефективність лідарної технології демонструється її здатністю вимірювати в 3D і проникати крізь рослинність для збору інформації про навколишнє середовище і глибину залягання ґрунту. Інформація базується на принципі лазерного спектру. Традиційні методи збору даних застосовують лазерні імпульси до об'єкта і збирають зворотньо розсіяні сигнали. Обробка сигналів використовує вибір спектральних довжин хвиль для збору даних, щоб виявити об'єкти на основі різних діапазонів світлового променя.

Лідарні зйомки виконуються в різних типах проєктів, залежно від

поставлених завдань. Наприклад, у картографії та цивільному будівництві для найбільш детальної зйомки використовують дані з малих висот (50-300 м) на міліметровому рівні (наприклад, RIEGL VUX-240[11] та Optech ORION C300-1). Щільність даних на цьому рівні коливається від десятків до сотень точок на квадратний метр. Середньовисотні зйомки (400-1000 м) часто використовуються для планування доріг і міст, при цьому щільність даних зазвичай становить близько двох десятків точок на квадратний метр. Менші картографічні польоти виконуються на висоті 2000 м і вище. Щільність даних становить менше 10 точок на квадратний метр, як правило, одна або дві. Найновіші пристрої на ринку в цій галузі, це Leica Terrain Mapper, Optech ALTM Pegasus і RIEGL VQ-1560i[12].

Також, потрібно зауважити, що найточніші сигнали реєструються при використанні повного лідарного сигналу. Польоти з режимом Гейгера і однофотонною технологією створюють серію дискретних матриць. Зі збільшенням кута сканування напрямком світла, що проходить через екран, змінюється, впливаючи на сигнал. У сучасних умовах аерофотозйомка виявилася нерентабельною та неефективною через високу вартість утримання та експлуатації літальних апаратів і цілих дослідницьких комплексів, яка в 10 разів перевищує вартість експлуатації літака або вертольота. Враховуючи значну вартість оновлення даних про конкретні об'єкти, альтернативою класичній аерофотозйомці з літаків є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА)[13], які наразі широко застосовуються як в Україні, так і в усьому світі.

Існує два основних типи наземних лідарів: мобільні та стаціонарні. Мобільна зйомка відбувається під час руху транспортного засобу і встановлюється на ньому. При стаціонарній зйомці лідарна система зазвичай встановлюється на штативі або іншому нерухомому об'єкті. Обидві системи оснащені безпечним для очей лазерним блоком.

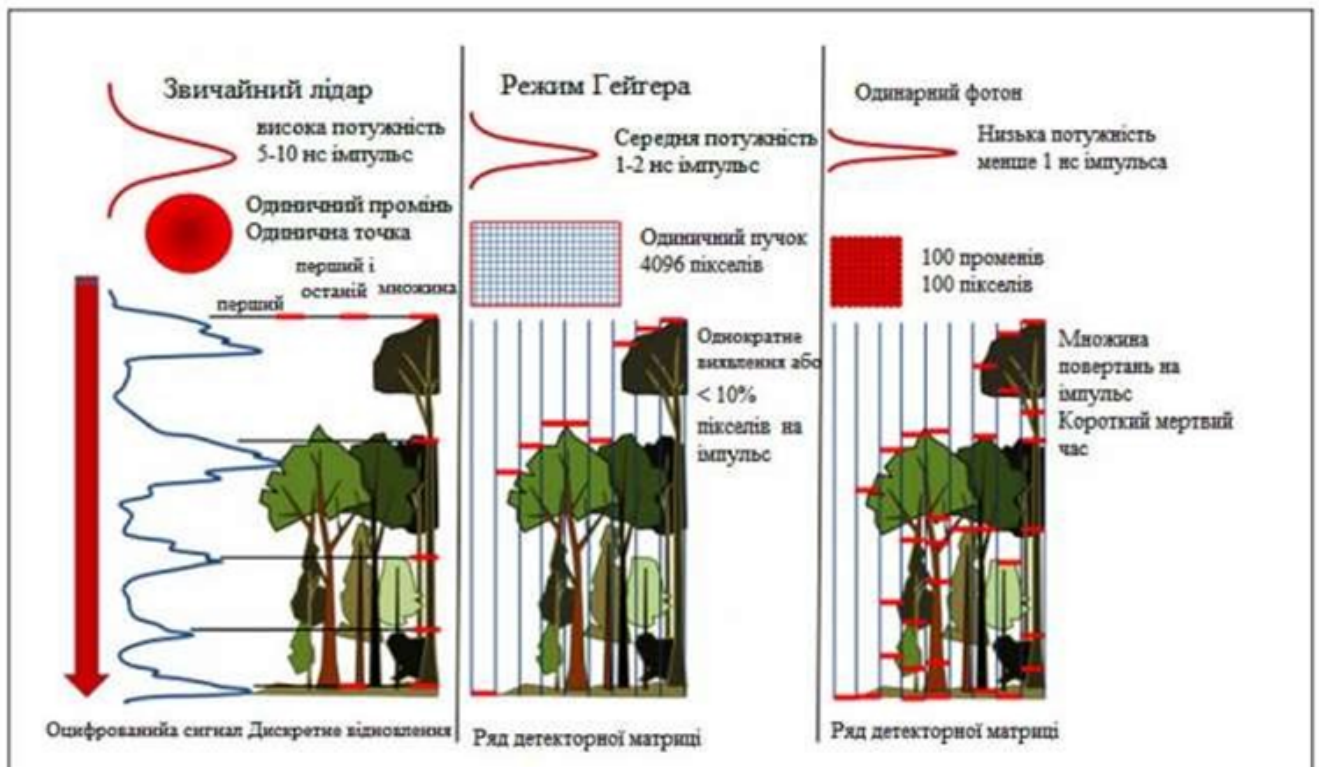


Рисунок 1.5 - Напрями роботи лідарних режимів

Наземні лазерні геодезичні системи є більш точними і створюють дуже щільно розташовані точки, що дозволяє ідентифікувати об'єкти з високою точністю. Ці щільно розташовані хмари точок можна використовувати для створення 3D-моделей[14] міст, наприклад, для управління структурами та обладнанням, обстеження доріг і залізниць, внутрішніх моделей будівель і споруд, а також для містобудування.

Мобільний лідар - це масив лазерних хмар точок, знятих за допомогою мобільної платформи для зйомки. Мобільні лідарні системи можуть включати різну кількість датчиків, що розгортаються під час руху транспортного засобу. Такі системи можуть бути встановлені на автомобілях, поїздах, кораблях і річкових суднах. Мобільні системи зазвичай складаються з лазерних датчиків, камер, GPS, INS (внутрішніх навігаційних систем) і лазерних систем вимірювання погоди.

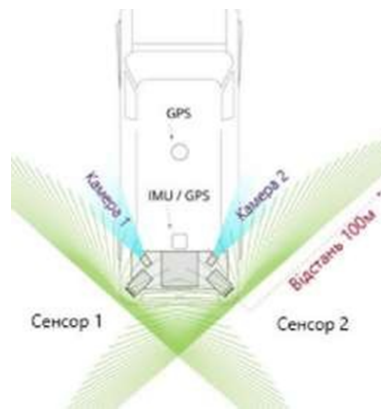


Рисунок 1.6 - Мобільний лідар

1.8 Практична реалізація 3D-сканування

Leica 3D Disto - це найсучасніша вимірювальна система з неперевершеною точністю. Leica 3D Disto - це тривимірна вимірювальна система для внутрішніх і зовнішніх будівельних робіт. Точність: 4 мм на 50 м. Діапазон вимірювання: Від 0,5 м до 50 м. Цифрові приціли з 4-кратним збільшенням. Широкі функції, повномасштабне вимірювання кутів, файли CAD *.DXF, *.DWG, сумісність з інтерфейсом WLAN (Wi-Fi). Клас захисту: IP54. підходить для меблевих майстерень, сходових майстерень, майстерень по обробці каменю, архітектурних і дизайнерських бюро.



Рисунок 1.7 - Leica 3D Disto [15]

Leica 3D Disto визначає положення і висоту точок вимірювання збираються і зберігаються для подальшої обробки, що робить Leica 3D Disto[15] ефективним,

точним і швидким інструментом з революційною простотою використання.

Основні можливості Leica 3D Disto:

- Вимірювання положення, висоти і відстані з однієї точки в будь-якому напрямку;
- Вимірювання стель, підлог, дахів, обчислення об'ємів, похилих поверхонь, перепадів висот і кутів;
- Вертикальне проектування точок, паралельне зміщення відміток відносно базової осі, переміщення рівня від стіни до стіни;
- Перенесення екранних лінійок в реальному часі;
- Точне відображення точок вимірювання на екрані над зображенням у видошукачі;
- Імпорт і експорт даних у форматах DXF, CSV, TXT і JPG на ПК і USB-накопичувачі; можлива обробка в програмному забезпеченні AutoCad;
- Видошукач з 8-кратним цифровим зумом для точного прицілювання на великих відстанях.

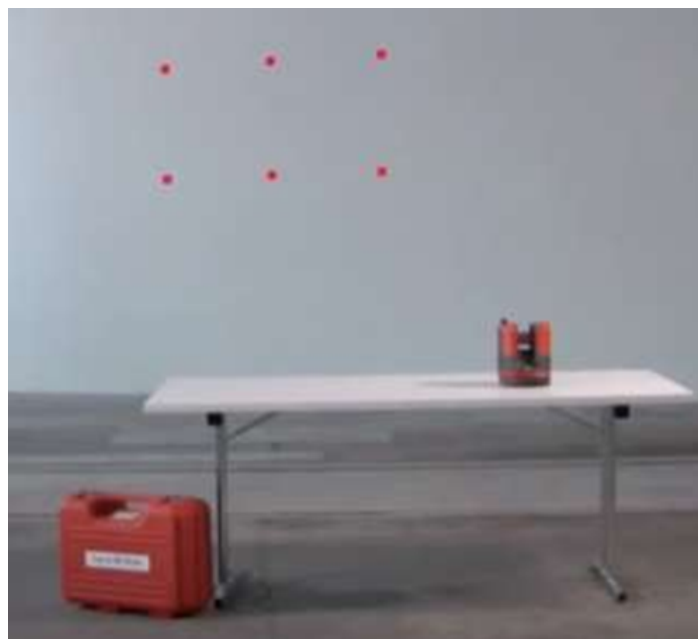


Рисунок 1.8 - Практичне використання Leica 3D Disto

1.9 Огляд програм для роботи з BIM

Існує кілька додатків, які підтримують інтеграцію BIM і LiDAR-сканування для використання на будівельних майданчиках. Найпоширеніші з них:

- Autodesk Revit: Одна з найпопулярніших програм для створення BIM-моделей. Revit дозволяє створювати, редагувати та аналізувати 3D-моделі. Також може працювати з об'єктами, відсканованими за допомогою LiDAR-сканерів;
- Autodesk Civil 3D: Це також програма від того ж розробника. Підходить для проектування інженерних мереж, доріг та інших інфраструктурних об'єктів;
- Leica Cyclone: Ця програма призначена для обробки та аналізу даних з LiDAR-сканерів;
- Trimble RealWorks: Ця програма схожа на попередню і призначена для обробки та аналізу даних LiDAR;
- FARO SCENE: програма для обробки та аналізу даних LiDAR, створення 3D моделей та точної візуалізації об'єктів.

Всі ці програми пропонують різні можливості для роботи з BIM та LiDAR і можуть легко впоратися з різними завданнями в проектуванні та аналізі інформації.

1.10 Висновки до розділу 1

1. Розглянуто ситуацію питання щодо актуальності використання BIM та LiDAR при проведенні сучасних технічних обстежень будівель та споруд.
2. Проаналізовано роботи попередників.
3. Власні питання дослідження сформульовано на основі існуючої теоретичної основи, засновані на темах і завданнях.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма досліджень

Обстеження будівель під час та після реконструкції за допомогою сканера є одним з основних методів технічного обстеження об'єктів. Метою таких досліджень є визначення фактичного технічного стану всього об'єкта та його частин, отримання кількісної оцінки якісних показників реконструкції та визначення готовності будівлі до здачі в експлуатацію.

Методологію зйомки за допомогою LiDAR-сканера, з подальшою інтеграцією в програмні комплекси, які можуть розпізнавати відскановані об'єкти можна розділити на кілька етапів.

1. Підготовчий етап;
2. Обстеження будівлі за допомогою сканера;
3. Опрацювання даних та створення тривимірної моделі.

Підготовчий етап має вирішальне значення для успішного проведення зйомки. На цьому етапі визначаються основні параметри зйомки, планується робота на об'єкті, підбирається необхідне обладнання і формується загальна стратегія зйомки. Цей етап також включає в себе визначення об'єкта дослідження. Об'єктом може бути будь-яка будівля, споруда, об'єкт інфраструктури або будь-який інший об'єкт, для якого необхідна детальна 3D модель. Це може бути як існуючий об'єкт, так і об'єкт будівництва або реконструкції. Після цього вибираються LiDAR-сканери, виходячи з розміру і складності об'єкта, необхідної роздільної здатності, доступності та інших факторів. Сканер повинен забезпечувати необхідний рівень деталізації та точності, Після чого робиться оцінка будівлі, яка підлягає скануванню. Важливо визначити області самої будівлі, куди потрібно приділити більше уваги, це можуть бути місця, де утворились тріщини або місця, де є дефекти оздоблення. Також потрібно вивчити історію будівлі, щоб зрозуміти її конструктивні властивості, можливо попередні реконструкції та визначити проблеми, з якими можна стикнутись під час

сканування. Також важливо врахувати технічне завдання, та які аспекти будівлі є більш важливі для вивчення із врахуванням діючих будівельних норм та стандартів. Після цього потрібно підготуватись до самого сканування, а саме, прибрати будівельне сміття, меблі, або ж тимчасові конструкції. Важливо забезпечити нормальний доступ до об'єкта, переконатись, що всі зони будівлі доступні до сканування та це безпечно для людини, що сканує та сканера. За необхідності, можна розміщувати маркери або позначки, для забезпечення точності окремих ділянок. Потрібно впевнитись, що всі члени команди працюють відповідно до норм безпеки, та мають необхідне захисне спорядження. Захист обладнання також важлива частина підготовки. Потрібно переконатись, що сканери та інше обладнання розміщені в безпечному місці, де відсутній ризик їх пошкодження або втрати.

Наступне, це налаштування сканера для зйомки. Перед початком сканування, потрібно переконатись, що сканер працює належним чином і що батарея має достатній заряд. Налаштування параметрів сканування, зокрема роздільна здатність, діапазон та кут огляду є відповідальною частиною цього етапу, для забезпечення оптимальної якості та точності сканування. Також існує дешевший та доступніший спосіб сканування, за допомогою вбудованого лазерного сканера в корпус техніки Apple.

Після цього створюється план сканування, визначаються точки сканування: перед скануванням потрібно визначити стратегічні точки, де буде розміщено сканер, щоб забезпечити максимальне покриття об'єкту. Іншими словами, на цьому етапі встановлюються основні цілі та завдання дослідження, визначається, яку інформацію необхідно отримати за допомогою сканування, а також плануються методи збору, обробки та аналізу даних, включаючи час і ресурси, необхідні для кожного етапу.

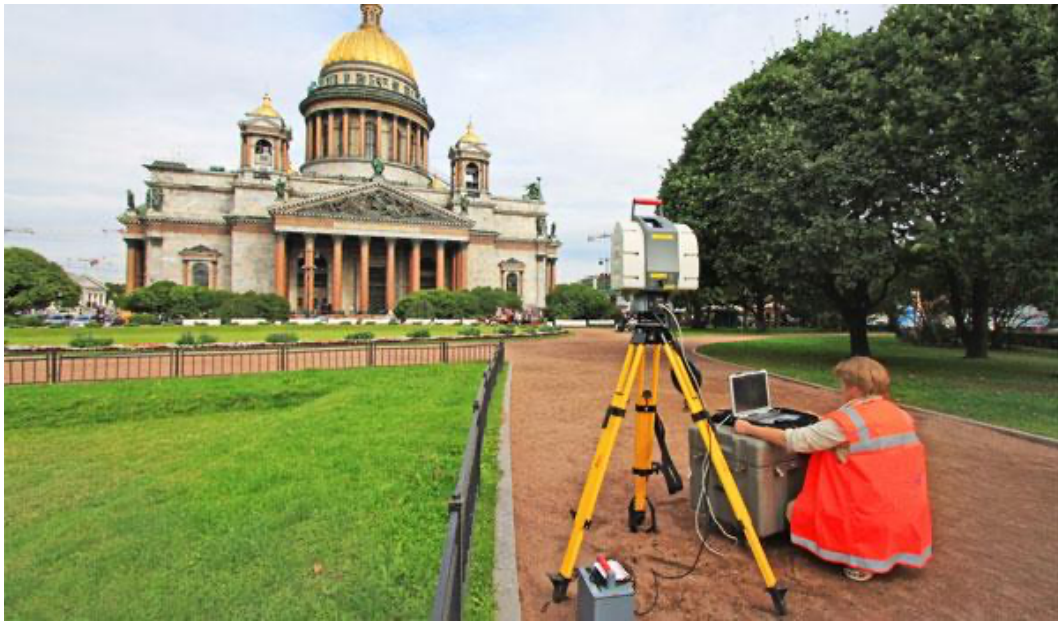


Рисунок 2.1 - Приклад підготовки до сканування [16]

Наступний етап, це сканування об'єкта за допомогою LiDAR-сканера. Цей етап включає в себе сам процес сканування, збір даних і контроль якості для забезпечення отримання достовірної інформації. На цьому етапі сканер використовує лазерне випромінювання для вимірювання відстані до поверхні об'єкта та аналізу отриманих відбитих сигналів. Розпочати потрібно з встановлення сканера в правильному місці, навколо будівлі, це пов'язано з тим, що оптимальне розміщення сканерів забезпечує максимальне покриття будівлі та належну точність сканування. Адже, якщо один з датчиків знаходиться в неправильному положенні, отримані дані можуть бути спотворені. Під час сканування сканер ретельно контролюється на предмет коректної роботи та відсутності будь-яких перешкод чи втручань, які могли б вплинути на якість отриманих даних. Задля отримання найкращих результатів використовуються високоякісні сканери з високою роздільною здатністю та чутливістю. Сканер може бути встановлений на рухомій платформі (штатив, автомобіль, дрон тощо), щоб забезпечити охоплення всіх необхідних ділянок об'єкта. В процесі сканування LiDAR генерує велику кількість точкових даних, що представляють поверхню об'єкта. Кожна точка містить інформацію про такі параметри, як координати XYZ , відстань і колір. Під час процесу також проводиться сканування

під різними кутами та з різних місць, щоб забезпечити повне покриття будівлі та отримати якомога детальнішу модель. Щоб забезпечити максимальну точність і повноту даних, потрібно зробити кілька знімків з різних точок, варіюючи кут і положення сканування. Після завершення сканування дані потрібно ретельно перевірити, щоб переконатися, що ми отримали повну і точну 3D-модель будівлі. Після завершення сканування важливо виконати перевірку якості даних, яка включає перевірку покриття всіх запланованих ділянок, виявлення та усунення помилок. Отримані дані LiDAR слід підготувати до подальшої обробки. Це включає в себе очищення даних від шуму, видалення небажаних точок, розбиття даних на різні шари та інші операції для підвищення якості та точності. Загалом, цей етап вимагає високого ступеня точності та уваги до деталей під час сканування. В цілому, цей етап є досить інноваційним та показує можливості новітніх технологій у сфері будівництва, реконструкції та аналізу будівель.

Після завершення сканування наступним кроком є обробка даних. По-перше, всі файли і зібрані дані мають бути перевірені, щоб переконатися, що нічого не було втрачено під час сканування. Це включає перевірку наявності всіх знімків, точок і метаданих. Після перевірки потрібно обробляти дані за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє імпортувати дані LiDAR і працювати з ними в різних форматах, таких як: OBJ, GLTF, DAE, FBX, USDZ, STL, DXF, PLY, XYZ, LAS, PTS. Основним кроком в обробці даних це видалення будь-яких шумів або артефактів, які могли виникнути під час сканування. Для цього використовуються різні фільтри та алгоритми для видалення небажаних даних та покращення якості даних. Після видалення шуму потрібно сегментувати дані, що дозволяє впорядкувати їх і підготувати для подальшого аналізу та використання. Останній крок це вирівнювання та інтеграція окремих знімків для створення 3D-моделі будівлі. Цей процес вимагає точного положення і правильної орієнтації кожного скану для забезпечення точності і збіжності загальної моделі. Результатом обробки даних є детальна і точна 3D-модель будівлі, що відображає всі її особливості та деталі. Цей процес допомагає підготувати дані для подальшого аналізу та використання в різних

сферах, таких як проектування, реконструкція та аналіз стану будівлі в архітектурі. На рисунку 2.2 показано церкву на території винного заводу в США, місто Калістога, штат Каліфорнія.



Рисунок 2.2 - Приклад відсканованої будівлі [17]

Після етапу обробки даних, їх потрібно інтегрувати в ПК для подальшого їх використання даних та створення на їх основі моделей в технології BIM. Є багато комплексів, проте з тим, що технології стрімко розвиваються, слід звертати увагу на найсучасніші програми, які створені для роботи в BIM. Однією з таких програм, яка широко використовується в галузі будівництва та архітектури є ПК ревіт від компанії Автодеск.

На початку процесу інтеграції потрібно відкрити Revit і створити новий проєкт або відкрити існуючий проєкт[18], в який збирається додати отримані дані. Після цього файли імпортуються разом з даними LiDAR, обробленими у форматі, що підтримується Revit. Після того, як модель імпортована, її потрібно

відкоригувати, вирівняти та узгодити моделі LiDAR з існуючими елементами в Revit. Це передбачає вирівнювання координат і орієнтації LiDAR моделі з існуючими елементами проєкту. Для цього модель потрібно перемістити, повернути і масштабувати за допомогою інструментів і функцій Revit. Після того, як модель була вирівняна, та перевірена на точність і взаємозв'язок з існуючими елементами проєкту, потрібно перевірити, що всі елементи LiDAR знаходяться в правильному положенні і мають правильні розміри і форму. Це включає розміщення елементів, які можна додати в Revit, і видалення непотрібних деталей. Однією з переваг використання Revit є можливість додавання метаданих та атрибутів до об'єктів моделі, що може полегшити подальший аналіз та роботу з моделлю, наприклад можна додати інформацію про матеріали, розміри, витрати та інші характеристики об'єкта. Після інтеграції моделі в Revit можна використовувати її в рамках BIM технологій для проведення різних аналізів, планування реконструкції, оцінки впливу змін тощо. Модель може бути використана для створення додаткових конструктивних та архітектурних елементів, створення розкладок, вивчення розташування комунікацій, енергетичного аналізу тощо. На наступному етапі після інтегрування отриманих даних зі сканера LiDAR в програму Revit зазвичай проводиться детальний аналіз моделі та використання її для різних цілей, пов'язаних з будівництвом та реконструкцією споруд. Один з найпопулярніших напрямків використання лідар, це аналіз моделі, тобто можна провести детальний аналіз її структури, даних та характеристик. Це може включати огляд геометрії, перевірку наявності необхідних елементів, розміщення об'єктів, визначення матеріалів тощо. Результатом стає інтегрована 3D-модель будівлі в Revit, яка поєднує дані LiDAR з існуючими елементами проєкту. Це дозволяє надалі аналізувати, розвивати та використовувати модель для різних цілей, включаючи візуалізацію, редагування проєкту та аналіз стану будівлі.

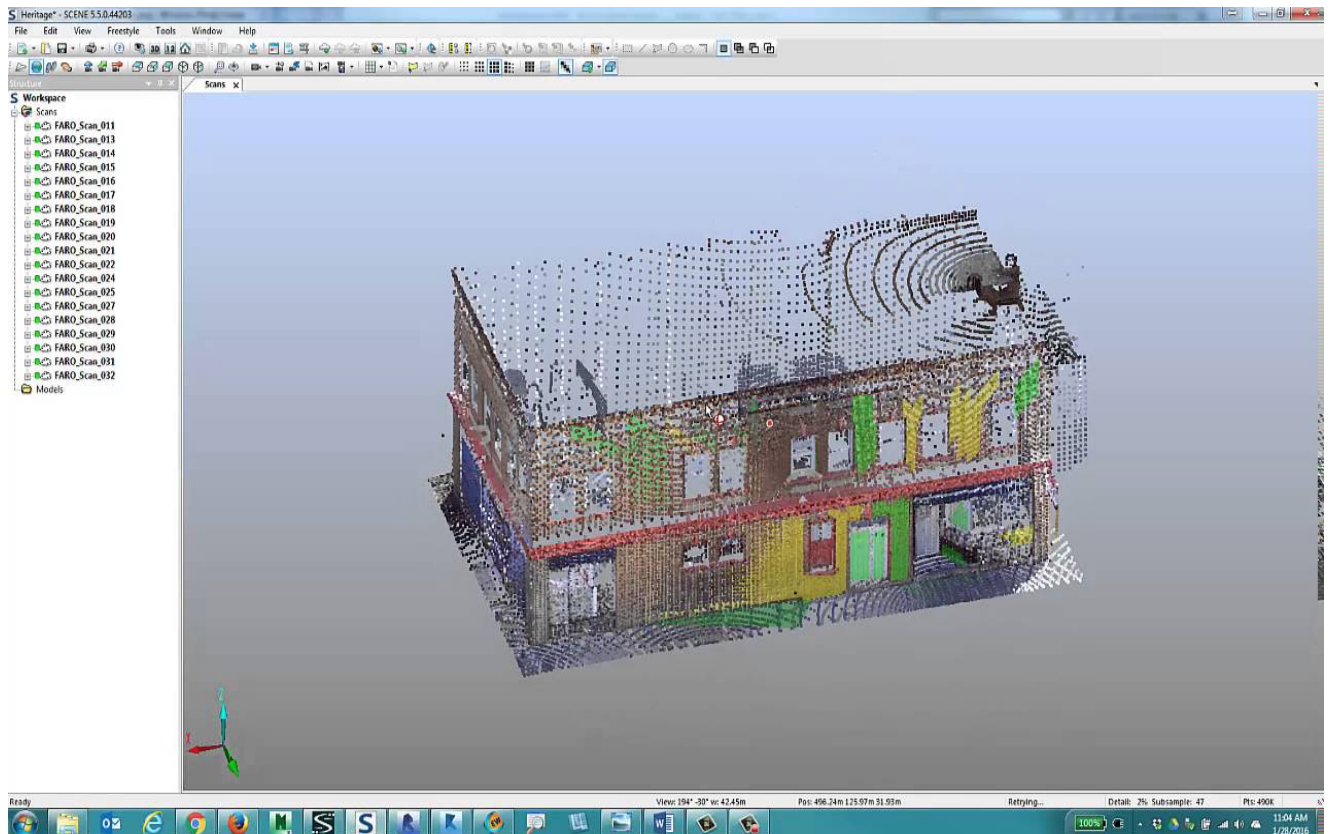


Рисунок 2.3 - Приклад скану перенесеного в Revit [19]

2.2 Загальна характеристика об'єкту обстеження

Для сканування було обрано відреставровану будівлю в Тернопільській області (рис. 3а). Будівля була відсканована за допомогою LiDAR-сканера, інтегрованого в iPhone 13 Pro, щоб надати нові можливості для обстеження та аналізу стану будівлі за допомогою доступного та зручного пристрою. За допомогою додатків можна сканувати будівлю, рухаючись навколо неї телефоном, щоб отримати точне зображення її геометрії та структури. Для сканування використовувався додаток Polycam. Отримані точкові дані зберігаються у спеціальному форматі, що дозволяє проводити подальшу обробку.



Рисунок 2.4 - Вигляд об'єкта з супутника



Рисунок 2.5 - Фото будівлі

2.2.1 Загальна характеристика другого об'єкту обстеження.

Даний об'єкт знаходиться за адресою м.Тернопіль, вул.Руська 52. Сканування відбувалось за допомогою сканера в iPhone 13Pro. Сам об'єкт в поганому стані, тріщини на стінах.



Рисунок 2.6 - Фото стіни дослідження



Рисунок 2.7 - Фото тріщини, взятої для дослідження

2.2 Прилади та вимірювальні інструменти

Найпопулярніші сканери - це наземні лазерні сканери серії POLARIS.

Polaris - це наземний лазерний сканер, який забезпечує точну і безпомилкову передачу даних, заповнює прогалину між невеликими, легкими сканерами малого радіусу дії і сканерами великого радіусу дії, що працюють в умовах сильного удару. Polaris розроблений з урахуванням потреб геодезистів і дозволяє керувати роботою за допомогою меню. В нього надзвичайно зручний інтерфейс оператора, вбудована камера з великою роздільною здатністю, є датчик нахилу, компас і також захищений від впливу погодних умов, тому його можна використовувати при будь якій погоді. В цього сканера багато плюсів, такі як ціна, порівняно з іншими сканерами, більший діапазон роботи, підвищена продуктивність і має багато вбудованих функцій, такі як: можливість роботи на великих діапазонах, швидкісний збір даних, великий кут охоплення, збереження даних у внутрішній пам'яті, автоматичне розпізнавання цілі, планування проєкту, компенсація нахилу. Його можна використовувати на штативі, автомобілі, або платформі, що рухається, і це все робить це сканер найуніверсальнішим наземним лазерним сканером[20].

Застосування:

1. Будівництво та архітектура;
2. Транспорт;
3. Розробка родовищ корисних копалин;
4. Криміналістика;
5. Лісове господарство;
6. Наукові дослідження.



Рисунок 2.8 - Наземний лазерний сканер POLARIS

Наземний сканер ILRIS-IR - це повноцінний портативний лазерний сканер для комерційної геодезії, інженерії, гірничодобувної промисловості та промислових ринків. Повністю портативна лазерна система вимірювання відстані та обробки зображень для геодезії, інженерії, гірничодобувної промисловості. ILRIS - це компактний, високоінтегрований інструмент з цифровим захопленням зображень і складним програмним забезпеченням. Це перше рішення в галузі, яке відповідає потребам комерційних користувачів. Сканер готовий до роботи в польових умовах і не вимагає спеціальної підготовки для встановлення. ILRIS підходить для багатьох застосувань, включаючи автоматизований моніторинг і сканування на великі відстані.

Діапазон вимірювання наземного лазерного сканера ILRIS-LR можна порівняти з іншими лазерними сканерами, встановленими на штативі. Його конструкція дозволяє дослідникам сканувати лід, сніг і вологі поверхні з однаково

високою точністю.

Її конструкція дозволяє дослідникам сканувати лід, сніг і вологі поверхні з такою ж високою точністю і повторюваністю, як і у інших сканерів ILRIS.

Лазерний сканер ILRIS-LR розроблений для задоволення мінливих потреб клієнтів шляхом застосування лідарного сканування.

Він розроблений для задоволення мінливих потреб клієнтів, які застосовують лідарні зображення в таких областях досліджень, як моніторинг льодовиків, снігових і лавинних умов і сканування вологих поверхонь. Завдяки покращеній продуктивності лазера і вдосконаленій оптиці, ILRIS-LR максимально використовує свої відомі відбивні властивості.

ILRIS-LR максимально використовує свої відомі відбивні властивості і розширює діапазон вимірювань практично у всіх сферах застосування сканування. Отримані результати сканування обробляються програмним забезпеченням.



Рисунок 2.9 - Наземний сканер ILRIS-LR

Застосування:

1. Цивільне будівництво;
2. Залізничні дороги;
3. Лісозаготівля;
4. Геологія.

2.3 Огляд обраного сканера

Виходячи з доступності та певних міркувань, було обрано сканер вбудований в iPhone 13Pro.



Рисунок 2.10 - Вигляд сканера в корпусі iPhone 13Pro

Ключовими перевагами від професійних сканерів є:

1. Доступність та зручність використання;
2. Швидкість сканування;
3. Інтеграція з екосистемою Apple;
4. Економічність.

Розглянемо кожен пункт окремо. Перш за все, вбудований LiDAR в iPhone - це важливий елемент, який завжди під рукою, адже він знаходиться всередині смартфона. Це забезпечує неймовірну зручність і доступність, оскільки немає необхідності носити з собою окремий сканер або спеціалізоване обладнання для

сканування. Просто варто дістати iPhone з кишені або сумки і можна починати сканувати в будь-який час і в будь-якому місці. Це особливо важливо, коли потрібно швидко отримати 3D-модель або відсканувати певний об'єкт чи ділянку без попереднього планування. Наприклад, ви можете відсканувати кімнату для дизайнерських чи архітектурних досліджень або певний об'єкт для архівування чи аналізу. Крім того, доступність і простота використання роблять вбудований LiDAR ідеальним інструментом для особистого користування. З його допомогою можна створювати 3D-моделі для творчих проєктів, вивчати форми різних об'єктів або просто задовольняти свою цікавість і вдосконалювати навички в цій галузі. Доступність і простота використання вбудованого в iPhone лідара забезпечує миттєве сканування без обмежень і зусиль, що робить його надзвичайно привабливим інструментом для широкого кола користувачів, які шукають швидкий і простий спосіб отримання 3D-даних.

Швидкість сканування вбудованого в iPhone лідара - одна з найважливіших переваг цієї технології. Здатність дуже швидко сканувати об'єкт або область робить його ідеальним інструментом для різних ситуацій, особливо там, де важливо негайно отримати 3D-модель. Однією з головних переваг швидкості сканування є те, що лідар можна використовувати для швидких проєктів і завдань, де час є важливим фактором. Наприклад, у будівництві та будівельній галузі є необхідність швидко отримати 3D-дані місцевості або об'єкта для подальшого аналізу або проектування. Також у сфері реставраційних та відновлювальних робіт важливо швидко отримати дані про об'єкти та ділянки для прийняття правильних рішень. Крім того, висока швидкість сканування дозволяє ефективно використовувати лідар у найрізноманітніших умовах і ситуаціях. Наприклад, на ділянках з великою кількістю рухомих об'єктів або людей сканування має бути швидким, без зайвих затримок. Він також корисний в зонах з поганою видимістю або обмеженим доступом, де час сканування повинен бути зведений до мінімуму, а результати отримані якомога швидше. Швидкість сканування LiDAR, вбудованого в iPhone, є важливим інструментом для різноманітних проєктів і ситуацій, коли час має вирішальне значення. Він

забезпечує ефективне і швидке отримання 3D-даних і відкриває додаткові можливості для використання в різних галузях досліджень і застосувань.

Інтеграція вбудованого в iPhone Lidar з екосистемою Apple має низку переваг, які ще більше підвищують цінність і зручність використання Lidar. По-перше, оскільки Lidar є частиною екосистеми Apple, він може легко обробляти та аналізувати зібрані дані за допомогою вже відомих йому додатків і сервісів. Наприклад, вони можуть редагувати та візуалізувати 3D-моделі за допомогою додатків в App Store, використовуючи знайомі інструменти та інтерфейси. По-друге, інтеграція з екосистемою Apple полегшує обмін даними між різними пристроями та сервісами. Наприклад, дані від потенційних клієнтів можна легко відправити з iPhone на MacBook або iPad для подальшого аналізу та обробки. Це забезпечує безперебійну та ефективну роботу з 3D-даними в екосистемі Apple. Крім того, інтеграція з екосистемою Apple робить вбудовані в iPhone драйвери більш зручними для користувачів, оскільки вони вже знайомі з інтерфейсом і функціональністю цих пристроїв. Це скорочує час, який витрачається на навчання і підготовку до використання нових додатків і сервісів, що дозволяє швидше і ефективніше використовувати накопичувачі в різних сценаріях. Вбудований сканер iPhone є економічно вигіднішим у порівнянні з професійним сканером, що є важливою перевагою, особливо для користувачів, які працюють над невеликими або спеціальними проєктами.

По-перше, вбудований в iPhone лідар не вимагає від користувача додаткових витрат на сканер або спеціалізоване обладнання, оскільки він вже вбудований в смартфон. Це економить гроші, які інакше довелось б витратити на купівлю спеціалізованого обладнання.

По-друге, вбудований в iPhone накопичувач зменшує витрати на обслуговування та підтримку обладнання. На відміну від професійних сканерів, які потребують регулярного обслуговування, калібрування та оновлення програмного забезпечення, вбудований в iPhone лідар має вбудовану підтримку та оновлення через екосистему Apple.

Крім того, вбудований в iPhone лідар може використовувати існуючі

програми та сервіси без необхідності витратити гроші на спеціалізоване програмне забезпечення: Стандартні програми з App Store можна використовувати для обробки, аналізу та візуалізації даних, що зменшує витрати на програмне забезпечення та навчання.

Оскільки вбудований в iPhone лідар є економічно вигідним, він є привабливим варіантом для користувачів, які шукають ефективний і економічно вигідний спосіб сканування об'єктів і просторів для різних проєктів і додатків.

2.4 Огляд програми для сканування

Я обрав додаток Polycam для сканування з декількох ключових причин.

По-перше, це її інтуїтивний і простий у використанні інтерфейс. Я шукав програму, яка дозволить мені швидко та ефективно проводити сканування без зайвих складнощів, і Polycam відповів цим вимогам.



Рисунок 2.11 - Інтерфейс додатку Polycam

Polycam розроблений не лише для лідарної зйомки. Також можна робити планування кімнати, знімки 360, або ж завантажити вже відсканований знімок.

По-друге, вона має вражаючу точність і якість зображення, що є важливим для мого проєкту. Я знаю, наскільки важливо мати чітку та деталізовану модель для подальшого аналізу та редагування, і Polycam надає цю можливість.

Мені особливо подобається у Polycam можливість експортувати скан у різних форматах. Це надає мені гнучкість в роботі, оскільки я можу використовувати отримані дані у будь-якій програмі, яка підтримує відповідний формат файлу. Це дуже зручно, оскільки дозволяє мені максимально використовувати отримані дані у своїй роботі. Незалежно від того, яку програму я використовую для подальшої обробки скану, Polycam надає мені можливість імпортувати дані у відповідному форматі без проблем. Такий підхід дозволяє мені ефективно працювати зі сканами та використовувати їх у своїх проєктах з максимальною зручністю і ефективністю.

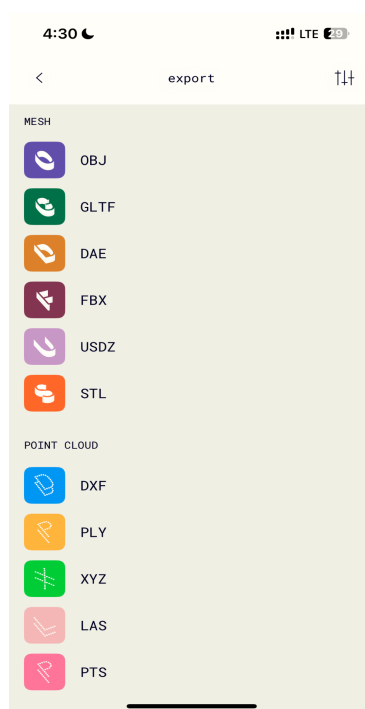


Рисунок 2.12 - Формати експорту скану

Загалом, Polycam задовольняє базові потреби щодо швидкості, точності та простоти використання в програмах сканування. Швидка обробка даних може

значно скоротити час виконання завдань, це дуже важливо для моєї роботи.

Точність сканування забезпечує рівень деталізації та чіткості отриманих зображень, що дозволяє проводити детальний аналіз і приймати зважені рішення. Просте керування додатком Polycam значно спрощує робочий процес, роблячи його більш інтуїтивно зрозумілим та ефективним. Інтерфейс програми зрозумілий і простий у використанні, тому можна швидко освоїти всі необхідні функції та інструменти.

Крім того, можливість швидко застосовувати різні ефекти та фільтри до сканованих зображень і ефективно керувати освітленням та контрастом під час сканування робить додаток Polycam важливим інструментом у професійній практиці будівельників та архітекторів. Тому завдяки таким інструментам можна покращити якість виконуваної роботи, витратити менше часу та ресурсів, і підвищити якість обслуговування клієнтів.

Усі ці переваги роблять Polycam незамінним помічником у досягненні професійних цілей та підвищенні ефективності роботи.

2.5 Сканування дефектів будівель та споруд

Під час експлуатації будівель та споруд часто виникають деформації, які можуть бути спричинені різними факторами, такими як: природне осідання ґрунту, зміна температури, вплив погодних умов, та інші навантаження. Деформації призводять до появи тріщин та інших пошкоджень, тому використання сканера, є корисним для їх дослідження .

Сканування дефектів є важливим для сфери будівництва, та має ряд переваг:

- висока точність та деталізація;
- безконтактний метод;
- швидкість збору даних;
- документування та аналіз;
- моніторинг і прогнозування;

- інтеграція з іншими технологіями;
- планування ремонтних робіт.

Розглянемо кожен пункт окремо. Почнемо з високої точності та деталізації. Сканер LiDAR забезпечує високу точність в вимірюваннях відстаней і точно створює тривимірні моделі, так як він вимірює відстані з точністю до міліметрів. Це нам дозволяє максимально точно та детально зафіксувати розміри, форму та розташування тріщин у будівлях та спорудах. Точність даних, які дає сканер значно кращий, за традиційні методи вимірювання, що дуже важливо для оцінки стану будівлі. В подальшому можна прив'язати

Безконтактний метод дозволяє сканувати тріщини на безпечній відстані, це важливо у випадках, коли самі тріщини знаходяться у важкодоступних, небезпечних ділянках, або ж на висоті.

Сканер LiDAR швидко збирає великий обсяг даних, що дозволяє нам оперативно провести оцінку будівлі, чи споруди. Це скорочує час, який мав бути відведений для обстеження, і мінімізує зупинки експлуатації будівлі.

Дані, отримані за допомогою сканера можна зберегти у вигляді 3D моделі, які можна легко закинути в підтримуванні програми для аналізу. За допомогою цього, інженери та архітектори можуть вивчати дефекти, порівнювати їх зміну в часі, оцінювати розвиток тріщин і планувати відповідні ремонтні роботи.

Тривимірні моделі можна використовувати для регулярного стану будівлі, щоб вчасно виявляти нові тріщини або зміни в існуючих дефектах, щоб запобігти аварію будівлі і забезпечити безпеку для людей.

Дані, зібрані сканером можна поєднати з іншими сучасними технологіями, такими як тепловізійні або ультразвукові сканування, це дає загальну картину стану будівлі та дозволяє ще точніше проводити діагностику об'єктів.

Завдяки точним даним, взятих з сканера, можна розробити найкращі плани по ремонту чи реконструкції будівлі або споруди, сюди входить визначення обсягу необхідних матеріалів, робіт та оцінку їх вартості. Цим можна оптимізувати використання ресурсів і знизити ймовірність помилок.

Загалом, сканування дефектів за допомогою лідара є сучаснішим і

ефективнішим та відповідає сучасним вимогам.

2.6 Висновки до розділу 2

1. Розроблено програму досліджень
2. Удосконалено методику досліджень будівель та споруд
3. Проведено порівняння актуальних моделей сканерів
4. Дослідили об'єкт

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Аналіз результатів обстеження

В ході виконання обстеження будівлі за допомогою сканера за адресою с.Хоростків, Тернопільської області визначений технічний стан після реконструкції та надані рекомендації по усуненню недоліків та можливості проведення ремонтних робіт.

Під час виконання обстеження було виконано:

- огляд будівлі вживу;
- обхід будівлі з сканером;
- виявлення дефектів.

Оцінка зносу будівлі була виконана відповідно до ДСТУ БВ.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються» та ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення» [22].

Траєкторія переміщення сканера зображена на рисунку 3.1, початкова та кінцева точки позначені червоним та синім кольором відповідно.

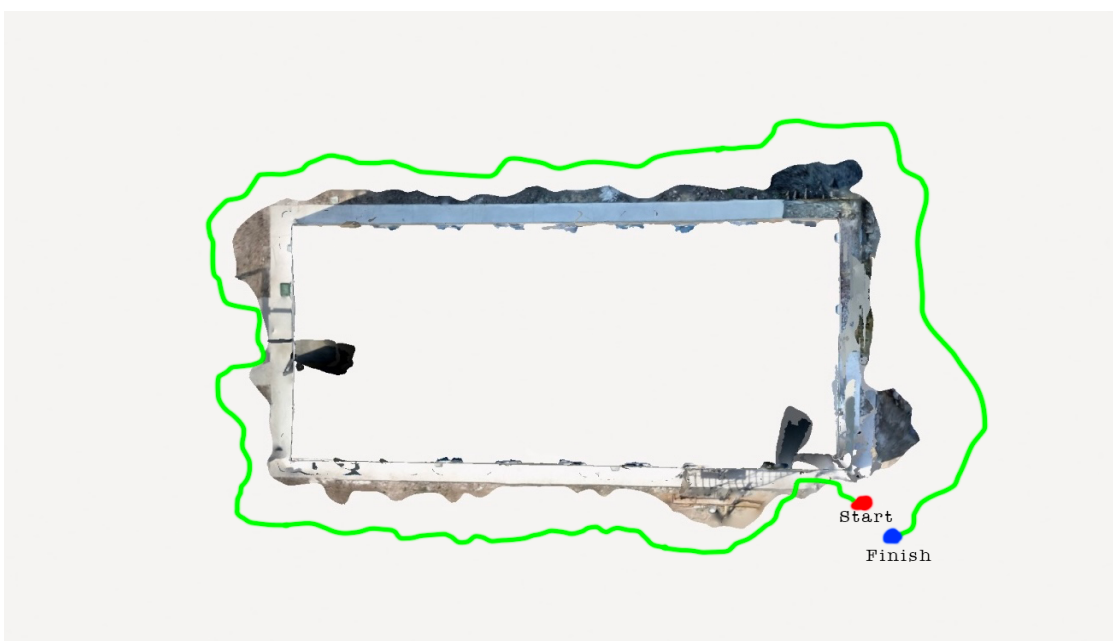


Рисунок 3.1 - Траєкторія обходу LiDAR сканера

Загальна довжина обходу навколо будівлі периметром 81м, складає орієнтовно 95м.

Отримані дані про хмару точок зберігається у спеціальному форматі, що дозволяє їх подальшу обробку.

Отримана модель в програмі Revit, зображена на рисунку 3.2. Модель являє собою проєкт будівлі з стінами, вікнами та дверима. Дах будівлі в 3D-модель не включався, у зв'язку з обмеженням програми, в якій відбувалось сканування.

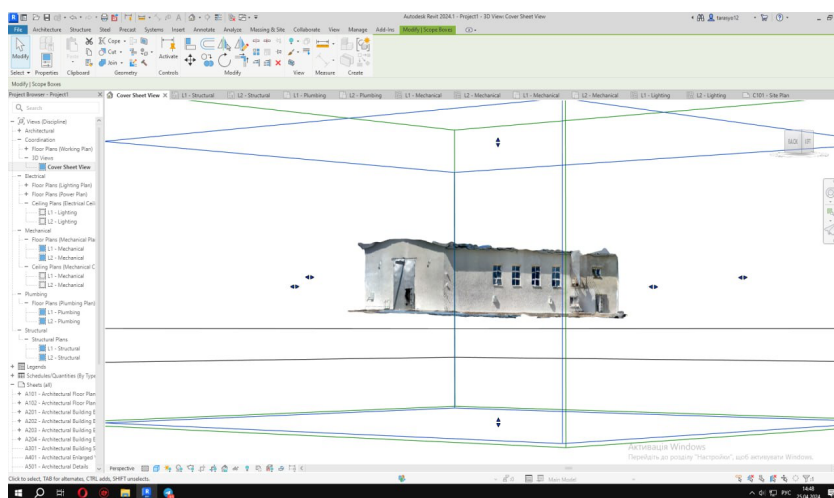


Рисунок 3.2 - 3D модель в Revit

Для порівняння, відсканована будівля, була імпортована в програму ArchiCAD (рис. 3.3)

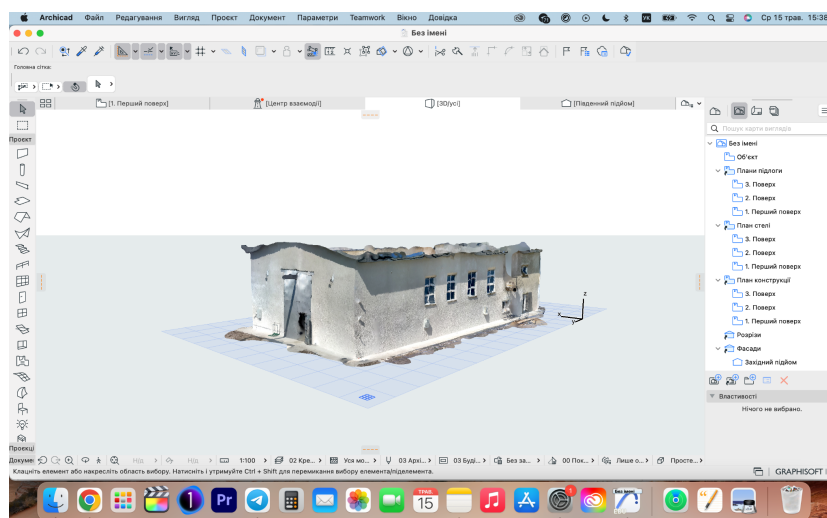


Рисунок 3.3 - 3D модель в ArchiCAD

3.1.1 Результати візуального та інструментального огляду будівлі

Після порівняння результатів сканування у програмах ArchiCAD і Revit, виявилось, що Revit відображав більш точні та деталізовані дані. Наприклад, коли приділяється увага деяким складним деталям структури, таким як кутові конструкції та складні переходи між поверхнями, Revit надає більш чітку та реалістичну картинку цих елементів.

У порівнянні з ArchiCAD, деякі ділянки моделі у Revit відображались більш точно та акуратно, без спотворень або відхилень. Дане рішення більш практичне для користувача, особливо при ретельному розгляді найдрібніших деталей моделі. Revit дозволяє користувачам більш детально та докладно аналізувати та редагувати результат сканування, що має важливе значення для роботи з ним.

Такий рівень деталізації та точності в Revit підвищує якість проектів і дає більшу впевненість у тому, що модель відображає реальну структуру та конфігурацію будівлі. Тому, розглядаючи всі ці фактори, користувачі обирають Revit як основний інструмент для роботи із об'єктами, які піддавались скануванню та подальшій обробці даних.

Але, незалежно від того, яке програмне забезпечення використовується для обробки сканованих даних, розміри будівлі, надані сканером, залишаються незмінними. Це забезпечує стабільність і точність вимірювань і гарантує, що форма об'єкта не змінюється.

Висока точність сканера дозволяє отримувати детальні 3D-моделі, які можна використовувати в різноманітних ПК без шкоди для якості чи точних розмірів. Такі інструменти дуже важливі для працівників у сфері архітектури, будівництва та інженерії, щоб уникнути помилок, пов'язаних зі зміною розмірів під час перемикання між різними програмними платформами.

Наприклад, дані, отримані за допомогою сканера, можна легко інтегрувати в програми для архітектурного проектування, такі як Revit або ArchiCAD, та інші схожі програми, що дає впевненість у тому, що всі вимірювання точні та незмінні. Таким чином, розміри будівлі, надані сканером, залишаються незмінними

незалежно від використовуваного програмного забезпечення, що сприяє послідовній та ефективній роботі на всіх етапах проєкту.

Крім того, ця сумісність дозволяє користувачам вибирати програмні інструменти відповідно до своїх потреб і вподобань, не турбуючись про розмір або відмінності даних.

Це значно спрощує процес координації між різними підрозділами та підрядниками і забезпечує високу якість та акуратність роботи.

На рисунку 3.4 зображено модель відсканованої будівлі у додатку Polycam.

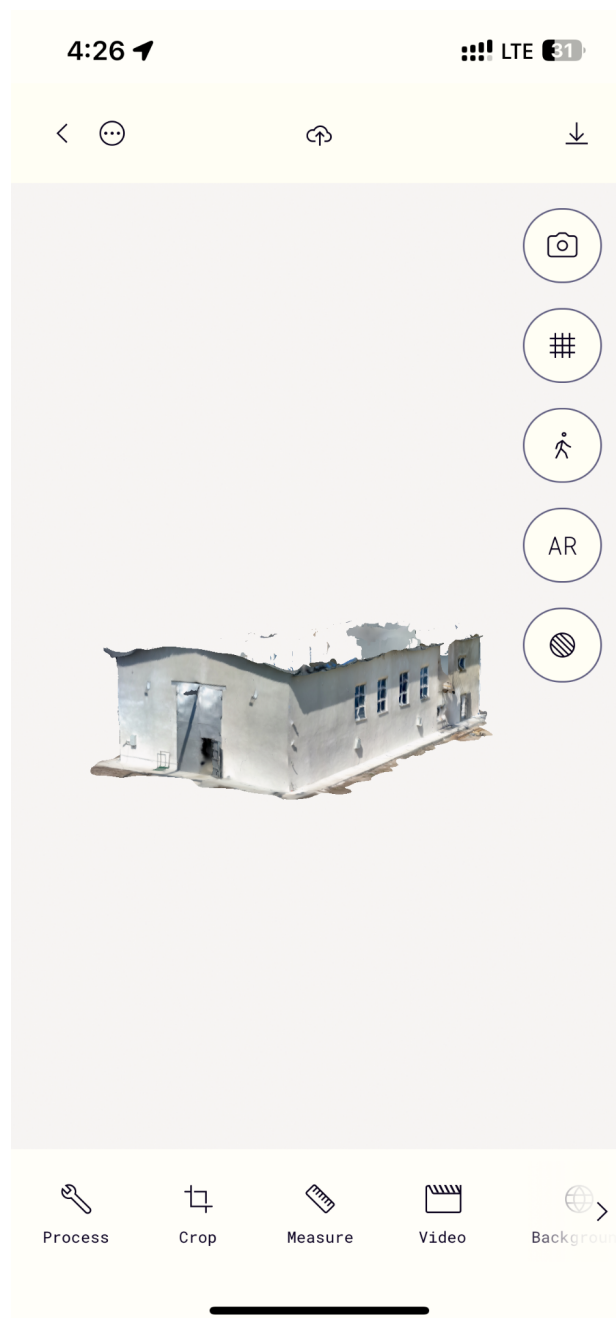


Рисунок 3.4 - Модель відсканованої будівлі у додатку Polycam

У Polycam можна відредагувати скановане зображення за допомогою кількох корисних функцій. По-перше, програма дозволяє обрізати зайві частини результату сканування, щоб сконцентруватися на головному об'єкті. Це особливо корисно, якщо потрібно відділити певну частину об'єкту для подальшого використання. На рисунку 3.5 показано, що можна обрізати об'єкт по горизонталі та вертикалі.



Рисунок 3.5 - Редагування моделі в додатку Polycam

Крім того, Polycam пропонує широкий спектр функцій, які відповідають потребам користувача. Це включає можливість швидкого застосування різних ефектів і фільтрів до сканованих зображень, що значно покращує візуалізацію та аналіз отриманих даних.

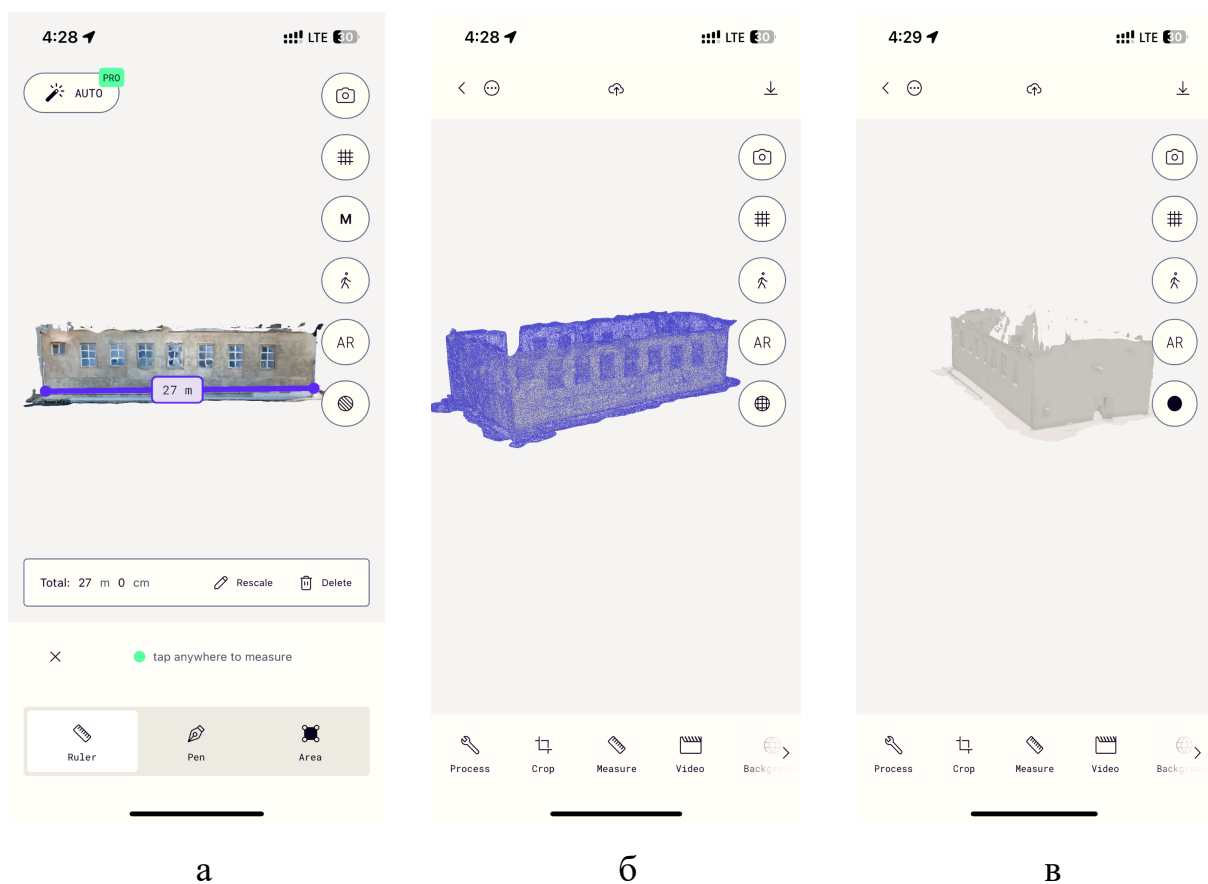
Наприклад, різні фільтри можна використовувати для виділення окремих деталей, що полегшує їх перегляд для подальшого дослідження. Це особливо корисно для швидкої оцінки стану будівлі чи споруди, та прийняття рішень щодо необхідного ремонту.

Крім того, Polycam забезпечує можливість ефективного керування

освітленням під час сканування. Це дозволяє уникнути тіней і покращити якість зображення. Регулюючи освітлення, можна побачити дрібні дефекти і нерівності на поверхні стін, що вкрай важливо для точної діагностики стану конструкції.

Ще однією важливою особливістю Polycam є можливість налаштування контрастності для сканованих деталей. Це покращує чіткість зображення та дозволяє точніше бачити деталі. Високий рівень деталізації має вирішальне значення при аналізі структурних дефектів, оскільки важливо виявити найменші ознаки пошкодження або зносу. Ці функції роблять Polycam незамінним інструментом для користувачів, які здійснюють моніторинг стану будівель та інженерних споруд і забезпечують високу точність і ефективність своєї роботи, використовуючи портативний пристрій із LiDAR-сканером.

На рисунку 3.6, можна побачити огляд цих функцій, вбудованих в додаток Polycam.



(а) - можливість визначати розмір; (б),(в) - можливість застосовувати різні фільтри на зображення.

Рисунок 3.6 – Огляд додатка Polycam

Використання фільтрів дає змогу більш детально виявляти дефекти.

Після сканування отримуємо тривимірну модель будівлі (рис. 3.2). Отримана модель дозволяє провести детальний аналіз будівлі, та дозволяє вивчити різні аспекти, такі як:

- деталізація розмірів;
- аналіз конструкції;
- виявлення пошкодження.

Аналізуючи стан будівлі за допомогою 3D-моделі, можна об'єктивніше та точніше зрозуміти поточний її стан. Завдяки цьому аналізу виявляються існуючі проблеми та потенційні ризики, що дозволяє розробити ефективні плани майбутнього управління та обслуговування будівлі. Цей підхід забезпечує складний життєвий цикл управління будівлею на основі BIM (інформаційне моделювання будівель), включаючи всі етапи від проектування до експлуатації. З отриманої 3D моделі створено детальне 2D креслення будівлі за допомогою програмного забезпечення Revit. (рис. 3.7)

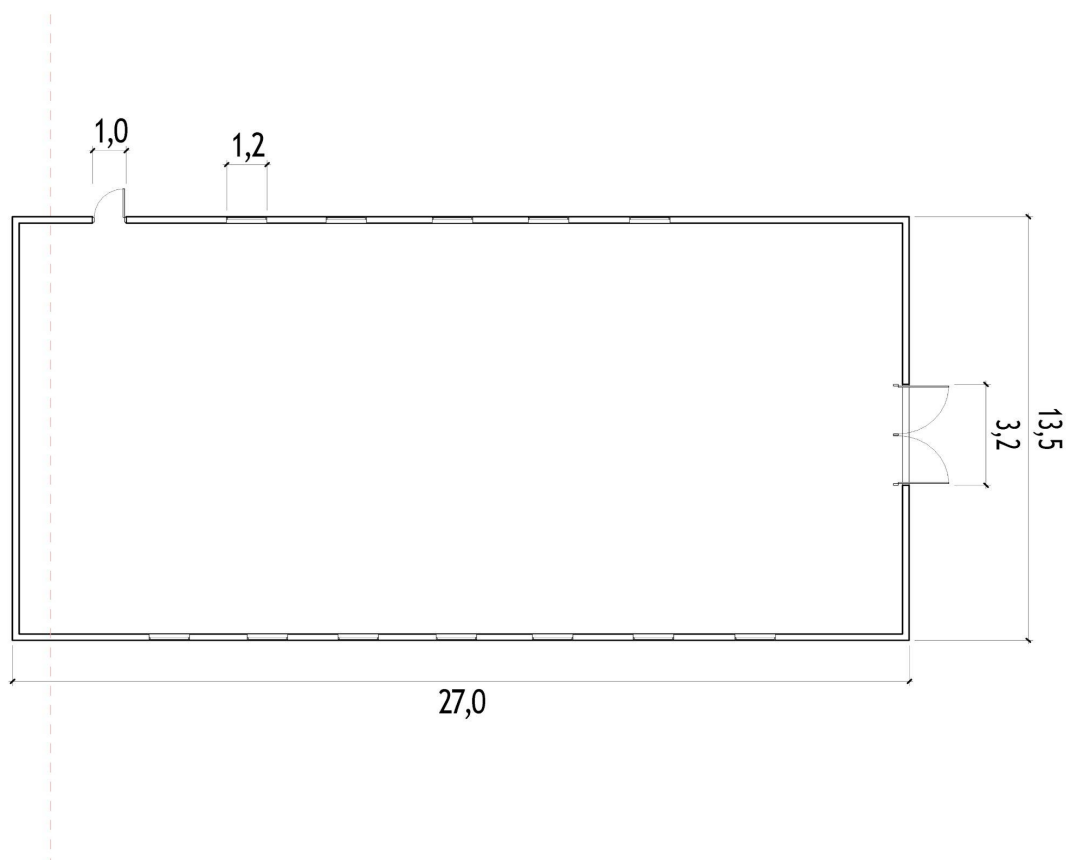


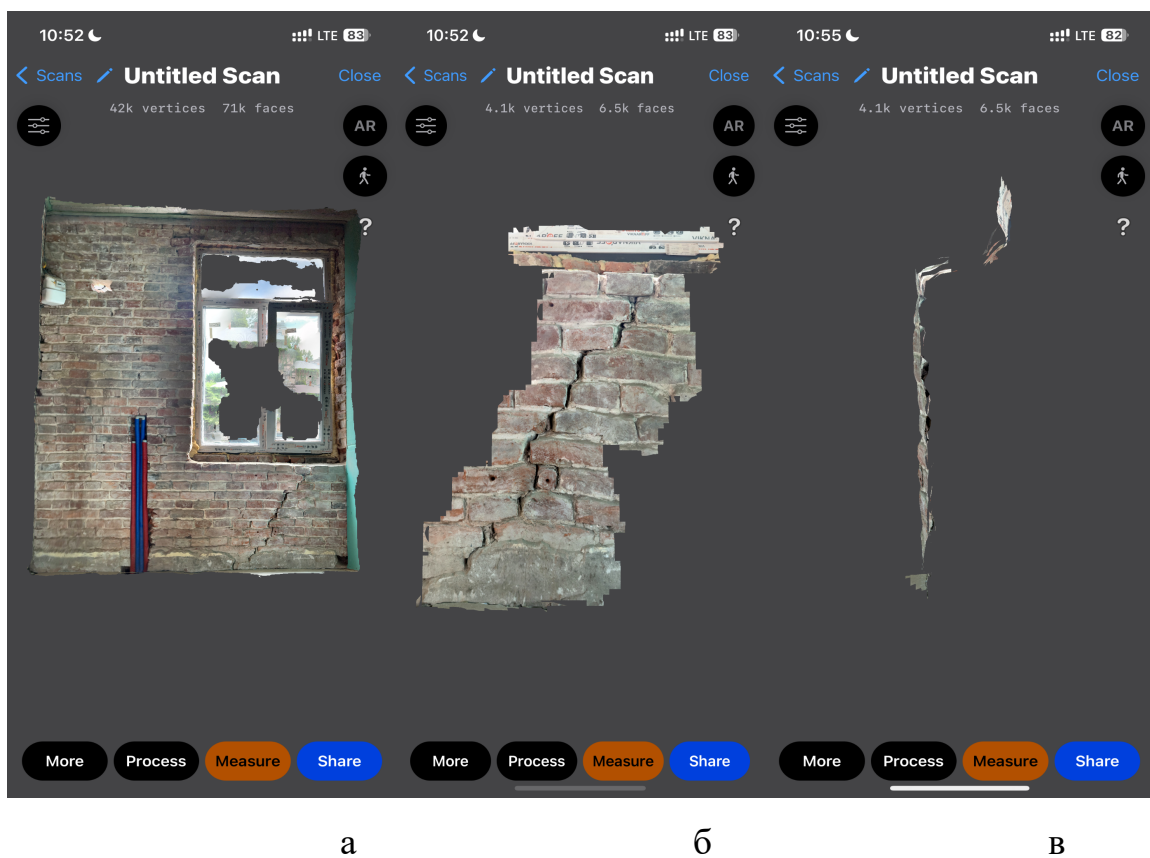
Рисунок 3.7 – Схема приміщення

Це креслення містить усі необхідні технічні деталі, та розміри, щоб дозволити інженерам та архітекторам отримати геометричні розміри будівлі та спланувати подальші роботи з обслуговування чи реконструкції.

3.2 Сканування та розпізнавання тріщин в конструкціях

В даній роботі під час дослідження тріщини, було використано 3 ПК. В кожній з цих програм проводили два сканування, щоб отримати окремо знімок стіни, де знаходиться тріщина, та саму тріщину.

Перша програма це 3d Scanner App. Після сканування, отримуємо два зображення, які не відповідають вимогам, а саме: не чітке зображення, змазані кути, немає глибини тріщини (рис. 3.8). Для обстеження ці пункти важливі, тому в подальшому, ця програма не буде використовуватись.

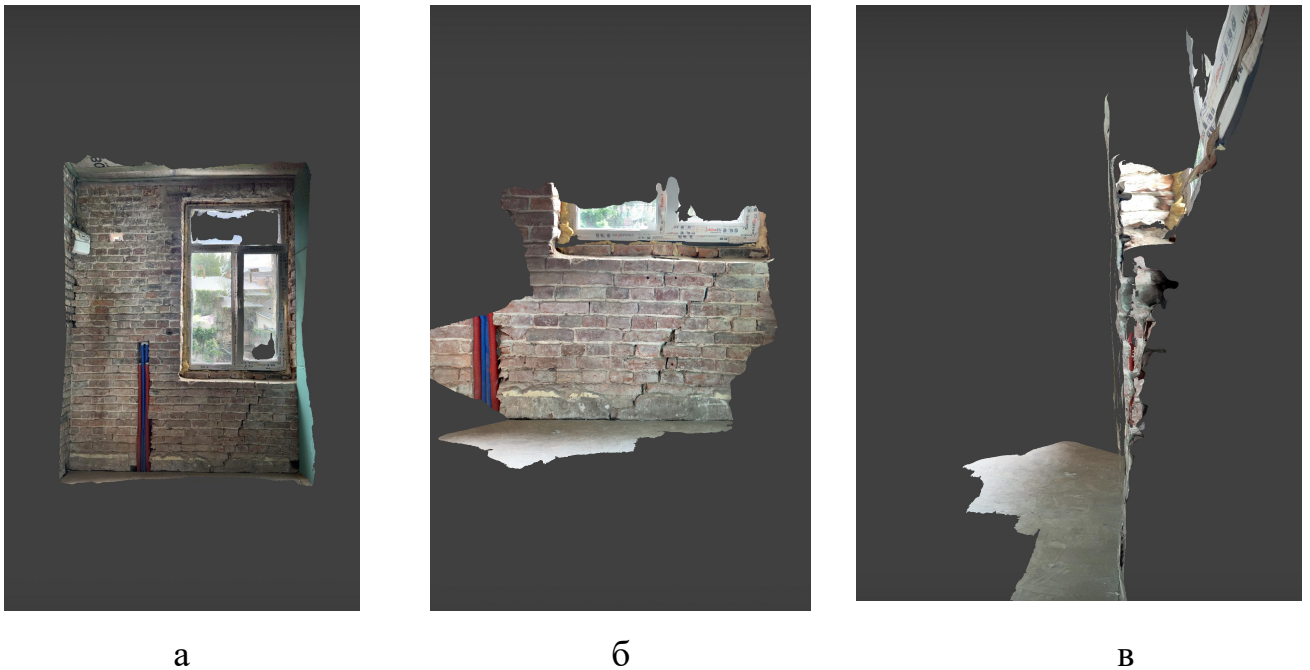


а - вигляд стіни в програмі; б - вигляд тріщини в програмі; в-вигляд збоку.

Рисунок 3.8 - Програма 3d Scanner App

Дану програму доцільно використовувати для об'єктів, яким не потрібна деталізація.

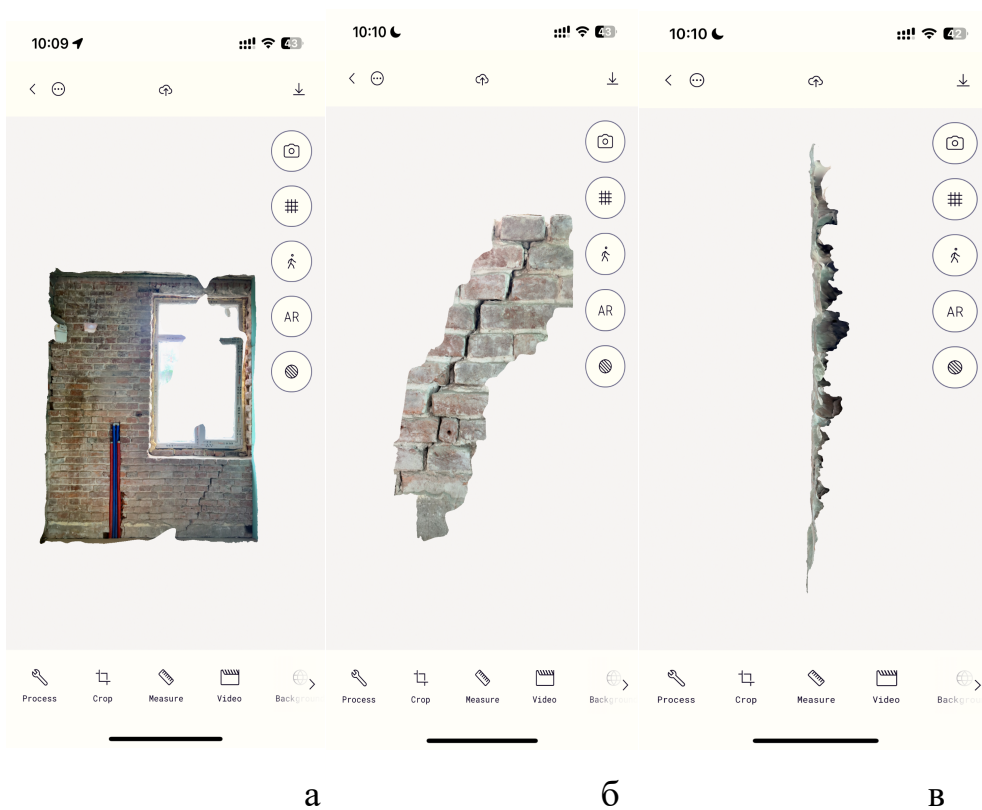
Друга програма, це Scaniverse. Після сканування, також отримуємо 2 зображення, але вже набагато якісніші, без змазаних кутів та з можливістю візуалізації глибини тріщини (рис. 3.9). В загальному, програма досить функціональна, але немає можливості експорту у поширений серед архітекторів та будівельників ПК Revit.



а - вигляд стіни; б - вигляд тріщини; в - глибина тріщини.

Рисунок 3.9 - Програма Scaniverse

Останньою програмою, якою проводилось сканування, був перевірений попереднім об'єктом Polyscan (рис. 3.10). Після сканування отримуємо те, що потрібно. Тобто, чітке зображення, глибину тріщини, не змазані кути та експорт в потрібному форматі.



а - вигляд стіни; б - вигляд тріщини; в - глибина тріщини.

Рисунок 3.10 - Додаток Polusam;

На рисунку 3.11 представлена траєкторія руху сканера.

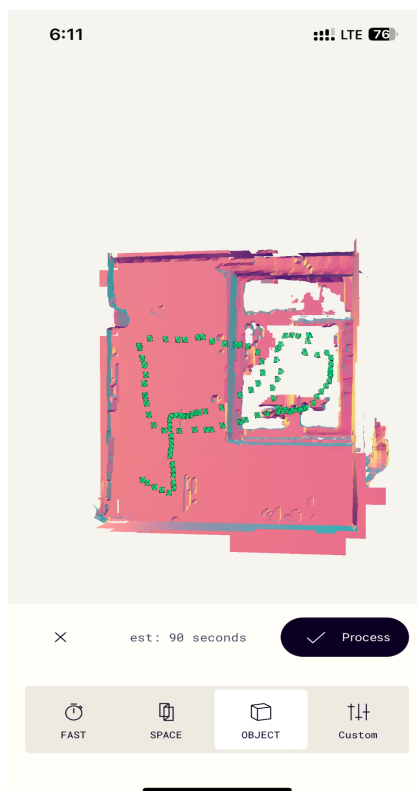


Рисунок 3.11 – Траєкторія руху сканера

Це важлива та корисна функція в додатку Polycam, оскільки дозволяє показати траєкторію руху та максимально точно відстежувати положення сканера в просторі та часі. Також, коли потрібно відсканувати великий об'єкт, то робиться декілька проходів, щоб отримати повну картину. Відмічена траєкторія руху допомагає з'єднати всі хмари точок в одну. Відстеження траєкторії сканера дозволяє оптимізувати маршрут сканування, забезпечуючи покриття всієї площі об'єкта.

Після чого, в самій програмі можна виміряти ширину тріщини в різних місцях, та порівняти отриманий результат, з дійсним результатом. (рис.3.12)

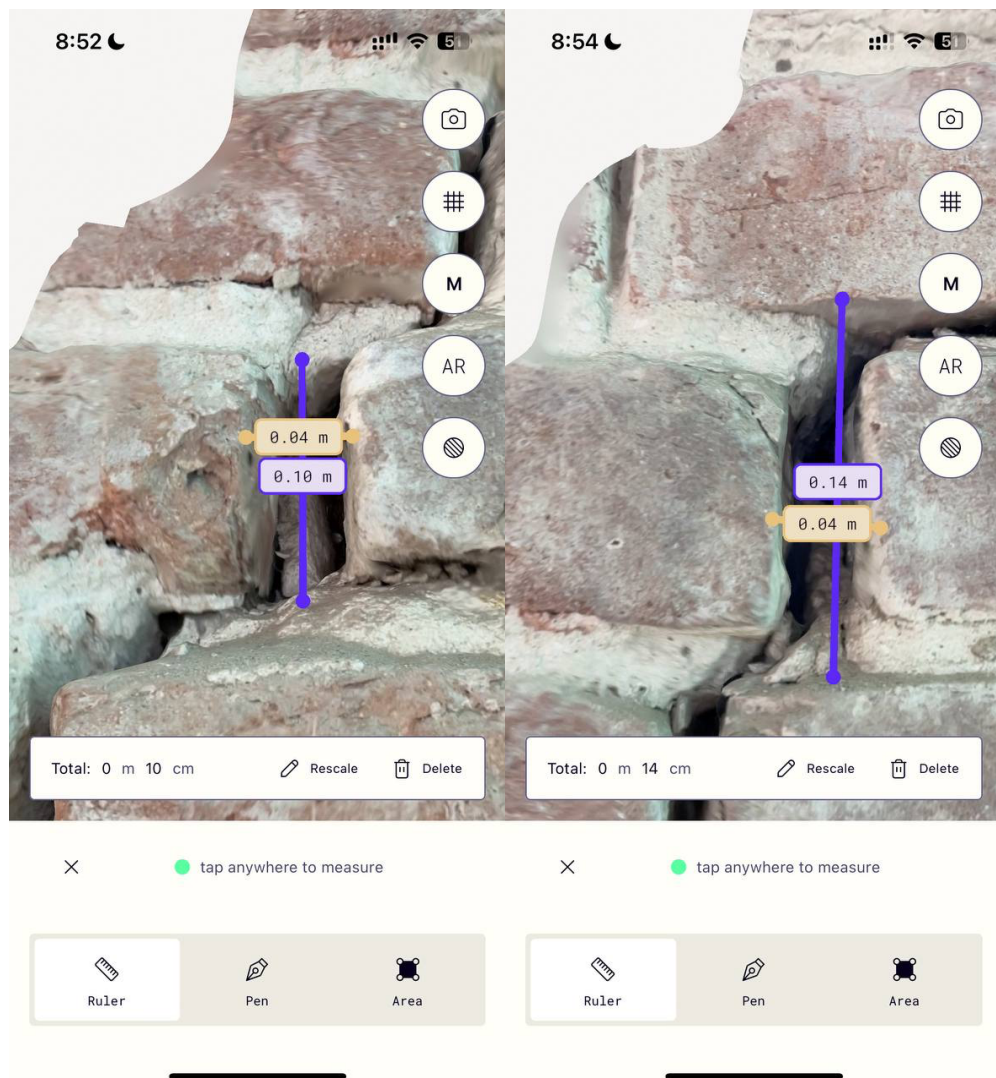


Рисунок 3.12 – Вимірювання тріщин додатком Polycam

3.3 Висновки до розділу 3

При обстеженні технічного стану першого відсканованого об'єкта не виявлені дефекти та пошкодження (значні тріщини, вибоїни), які не допускають нормальної експлуатації будівлі.

Тривимірні моделі забезпечують вищий рівень точності та деталізації, що значно перевищує можливості традиційних методів зйомки та проектування. Крім того, інтеграція в програму Revit дозволяє створювати та підтримувати актуальну цифрову копію будівлі чи споруди, тому користувач завжди має доступ до актуальної інформації про стан будівлі або споруди. Це значно підвищує ефективність управління будівлею, дозволяє швидше реагувати на зміни та проблеми, а також оптимізує витрати на обслуговування та ремонт.

Таким чином, використання тривимірного моделювання та сучасних програмних рішень, таких як Revit, сприяє більш надійному та ефективному управлінню життєвим циклом будівлі.

Запропонована методологія може бути використана для реінжинірингу існуючих будівель. Зазвичай реінжиніринг використовується для реконструкції, модернізації або аналізу існуючих будівель. Основна ідея полягає в відтворенні або відновленні тривимірної моделі будівлі на основі наявних даних або інформації для дослідження її стану та характеристик.

Можна підсумувати, що використання технології ВІМ у будівництві та реконструкції будівель виявляється дуже перспективним і корисним підходом.

Сканування дозволяє точно проаналізувати стан матеріалу і виявити навіть найменші пошкодження, які залишаються непоміченими при візуальному огляді.

Використання такої технології є важливим кроком у розвитку сучасних методів контролю якості та моніторингу стану об'єктів будівництва.

При обстеженні технічного стану стіни другого об'єкта, зробили аналіз тріщини, та запланували ремонтні роботи.

Проведено детальний огляд додатків, за допомогою яких, можна сканувати та досліджувати тріщини із подальшим експортом у відповідні ПК

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

В основі всіх нормативно-правових актів про охорону праці в Україні лежить Конституція України.

Згідно з Законом України “ Про охорону праці ” (далі – Законом) (ст.4) визначені основні напрямки реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров’я в процесі трудової діяльності:

- пріоритет життя і здоров’я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- соціальний захист працівників, повне відшкодування збитків особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань та інші.

Іншим важливим законом в галузі охорони праці є Кодекс законів про працю, що регулює трудові відносини між працівником і роботодавцем. Відповідно до даного Кодексу права працівників на охорону праці під час трудової діяльності охороняються всебічно.

На сьогодні в Україні існує велика кількість нормативно-правових актів з охорони праці. До них відносяться, згідно зі ст. 27 Закону: правила, норми, положення, стандарти, регламенти, інструкції та інші документи, обов’язкові до виконання. Зазначимо, що вищесказані нормативно-правові акти повинні регулярно переглядатися – не рідше одного разу на десять років.

До нормативно-правових актів, що діють, наприклад, в будівництві, включають:

- нормативно-правові акти, що поширюються на декілька видів економічної діяльності;
- нормативно-правові акти, що поширюються на будівництво;

- нормативно-правові акти, що поширюються на вироблення електроенергії, газу, тепла;
- охорона надр.

Крім вище наведених нормативно-правових актів охорона праці в будівництві регламентована державними будівельними нормами – ДБН, основними з яких є:

- ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва;
- ДБН А.3.2-2-2009. ССБТ. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. Основні положення;
- ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки.

Згідно із ст.13 Закону роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а також зобов'язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення цих вимог. У свою чергу працівник зобов'язаний знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей, проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди (ст.14). Працівник несе особисту відповідальність за порушення зазначених вимог.

Достойна праця – безпечна праця. Міжнародний досвід засвідчує, що вдосконалення законів в охороні праці та методів забезпечення безпеки праці, боротьба з травматизмом, крім гуманістичного характеру, має ще й чітко виражений економічний аспект. Безпека праці виступає одним із важливих

факторів, які забезпечують високу продуктивність праці та безпосередньо впливає на підвищення ефективності виробництва.

4.2 Правила з техніки безпеки при роботі з наземним лазерним сканером

Правила техніки безпеки при роботі з наземними лазерними сканерами в будівництві є надзвичайно важливими для забезпечення безпеки працівників та оточуючих. Нижче наведено загальні правила, які слід дотримуватися під час роботи з таким обладнанням:

1. Носіння захисного обладнання: Перед початком роботи з лазерним сканером переконайтеся, що всі працівники, які перебувають у зоні сканування, наділені відповідним захисним обладнанням, таким як спеціальні окуляри або шоломи із заскленням.

2. Обмеження доступу: Обмежте доступ непов'язаних осіб до зони сканування, щоб уникнути потенційних травм або перешкод для процесу сканування.

3. Попередження про роботу: Перед початком роботи з лазерним сканером ретельно попередьте всіх працівників та перехожих про можливу наявність лазерного променя та небезпеки, пов'язаної з ним.

4. Правильне розташування обладнання: Розташуйте лазерний сканер на безпечній відстані від персоналу та інших об'єктів, щоб уникнути випадкових травм чи пошкоджень.

5. Стежте за дітьми та тваринами: Впевніться, що діти та тварини не потрапляють у зону сканування, оскільки вони можуть не усвідомлювати ризику, пов'язаного з лазерним променем.

6. Перевірка обладнання: Регулярно перевіряйте стан лазерного сканера та його компонентів, включаючи лазерний промінь, для виявлення будь-яких можливих проблем чи пошкоджень.

7. Інструкції щодо експлуатації: Переконайтеся, що всі користувачі обладнання ознайомлені з правилами техніки безпеки та інструкціями щодо експлуатації перед його використанням.

Дотримання цих правил допоможе забезпечити безпеку працівників та оточуючих під час роботи з наземними лазерними сканерами в будівництві.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.3.1 Підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі у військовий час

З переліку основних завдань цивільного захисту (ЦЗ) можна виділити збереження та підвищення стійкості роботи підприємств, об'єктів та одиниць національної економіки, а саме будівельної галузі, у період військових дій. На сьогоднішній день, коли у розпорядженні людей є зброя масового знищення, ураження промислових потужностей умовного противника виходить на провідне місце у переліку першочергових завдань. Так як виведення економіки з ладу може призвести до того, що країна не зможе продовжувати активні бойові дії задля захисту своїх кордонів та підтримувати життєдіяльність населення. Через бойові дії на території України, проблема підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі актуальна як ніколи.

Продукція такої галузі економіки як будівництво створює умови та базу для усіх галузей національної економіки. Будівництво є свого роду показником та рушійною силою економіки і здатне впливати як на розвиток супутніх будівництву виробництв, так і на всі інші сторони життєдіяльності суспільства, в тому числі і соціальні. Тому досить важливо підвищувати стійкість роботи підприємств будівельної галузі.

Організаційні заходи передбачають розробку ефективних дій керівного складу, служб та формувань ЦЗ, спрямованих на захист виробничого персоналу, проведення рятувальних та інших невідкладних робіт, а також відновлення виробництва.

Будівельне підприємство – підприємство будівельної галузі, яке являє собою відокремлену та самостійну гілку економіки, що спеціалізується на виконанні будівельної продукції (будинків, промислових об'єктів, споруд) та

будівельних послуг (ремонтно-будівельних робіт). Діяльність будівельних підприємств забезпечується наявністю в їх розпорядженні необхідних ресурсів: людських, фінансових, матеріальних, енергетичних, за допомогою яких створюється продукція. Одним з основних показників виробничо-господарської діяльності будівельного підприємства є продукція будівельного підприємства - це матеріальні цінності, створені в результаті діяльності будівельного підприємства.

Під стійкістю роботи підприємств будівельної галузі розуміють їх здатність за умов дії надзвичайних ситуацій виробляти продукцію в запланованих обсягах та номенклатурі, а при одержанні слабких чи середніх руйнувань чи порушенні постачання сировини відновлювати своє виробництво в мінімально короткі терміни. Щоб забезпечити нормальну роботу під час війни промислових об'єктів будівництва, скоротити можливі матеріальні втрати, необхідно ще в мирний час виконати великий комплекс різних заходів, які забезпечили б їхнє функціонування. Ці заходи спрямовані на зниження можливих втрат і руйнувань від сучасних засобів ураження і створення умов для нормальної роботи підприємств як у воєнний, так і в мирний час.

Основними шляхами забезпечення стійкої роботи підприємства будівельної галузі у воєнному стані є:

1. Забезпечення захисту людей та їх життєдіяльності. Створення на об'єкті надійної системи оповіщення про загрозу нападу противника, радіоактивне, хімічне забруднення і біологічне зараження, загрозу стихійного лиха і виробничої аварії. Організація розвідки і спостереження за радіоактивним, хімічним забруднення і біологічним зараженням; гідрометеорологічне спостереження за рівнем води, напрямком і швидкістю вітру, рухом і поширенням хмари радіоактивного забруднення.

2. Захист цінного й унікального устаткування. Захистити цінне і унікальне устаткування можна завдяки проведенню інженерно-технічних заходів, щоб зменшити небезпеку пошкодження і руйнування цінного й унікального устаткування, станків з програмним керуванням, шліфувальних, токарних, розточних, зубофрезерних, пресових станків, автоматичних конвеєрних ліній та

іншого устаткування. Варіантами такого захисту є розміщення зазначеного устаткування в заглиблених приміщеннях а також використання спеціальних захисних пристосувань, закріплення станків на фундаментах, застосування контрфорсів для підвищення стійкості проти перекидання обладнання.

3. Підвищення стійкості мереж комунального господарства. Для забезпечення стійкості роботи об'єктів повинні проводитись інженерно-технічні заходи на мережах комунального господарства з метою захисту джерел тепла із заглибленням у ґрунт комунікацій. Котельні слід розміщувати в спеціальному окремо розміщеному приміщенні. Теплова мережа має будуватися за кільцевою системою з прокладанням труб у спеціальних каналах зі з'єднанням паралельних ділянок. Для відключення пошкоджених ділянок мають бути встановлені запірнорегулюючі засувки, вентилі та ін. Ці пристосування необхідно розміщувати в оглядових колодязях, на території, що не завалюється при руйнуванні будівель.

4. Забезпечення стійкості роботи паливно-енергетичного комплексу і водопостачання. Створення резерву енергетичних потужностей за рахунок автономних пересувних електростанцій, а також місцевих джерел електроенергії. Підготовка автономних електростанцій до роботи за спеціальним режимом (графіком) для забезпечення технологічних процесів виробництва, для яких неможливі тривалі перерви в електропостачанні. З метою попередження аварій на електричних мережах необхідно установити автоматичну систему відключення при виникненні перенапруги. Повітряні лінії електропостачання замінити на підземно-кабельні. Створення необхідних запасів (резервів) паливно-мастильних матеріалів та інших видів палива й організація їх безпечного зберігання. Щоб не допустити зупинки підприємства через дефіцит палива, необхідно підготуватись для роботи на різних видах палива: нафта, вугілля, газ.

Для підвищення стійкості забезпечення водою слід провести такі заходи. Необхідно створити основні і резервні джерела водопостачання. Як резервне джерело краще мати артезіанську свердловину, яку необхідно підключити до системи водопостачання. Крім того, воду можна брати з близько розміщеної природної водойми або спорудити штучну водойму чи резервуари з обладнанням

пристроїв для збору і перекачування води. Всі ділянки водопостачання повинні бути заглиблені в ґрунт з обладнанням пожежних гідрантів і пристроїв для відключення пошкоджених ділянок. Локальні мережі водопостачання окремих великих підприємств варто з'єднати із загальноміською системою водопостачання в єдине кільце.

5. Забезпечення стійкого постачання будівельного об'єкта. Для забезпечення виробництва продукції необхідні електроенергія, паливо, мастила, профілактичні й лікувальні препарати медицини, запасні частини, сировина та інші матеріальнотехнічні засоби. Забезпечення об'єктів цими ресурсами дасть можливість випускати необхідну продукцію в надзвичайних умовах мирного і воєнного часу. Тому повинні проводитись такі заходи, які б забезпечили стійкість постачання і сприяли підвищенню захисту мережі електро-, водо-, газопостачання, транспортних комунікацій і джерел постачання всім необхідним для забезпечення функціонування будівельної галузі в надзвичайних умовах. З метою попередження аварій на електричних мережах необхідно встановити автоматичну систему відключення перенапруги. Повітряні лінії електропостачання слід замінити на підземно-кабельні.

6. Забезпечення збереження й відновлення будівель і споруд. Оцінка можливих ступенів руйнування будівель і споруд підприємства, населеного пункту. Визначення обсягу невідкладних ремонтних робіт, потреби в будівельних матеріалах. Розрахунок сил і засобів для проведення невідкладних ремонтних та інших робіт, а також знезаражування приміщень, виробничих ділянок і території. Створення і підготовка спеціальних формувань для ремонтно-відновних, будівельних та інших робіт на об'єкті.

7. Забезпечення надійності системи управління і зв'язку. Організація захищеного пункту управління, оснащення його засобами зв'язку, які б дали можливість швидко доводити сигнали ЦЗ до всіх виробничих підрозділів і населення у місцях проживання. Розробка документів, які регламентують чіткі дії персоналу для забезпечення сталої роботи об'єкта в надзвичайних умовах.

Підготовка необхідного резерву кадрів спеціалістів, будівельників і керівних працівників для зміни тим, які будуть мобілізовані

При вирішенні проблеми підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі, а також інших об'єктів народного господарства, керуються єдиними принциповими положеннями:

- завчасне проведення заходів цивільного захисту, спрямованих на зниження можливих втрат та руйнувань у разі застосування збоку противника зброї масового ураження і на створення умов для швидкого відновлення виробництва після часткового руйнування;
- комплексний підхід в розробці і здійсненні заходів для всіх напрямків діяльності підприємства;
- узгодження цих заходів з територіальними і військовими органами управління.

Заходи з підвищення стійкості плануються з урахуванням місцевих умов, ступеня важливості об'єкта, його географічного положення, економічної доцільності проведення заходів. На мирний час планують, в основному, трудомісткі заходи, які потребують значних матеріальних витрат і часу, а на період загрози виникнення НС – такі заходи, які не потребують значних затрат часу чи проведення яких не є доцільним при нормальному функціонуванні. Також при проведенні заходів з ЦЗ потрібно враховувати і внутрішні фактори, що впливають на стійкість: масштаби виробництва, виду продукції, що випускається, чисельність працівників, рівень їх дисциплінованості і компетентності, особливості технології виробництва, системи постачання виробництва сировиною, технічною і питною водою, газо- та електроенергією.

Контроль за виконанням вимог згаданих норм покладається на структурні підрозділи з питань цивільного захисту та надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Прочитавши наявну літературу, та дослідження різних авторів, виявив, що використання сканерів LiDAR у сфері зйомки будівель та споруд не було добре вивченим

2. Виявлено високий попит і актуальність використання LiDAR для вимірювань будівель і споруд.

3. Удосконалено методики та розроблено нові програми для виконання досліджень технічного стану об'єктів обстежування.

4. Ми порівняли поточні моделі LiDAR-сканерів на основі таких вимог, як вартість, доступність, мобільність і можливість проведення сканування в будь-який час і обрали сканер, який відповідав нашим вимогам, це сканер вбудований в корпус iPhone 13Pro

5. Після перевірки технічного стану сканованої будівлі не виявлено дефектів та пошкоджень (значних тріщин, вибоїн, деформацій тощо), які перешкождали б нормальній експлуатації цієї будівлі. При обстеженні другого об'єкта, а саме стіни з тріщиною, був проведений аналіз тріщини та прийшло розуміння, як даліше ремонтувати тріщину.

6. Провівши дослідження та проаналізувавши отримані дані, ми виявили, що дослідження за допомогою LiDAR мають значні переваги порівняно з аналогічними дослідженнями з використанням людських ресурсів.

7. Технологія сканування є відносно новою, і самі сканери та інструменти для їх роботи постійно вдосконалюються великими світовими розробниками, як-от Autodesk і Bentley, а також програмне забезпечення, яке розробляється для використання та автоматизації процесу.

8. Можна зробити висновок, що використання сканерів LiDAR спрощує всі види обстежень будівель і споруд, значно скорочує термін дослідження та знижує ризики. При якісному записі та правильній обробці отриманих даних хмари точок можна знайти результати, які задовольняють більшість поставлених завдань. Описаний метод перевершує традиційні методи обстеження будівель і споруд і є

сучасним і актуальним у сфері обстеження об'єктів, будівельного нагляду та контролю.

9. Проведено детальний огляд додатків, за допомогою яких, можна сканувати та досліджувати тріщини із подальшим експортом у відповідні ПК

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Salman Azhar Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering Volume 11, Issue 3 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
2. Ярошевська О. С. «Автоматизація проектування будівельних об'єктів з використанням технологій інформаційного моделювання». Київський політехнічний інститут ім.Ігоря Сікорського, 2022: 6с.
3. Мещерякова О.М., Ясній В.П. BIM: Ефективний інструмент для реконструкції будівель та споруд. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2022. Вип. 18. С. 61-70 doi: [https://doi.org/10/36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-08](https://doi.org/10/36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-08)
4. Левченко Н. М., Бейнер П. С., Бейнер Н. В. Реконструкція будівель з використанням BIM технологій при відновленні міст в Україні. Металознавство та термічна обробка металів. 2022. № 4.С. 64–70.
5. О . Мещерякова. Виклики цифрової трансформації в архітектурно - будівельної галузі – BIM спеціалісти ‘, SWorldJournal, No 13 – 01, с . 43 – 47, 2022, doi: 10.30888/2663 - 5712.2022 - 13 - 01 - 025.
6. Xia, Jun, and Michael Peng. "The parametric design of Shanghai Tower's form and façade." Proceedings of the CTBUH 2012 9th World Congress, Shanghai, China. 2012
7. Jang, A., Jeong, S., Park, M.J. and Ju, Y.K. (2023), Structural evaluation by reverse engineering with 3D laser scanner. ce/papers, 6: 308-314. <https://doi.org/10.1002/cepa.1989>
8. Лазерне сканування [Електронний ресурс] http://uk.wikipedia.org/wiki/Лазерне_сканування
9. Короленко С.Р. «Методи та засоби тривимірного сканування» Запорізький інститут інформатики та радіоелектроніки, 2019: 11с.
10. Щербаков Р. «Дослідження методу фотограметрії для невеликих об'єктів» Харківський національний університет радіоелектроніки 2022: 11с.

11. Пятенко М.Є. «Лазерні інформаційно-вимірювальні скануючі технології» Харківський національний університет радіоелектроніки, 2022: 11с
12. Technologies for the Future: A LiDAR Overview [Електронний ресурс] <https://www.gim-international.com/content/article/technologies-for-the-future-a-lidar-overview-2>
13. Гураль О . Використання безпілотних літальних апаратів для обстеження будівель і споруд / Гураль О ., Ясній В . П . // Матеріали Міжнародної студентської науково - технічної конференції " Природничі та гуманітарні науки . Актуальні питання", 28 - 29 квітня 2022 р. Т. : ТНТУ, 2022. С. 139 – 140. (Управління та адм іністрування)
14. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – 500.
15. Leica 3D Disto [Електронний ресурс] https://ngc.com.ua/ua/p/493-leica-3d_disto.html
16. Ground-based laser scanning [Електронний ресурс] https://geotop.com.ua/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie_en.php
17. Point cloud integration with Vizard [Електронний ресурс] <https://kb.worldviz.com/articles/2339>
18. Методичні вказівки до виконання виконання лабораторних роботи з дисципліни «Основи і засоби передачі інформації в електроенергетиці. Частина 3. Методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму» [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Управління, захист та автоматизація енергосистем» / О.С. Яндутьський, О.В. Тимохін, А.О. Тимохіна; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,55 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 35с.
19. Pointcloud Data Extraction [Електронний ресурс] <https://bimcolab.wordpress.com/2016/02/04/pointcloud-data-extraction/>

20. Козуб О. А. «Застосування даних лазерного сканування при вирішенні задач народного господарства» Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою, 2018: 14с.

21. Мещерякова О. Виклики цифрової трансформації в архітектурно-будівельній галузі – BIM спеціалісти. SWorldJournal. 2018. № 13-01. С. 43–47. URL: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2022-13-01-025> (дата звернення: 11.03.2024).

22. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, 2016. – 11с.

23. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с. Отримано з <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196>.

24. Навчальний посібник «ТЕХНОЕКОЛОГІЯ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА. ЧАСТИНА «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»» / автор-укладач В.С. Стручок–Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с. Отримано з <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39424>.