

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»**

**зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»**

**на тему: «Додаток для візуалізації даних ультразвукового дефектоскопа»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПМ-31мп  
Пітух Ілля Олександрович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

доцент каф. АСНК, к.т.н.  
Богдан Галина Анатоліївна \_\_\_\_\_

Консультант з розробка стартап-проектів:

Завідувач кафедри економічної кібернетики,  
Доктор економічних наук, професор  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент каф. ІВТ, к.т.н.  
Козир Олег Васильович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Пітуху Іллі Олександровичу**

1. Тема дисертації «Додаток для візуалізації даних ультразвукового дефектоскопа» науковий керівник дисертації доцент, кандидат технічних наук кафедри АСНК Богдан Галина Анатоліївна, затверджені наказом по університету від «07» листопада 2024 р. №4987-с

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: процес візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів.

4. Вихідні дані: предмет дослідження – веб-додаток для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів.

5. Перелік завдань, які потрібно зробити: Провести аналіз сучасних методів візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Дослідити існуючі аналоги програмного забезпечення для візуалізації дефектоскопічних даних. Розробити архітектуру веб-додатку з урахуванням вимог до масштабованості та продуктивності. Розробити алгоритми обробки та візуалізації даних (А-скан, Б-скан). Реалізувати компоненти для обробки файлів (CSV, JSON, XML). Здійснити тестування роботи додатку на тестових та реальних даних. Виконати оцінку продуктивності та стабільності додатку. Підготувати звіт щодо результатів роботи та можливих напрямів удосконалення.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 5 блок-схем, 1 структурна схема

7. Орієнтовний перелік публікацій:

## 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Завідувач кафедри економічної кібернетики, Доктор економічних наук, професор Бояринова Катерина Олександрівна		

## 9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання магістерської дисертації	05.09.2024	Виконано
2	Аналітичний огляд сучасних методів візуалізації даних	15.09.2024	Виконано
3	Розроблення архітектури веб-додатку	01.10.2024	Виконано
4	Розробка алгоритмів обробки та візуалізації даних	10.10.2024	Виконано
5	Реалізація компонентів візуалізації та серверу для обробки даних	01.11.2024	Виконано
6	Тестування роботи додатку на реальних даних	10.11.2024	Виконано
7	Оцінка продуктивності та стабільності роботи	27.11.2024	Виконано
8	Розробка стартап-проєкту	30.11.2024	Виконано
9	Формулювання висновків та оформлення пояснювальної записки та презентації	04.12.2024	Виконано

Студент

Ілля ПІТУХ

Науковий керівник

Галина БОГДАН

## РЕФЕРАТ

### Актуальність теми

Сучасна промисловість активно застосовує ультразвукові технології для контролю якості матеріалів та виробів. Ультразвуковий неруйнівний контроль є одним із найбільш ефективних методів виявлення внутрішніх дефектів, що дозволяє забезпечити надійність конструкцій та запобігти аварійним ситуаціям. Проте обробка та аналіз даних, отриманих у процесі ультразвукових досліджень, залишається складним завданням, що потребує високої точності та швидкодії.

На сьогоднішній день більшість ультразвукових систем покладається на спеціалізоване обладнання та програмне забезпечення для візуалізації результатів досліджень. Однак, існуючі рішення часто мають обмежені можливості для інтеграції з різними типами ультразвукових дефектоскопів та не забезпечують гнучкості у роботі з великими обсягами даних. Крім того, відсутність інтуїтивно зрозумілих веб-рішень для аналізу та візуалізації даних створює додаткові труднощі для користувачів.

Розвиток веб-технологій відкриває нові перспективи для створення інноваційних програмних рішень, здатних інтегруватися з різними типами обладнання, забезпечувати автоматизовану обробку даних та надавати інтуїтивно зрозумілі засоби для візуалізації. Веб-додаток, що забезпечує роботу з даними ультразвукових дефектоскопів у форматах CSV, JSON та XML, дозволяє значно спростити процес обробки інформації та підвищити ефективність аналізу. Особливого значення набуває можливість автоматизованого створення графіків А-скану та Б-скану, що дозволяють виявляти дефекти в матеріалах із високою точністю.

У даній магістерській дисертації розроблено веб-додаток для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів, який забезпечує інтеграцію з різними форматами файлів, автоматизацію обробки даних та побудову графіків. Dodatok відрізняється адаптивністю, зручністю у використанні та високою продуктивністю, що робить його актуальним для широкого кола користувачів,

включаючи промислові підприємства, науково-дослідні організації та освітні установи.

Розроблений додаток також надає можливість розширення функціоналу, включаючи додаткові методи обробки та аналізу даних, що відповідає сучасним тенденціям у розвитку цифрових технологій. Він спрямований на підвищення ефективності процесів контролю якості матеріалів, забезпечуючи зручність і точність візуалізації результатів досліджень.

### **Мета і задачі дослідження**

**Мета дослідження** – створення веб-додатку для автоматизованої візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів, що забезпечує ефективний аналіз та обробку результатів з метою підвищення точності, швидкості та зручності неруйнівного контролю матеріалів.

Для досягнення поставлених цілей були вирішені наступні задачі:

- 1) Проведено аналіз сучасних методів візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів.
- 2) Розроблено архітектуру веб-додатку з урахуванням вимог масштабованості та продуктивності.
- 3) Досліджено алгоритми обробки даних для побудови графіків А-скану та Б-скану.
- 4) Реалізовано обробку та валідацію файлів у форматах CSV, JSON та XML.
- 5) Створено компоненти для інтерактивної візуалізації даних, що дозволяють користувачам аналізувати результати неруйнівного контролю.
- 6) Проведено тестування продуктивності додатку та оцінку його стабільності під час роботи з великими обсягами даних.

**Об'єкт дослідження** – процес візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів.

**Предмет дослідження** – веб-додаток для обробки та візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів.

**Методи дослідження** Для вирішення поставлених задач використовувались методи об'єктно-орієнтованого програмування; принципи проектування

багатошарової архітектури веб-додатків; методи математичної статистики для аналізу даних; інструменти сучасних фреймворків ReactJS та NodeJS для реалізації інтерфейсу і серверної частини.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

1) Створено перший в своєму роді веб додаток для візуалізації даних ультразвукового дефектоскопу, який забезпечує інтерактивну обробку та аналіз інформації в реально часі

### **Практичне значення результатів дисертації**

1) Реалізовано веб-додаток для автоматизованої візуалізації даних, який може використовуватися для аналізу результатів неруйнівного контролю в промисловості та наукових дослідженнях.

2) Запропоноване рішення підвищує ефективність візуалізації та обробки даних за рахунок автоматизації процесів та інтеграції з обладнанням різних виробників.

### **Ключові слова**

Ультразвуковий контроль, А-скан, Б-скан, веб-додаток, ReactJS, NodeJS, візуалізація даних.

## ABSTRACT

### Relevance of the topic

Modern industry actively uses ultrasonic technologies for quality control of materials and products. Ultrasonic non-destructive testing is one of the most effective methods for detecting internal defects, which helps to ensure the reliability of structures and prevent emergencies. However, processing and analysing the data obtained during ultrasonic testing remains a challenging task requiring high accuracy and speed.

Today, most ultrasonic systems rely on specialised hardware and software to visualise the results of the tests. However, existing solutions often have limited capabilities for integration with different types of ultrasonic flaw detectors and lack the flexibility to handle large amounts of data. In addition, the lack of intuitive web-based solutions for data analysis and visualisation creates additional difficulties for users.

The development of web technologies opens up new prospects for creating innovative software solutions that can integrate with various types of equipment, provide automated data processing and provide intuitive visualisation tools. A web-based application that works with ultrasonic flaw detector data in CSV, JSON and XML formats can significantly simplify the information processing process and increase the efficiency of analysis. Of particular importance is the ability to automate the creation of A-scan and B-scan graphs, which allows for the detection of defects in materials with high accuracy.

In this master's thesis, a web-based application for visualising ultrasonic flaw detector data was developed, which provides integration with various file formats, automated data processing and graphing. The application is distinguished by its adaptability, ease of use and high performance, which makes it relevant to a wide range of users, including industrial enterprises, research organisations and educational institutions.

The developed application also provides the possibility of expanding the functionality, including additional methods of data processing and analysis, which is in line with current trends in the development of digital technologies. It is aimed at improving the

efficiency of material quality control processes, providing convenient and accurate visualisation of research results.

### **Purpose and objectives of the study**

**The purpose of the study** is to create a web application for automated visualisation of ultrasonic flaw detector data, which provides efficient analysis and processing of results in order to increase the accuracy, speed and convenience of non-destructive testing of materials.

To achieve these goals, the following tasks were solved:

- 1) Analysis of modern methods of visualisation of ultrasonic flaw detector data.
- 2) Develop the architecture of the web application taking into account the requirements of scalability and performance.
- 3) Data processing algorithms for plotting A-scan and B-scan graphs were investigated.
- 4) Implemented processing and validation of files in CSV, JSON and XML formats.
- 5) Components for interactive data visualisation were created to allow users to analyse the results of non-destructive testing.
- 6) Application performance testing and evaluation of its stability when working with large amounts of data.

**The object of research** is the process of visualising ultrasonic flaw detector data.

**The subject of the study** is a web application for processing and visualising data from ultrasonic flaw detectors.

**Research methods** to solve the tasks, we used object-oriented programming methods; principles of designing a multilayer architecture of web applications; methods of mathematical statistics for data analysis; tools of modern frameworks ReactJS and NodeJS for implementing the interface and server side.

### **Scientific novelty of the results**

1) A first-of-its-kind web application for visualising ultrasonic flaw detector data has been created, which provides interactive processing and analysis of information in real time



### **Practical significance of the results of the dissertation**

1) A web application for automated data visualisation has been implemented, which can be used to analyse the results of non-destructive testing in industry and research.

2) The proposed solution increases the efficiency of data visualisation and processing by automating processes and integrating with equipment from different manufacturers.

### **Keywords.**

ultrasonic inspection, A-scan, B-scan, web application, ReactJS, NodeJS, data visualisation.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	4
ABSTRACT .....	7
Перелік скорочень .....	12
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....	14
1.1 Основи ультразвукової дефектоскопії .....	14
1.2 Області застосування та приклади використання ультразвукових дефектоскопів в різних галузях промисловості .....	14
1.3 Принцип дії ультразвукового дефектоскопу .....	16
1.4 Визначення А-скану, Б-скану та С-скану .....	17
1.5 Алгоритм побудови А-, Б- та С-скану в ультразвукових дефектоскопах .	18
1.6 Аналіз існуючих прототипів .....	22
1.7 Проблематика сучасного ПЗ для візуалізації даних в ультразвуковій дефектоскопії .....	26
1.8 Завдання мігістерської дисертації .....	30
Висновки до розділу 1.....	32
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД АРХІТЕКТУРИ ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА.....	33
2.1 Проектування архітектури з урахуванням масштабування та продуктивності .....	34
2.2 Обґрунтування обраної архітектури додатку .....	37
2.3 Загальний огляд архітектури додатку та основні принципи взаємодії компонентів.....	38
2.4 Компоненти завантаження даних та налаштувань .....	39
2.5 Архітектура серверу який відповідає за обробку та парсинг файлів.....	40
2.7 Архітектура компонентів візуалізації .....	42
2.8 Архітектура головного компонента App.js.....	43
Висновки до розділу 2.....	46
РОЗДІЛ 3 ОПИС ОСНОВНИХ АЛГОРИТМІВ ДОДАТКУ .....	47
3.1 Структурна схема роботи додатку .....	47
3.2 Алгоритм обробки та парсингу файлів .....	48
3.3 Алгоритми конвертації файлів різних форматів .....	50
3.3.1 Алгоритм конвертації CSV-фалів А-скану та Б-скану .....	50
3.3.2 Алгоритм конвертації JSON-фалів А-скану та Б-скану .....	52
3.3.3 Алгоритм конвертації XML-фалів А-скану та Б-скану .....	54
3.4 Алгоритм візуалізації А-скану .....	56
3.5 Алгоритм візуалізації для Б-скану.....	58
Висновки до розділу 3.....	60
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНИЙ ДОСЛІД.....	61
4.1 Реалізовані функції веб-додатку .....	61
4.2 Методика проведення дослідю .....	63
4.3 Результати практичного дослідю.....	67
Висновок до розділу 4.....	69

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ВЕБ ДОДАТОК ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ».....	70
5.1. Опис ідеї проекту .....	70
5.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту .....	73
5.3. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	80
5.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	86
5.5. Планування реалізації стартап-проекту .....	90
Висновки до розділу 5.....	93
Висновки .....	95
Список використаних джерел .....	96

## Перелік скорочень

НК – неруйнівний контроль  
ОК – об’єкт контролю  
УЗК – ультразвуковий контроль  
ВП – випромінювач  
ПЕП – п’єзоелектричний перетворювач  
ГІ – генератор імпульсів  
ПП – попередній підсилювач  
АСД – автоматичний сигналізатор дефектів  
А-скан – Amplitude Scan  
Б-скан – Brightness scan  
С-скан – Cross-sectional scan  
PAUT – Phased Array Ultrasonic Testing  
TOFD – Time of Flight Diffraction  
FMC – Full Matrix Capture  
TFM – Total Focusing Method  
CSV – Comma-separated values  
JSON – JavaScript Object Notation  
XML – eXtensible Markup Language  
UX – User Experience  
CSS – Cascading Style Sheets  
SPA – Single Page Application  
MPA – Multi Page Application  
HTTP – Hypertext Transfer Protocol  
API – Application Programming Interface

## ВСТУП

Сучасні методи ультразвукової дефектоскопії відіграють ключову роль у забезпеченні надійності та безпеки промислових об'єктів. Застосування таких методів дозволяє не лише виявляти дефекти в матеріалах, але й забезпечувати їхню оперативну оцінку без необхідності руйнування або впливу на цілісність об'єктів контролю (ОК). Для того щоб точно оцінити стан матеріалів потрібна якісна та наочна візуалізація отриманих даних.

У рамках цієї роботи розглядаються методи та особливості ультразвукової дефектоскопії, її застосування для різних матеріалів та об'єктів, а також аналізуються існуючі технічні рішення з візуалізації даних. Розглядаються їх переваги, недоліки та проблеми, які виникають під час обробки даних від ультразвукових дефектоскопів, та запропоновано інноваційний підхід у вигляді веб-додатку, що спрощує процеси обробки і стандартизації даних, забезпечуючи доступність і зручність для користувачів у будь-який час та з будь-якого пристрою.

## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД**

Ультразвукова дефектоскопія – це метод неруйнівного контролю, що базується на випромінюванні імпульсних ультразвукових хвиль у матеріал та їх поширенні в ньому. [1]

### **1.1 Основи ультразвукової дефектоскопії**

Основним принципом є поширення ультразвукових хвиль та їх відзеркалення від неоднорідностей в матеріалі із подальшим аналізом часу проходження хвилі від перешкоди до приймача. Коли ультразвукова хвиля натрапляє на перешкоду, таку як неоднорідність, або дефект, частина ультразвуку буде відзеркалена і повернеться назад до приймача, а решта пройде і відіб'ється від задньої стінки об'єкта контролю (ОК), після чого також повернеться до приймача. [2] Якщо відома швидкість ультразвуку в матеріалі можна визначити відстань до дефекту, виявити та локалізувати його. Амплітуда сигналу який відзеркалився від дефекту може залежати від його розміру і положення, а також якості його поверхні та кута під яким спрямовано ультразвуковий перетворювач.

### **1.2 Області застосування та приклади використання ультразвукових дефектоскопів в різних галузях промисловості**

Ультразвукова дефектоскопія є одним із найбільш універсальних методів неруйнівного контролю, який широко використовується в різних промислових галузях для оцінки стану матеріалів, структурних компонентів та виявлення дефектів, які можуть бути критичними для безпеки та надійності об'єктів. [3] Завдяки використанню А-, Б- та С-сканів, цей метод дозволяє отримувати точні дані, адаптуючи їх до специфічних потреб кожної галузі. Далі наведено приклади застосування ультразвукової дефектоскопії в різних галузях за інформацією із [4-9].

#### **Аерокосмічна промисловість**

В аерокосмічній галузі ультразвуковий контроль є незамінним інструментом для діагностики структурних елементів літаків та космічних апаратів. Під час обслуговування повітряних суден використовується А-скан для

точного вимірювання глибини дефектів у крилах, фюзеляжі та інших ключових компонентах, що забезпечує їхню безпеку і довговічність. Використання А-сканів дозволяє інженерам оцінювати стан металевих частин, композитних матеріалів і зварних з'єднань, своєчасно виявляючи тріщини або розшарування.

### **Автомобільна промисловість**

Ультразвуковий контроль широко використовується для оцінки якості зварних з'єднань, а також для аналізу стану металевих і композитних компонентів автомобілів. С-скан є корисним для перевірки великих площинних поверхонь, таких як двері та капоти, де важливо виявити навіть найменші дефекти. Це допомагає забезпечити високий рівень якості продукції та безпеку під час експлуатації транспортних засобів. Б-скан, у свою чергу, дозволяє виявляти дефекти, що розподілені вздовж конструкційних елементів, та оцінювати їх вплив на загальну міцність і довговічність.

### **Енергетичний сектор**

В енергетиці ультразвуковий метод контролю застосовується для моніторингу стану трубопроводів, резервуарів і теплообмінних установок. За допомогою Б-сканів можна створювати поперечні зрізи матеріалу, що дозволяє ідентифікувати корозійні пошкодження, тріщини або дефекти в металевих елементах. Такий підхід забезпечує своєчасне виявлення проблем і попередження аварійних ситуацій, що особливо важливо для збереження цілісності промислових об'єктів і систем.

### **Будівельна галузь та металокопструкції**

Ультразвуковий контроль відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та довговічності металокопструкцій, таких як мости, башти та великі будівлі. Застосування А-скану дозволяє оцінювати зварні шви і ключові несучі елементи копструкцій, що критично важливо для запобігання руйнуванню об'єктів. Це дозволяє своєчасно виявляти та усувати недоліки під час будівництва або обслуговування, забезпечуючи надійність копструкцій у довготривалій перспективі.

## **Нафтогазова галузь**

Ультразвуковий контроль у нафтогазовій галузі застосовується для моніторингу стану трубопроводів, які транспортують нафту та газ. С-скани забезпечують детальне площинне зображення, що дозволяє інженерам швидко виявляти та локалізувати корозійні пошкодження або тріщини на великих поверхнях. Це сприяє безпечній експлуатації об'єктів і запобігає потенційним витокам або аваріям, що можуть виникнути через недооцінені дефекти.

### **1.3 Принцип дії ультразвукового дефектоскопу**

Ультразвуковий дефектоскоп - це прилад неруйнівного контролю, який використовує луна-імпульсний метод дефектоскопії для виявлення поверхневих і глибинних дефектів в металевих та неметалевих матеріалах. [10]

До основних компонентів ультразвукового дефектоскопу входять :

1. Перетворювач уніфікований (ПУ) - цей елемент включає в себе електромагнітний вібратор з індентером, який генерує механічні коливання, п'єзоелектричний приймач пружних коливань, що приймає відбиті пружні ультразвукові хвилі та індикатора який відображає отриманий сигнал.
2. Генератор імпульсів (ГІ) - відповідає за генерацію імпульсів на вібратор, який в свою чергу збуджує механічні коливання для генерації ультразвукових хвиль.
3. Попередній підсилювач (ПП) - підсилює слабкі сигнали, отримані від п'єзоелектричного приймача для їх обробки та візуалізації.
4. 12-тиканальний паралельний спектроаналізатор виконує аналіз сигналів на різних частотах, де кожен канал містить фільтр для вибору необхідного діапазону частот, підсилювач який додатково підсилює сигнал для чіткого відображення, амплітудний детектор, що визначає амплітуду сигналу, підсилювач постійного струму завданням якого є стабілізація сигналу та лінійний газорозрядний індикатор - виводить сигнал на індикатор для візуалізації.
5. Суматор - об'єднує разом сигнали з різних каналів для подальшої обробки і аналізу.



6. Автоматичний сигналізатор дефектів (АСД) - цей пристрій автоматично реєструє наявність дефектів у матеріалі.

Спочатку генератор імпульсів (ГІ) створює короткі високовольтні імпульси, які подаються на електромагнітний вібратор з індентером, що генерує механічні коливання (ультразвукові хвилі). Ці хвилі поширюються в матеріалі і, коли вони зустрічають перешкоду, таку як дефект або межу матеріалу, частина хвиль відбивається назад. Відбиті ультразвукові хвилі приймаються п'єзоелектричним приймачем, де вони перетворюються на електричні сигнали. Ці сигнали підсилюються попереднім підсилювачем (ПП) і подаються на спектроаналізатор, який аналізує частоти сигналів і допомагає ідентифікувати дефекти. Сигнали з різних каналів спектроаналізатора обробляються суматором, а результати відображаються на індикаторі або подаються на автоматичний сигналізатор для виявлення дефектів.

#### **1.4 Визначення А-скану, Б-скану та С-скану**

А-, Б- і С-скани – являють собою три основні види візуалізації даних в ультразвуковій дефектоскопії, вони дозволяють отримувати графічні дані про стан матеріалу та наявність в ньому дефектів та їх розташування. Проаналізувавши джерела [11-13] можна дати наступні визначення:

##### **А-скан (Amplitude Scan)**

Найпростіший тип візуалізації, який показує амплітуду сигналу залежно від часу проходження ультразвукових хвиль. У даному скані інформація про положення зонда відсутня, і результатом є лише відображення рівня відзеркаленого луна-сигналу на екрані. Цей тип скану використовують для вимірювання глибини дефектів аналізуючи час за який відзеркалений сигнал повертається до приймача. Для локалізації дефектів цей тип візуалізації не підходить, адже в ньому відсутня інформація про положення зонду.

##### **Б-скан (Brightness scan)**

Двовимірна візуалізація, яку отримують шляхом переміщення зонду вздовж поверхні матеріалу. На графіку вісь ординат відповідає за час проходження

ультразвукової хвилі, а вісь абсцис за положення зонду вздовж поверхні об'єкта. В результаті отримуємо теплову карту поперечного зрізу об'єкта контролю, де яскравість точок залежить від амплітуди отриманого сигналу. Таким чином цей тип візуалізації дозволяє отримати інформацію про розташування дефектів та їх розміри.

### **C-скан (Cross-sectional scan)**

C-скан – це двовимірне зображення поверхні об'єкта, яке дозволяє отримати площинне уявлення про дефекти у матеріалі, нагадуючи вид зверху. Для формування C-скану зонд переміщують у двох взаємноперпендикулярних напрямках по поверхні об'єкта. У цьому типі сканування кожна точка на отриманому зображенні відповідає певному положенню зонда та амплітуді відзеркаленого сигналу, а яскравість точок на тепловій карті відображає величину сигналу. Таким чином, C-скан дозволяє побудувати детальну карту поверхневих дефектів та оцінити їх розміри у площині. Цей тип візуалізації використовується для аналізу великих площинних об'єктів, але він не надає інформації про глибину дефектів, що обмежує його застосування у випадках, де необхідна детальна тривимірна структура.

## **1.5 Алгоритм побудови А-, Б- та С-скану в ультразвукових дефектоскопах**

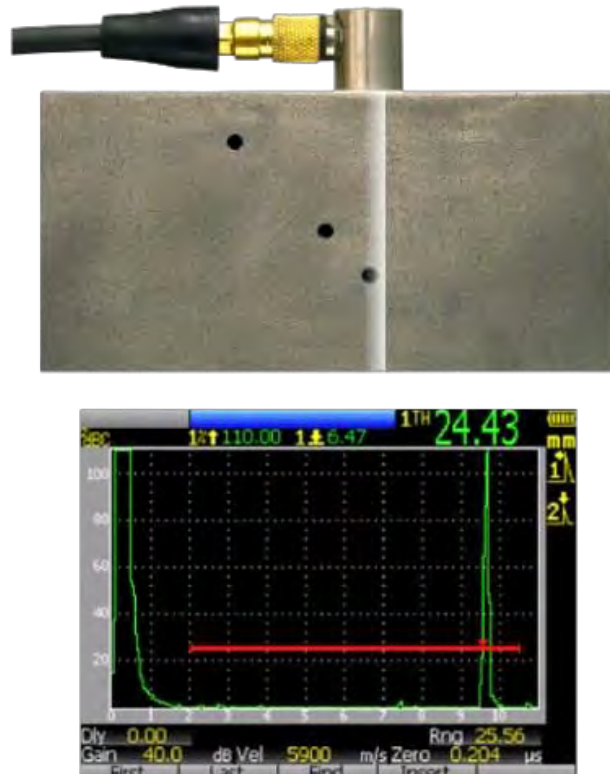
### **Алгоритм побудови А-скану**

Для побудови А-скану дефектоскоп генерує ультразвуковий імпульс, який поширюється в об'єкті контролю, після чого за допомогою чутливого приймача реєструється відзеркалений сигнал, який повернувся після взаємодії з дефектом, або внутрішньою межею ОК. Після чого система аналізує час проходження кожного імпульсу. Час в даному випадку - параметр, який дозволя визначити глибину відображення дефекту на крані, оскільки час прямо пропорційний відстані до дефекту.

Амплітуда відбитого луна-сигналу яка відповідає за яскравість або інтенсивність відображуваної точки на графіку також проходить детальний аналіз, для отримання інформації про розмір та орієнтацію дефекту. Якщо при аналізі

відбитий луна-сигнал виявиться сильним то він буде інтерпритований системою обробки даних як наявність дефекту або неоднорідності в матеріалі. [14]

Візуалізація А-скану, який представляє амплітуду сигналу вздовж часового відрізка, створюється шляхом послідовного відображення отриманих луна-сигналів на осі часу.



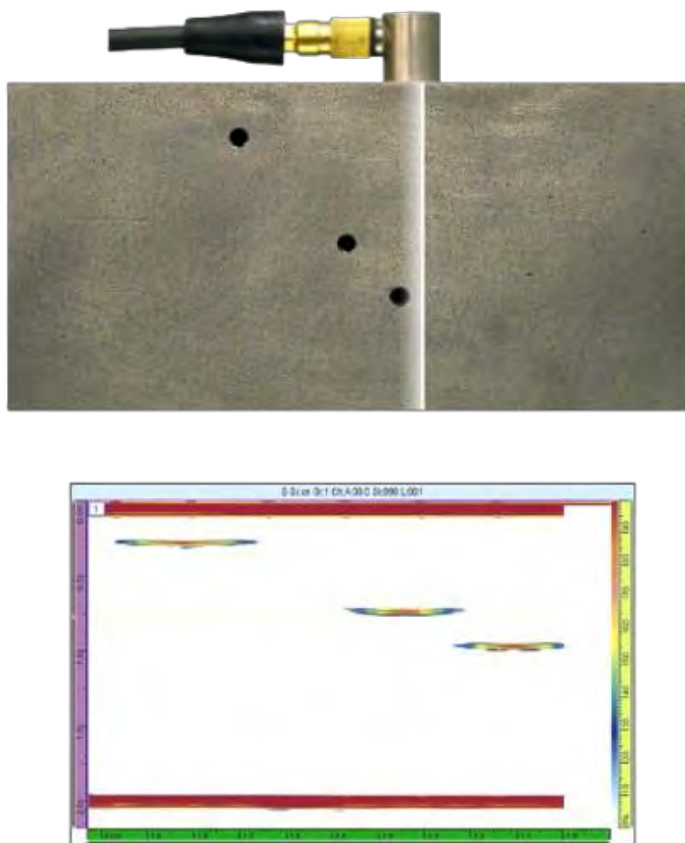
*Рис. 1.1 Візуалізація А-скану*

### **Алгоритм побудови Б-скану**

Алгоритм побудови Б-скану починається з переміщення ультразвукового зонда уздовж поверхні об'єкта контролю, На кожному кроці цього переміщення дефектоскоп генерує і направляє ультразвуковий імпульс у матеріал, а потім отримує луна-сигнал, відзеркалений від дефекту, задньої стінки матеріалі, та інших неоднорідностей. Система фіксує час, за який сигнал проходить від передавача до дефекту або задньої стінки об'єкта і назад до приймача. Часова затримка сигналу прямо пропорційна відстані, тому кожен зафіксований час дозволяє визначити глибину, на якій знаходиться неоднорідність. [15]

На графіку Б-скану вісь ординат відображає час проходження сигналу, який відповідає глибині дефекту, а вісь абсцис — положення зонда на поверхні матеріалу. Залежно від амплітуди відбитого сигналу, що залежить від інтенсивності, система створює точки різної яскравості, які утворюють карту.

В результаті формується двовимірне зображення у вигляді поперечного зрізу, де різні інтенсивності сигналів показують контраст між ділянками з дефектами і цілісними ділянками матеріалу. Б-скан дозволяє інженеру бачити внутрішню структуру об'єкта та ідентифікувати місцезнаходження дефектів у вигляді темних або світлих областей на перерізі.



*Рис. 1.2 Візуалізація Б-скану*

## Алгоритм побудови С-скану

Для побудови С-скану алгоритм діє за схожим принципом, але має деякі додаткові кроки для формування площинного зображення. Спочатку зонд сканує об'єкт у двох взаємоперпендикулярних напрямках, це дає змогу покрити всю поверхню об'єкта контролю. На кожній точці сканування фіксується амплітуда відбитого сигналу, яка залежить від інтенсивності луна-сигналу і є показником наявності або відсутності дефекту. Ці дані конвертуються у матрицю, де кожна точка відповідає певній координаті зонда і містить значення амплітуди сигналу, отриманого з даної точки. [16]

Потім для побудови С-скану система інтерпретує амплітуду кожного сигналу, відображаючи її у вигляді кольору на площинному зображенні. Це створює своєрідну теплову карту, на якій ділянки з дефектами виділяються завдяки вищій інтенсивності сигналу порівняно з цілісними ділянками. У випадку великої кількості точок сканування С-скан забезпечує високу деталізацію поверхні та дозволяє оцінити розташування та розмір дефектів у площині об'єкта.

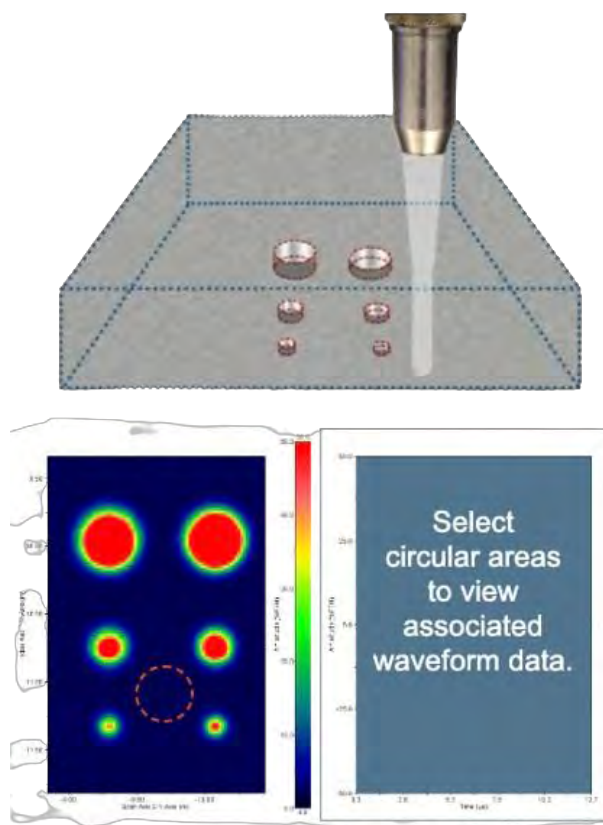


Рис. 1.3 Візуалізація С-скану

## 1.6 Аналіз існуючих прототипів

На ринку не існує аналогічного протитипу у вигляді веб-застосунку, тому для порівняння розглянуто сучасне програмне забезпечення для обробки та візуалізації ультразвукових даних від відомих виробників

### Огляд програмного забезпечення “WeldSight Software”

WeldSight Software є інструментом для збору та аналізу даних, що надає комплексні рішення для ультразвукового тестування з використання фазованих решіток і дифракційно-часового методу (TOFD). [17]

Основна перевага WeldSight полягає у його широкій функціональності та підтримці великої кількості пристроїв, таких як FOCUS PX і серії OmniScan. WeldSight дозволяє проводити повний цикл роботи, починаючи від налаштування випробувань і закінчуючи створенням звітів. Особливу увагу приділено роботі з даними, їхньому аналізу та візуалізації, що є важливим для дотримання міжнародних стандартів.

Однак, порівняно з веб-додатком, WeldSight має кілька суттєвих недоліків. Перш за все, WeldSight не є веб-сервісом, і це обмежує його доступність — він потребує встановлення на комп'ютер або ноутбук, а також сумісного обладнання. Хоча WeldSight підтримує передачу даних між пристроями, його функціональність значною мірою залежить від специфічних моделей дефектоскопів серії OmniScan, що обмежує гнучкість для користувачів з іншими пристроями. Веб-додаток, навпаки, дозволяє завантажувати дані з будь-якого ультразвукового обладнання, стандартизуючи різні формати файлів (CSV, JSON, XML) і пропонуючи автоматичну обробку даних незалежно від виробника.

Ще один недолік WeldSight — це обмеженість у роботі з різноманітними форматами файлів. Програма сумісна лише з форматами, створеними пристроями серії OmniScan та FOCUS PX, що обмежує її застосування для користувачів з обладнанням інших виробників.

Веб-додаток, на відміну від WeldSight, має функцію автоматичної перевірки та стандартизації файлів різних форматів, що дає змогу користувачам ефективно обробляти дані незалежно від їхнього походження.

Перевагою WeldSight є також наявність спеціалізованих інструментів для моніторингу корозії та роботи з фазовими решітками. Проте веб-додаток орієнтований на більш універсальні методи контролю та візуалізації даних — він підтримує А-, Б- та С-скани, що дозволяє створювати як площинні, так і тривимірні зображення на основі серії А-сканів. Тому він є більш гнучким для широкого спектру задач і потреб користувачів, які не обмежуються інспекціями зварних з'єднань.

### **Переваги та недоліки програмного забезпечення “WeldSight Software”**

Переваги WeldSight:

- Повний цикл роботи від налаштування до звітності, включаючи аналіз і візуалізацію даних.
- Спеціалізовані інструменти для корозійного моніторингу та роботи з фазовими решітками.

Недоліки WeldSight у порівнянні з веб-додатком:

- Не є веб-додатком, що обмежує доступність і потребує встановлення на комп'ютер або ноутбук.
- Залежність від специфічних моделей дефектоскопів серії OmniScan
- Обмежена сумісність з форматами файлів, створеними іншими пристроями
- Немає універсальної підтримки А-, Б- та С-сканів

### **Огляд програмного забезпечення UTStudio+ Software**

UTStudio+ — це програмне забезпечення для ПК, розроблене для створення конфігурацій випробувань, аналізу даних та складання звітів. Воно сумісне з пристроями Sonatest Veo3, VEO+ та Prisma і використовується для роботи з фазованими решітками (РА), методом повного матричного захоплення (FMC), методом повного фокусування (TFM), а також класичними ультразвуковими методами. Основною перевагою UTStudio+ є його інструменти для створення налаштувань випробувань, а також можливості для автоматизації аналізу дефектів

за допомогою анотаційних інструментів. Крім того, програма дозволяє створювати та аналізувати С-скани для контролю корозії та композитних матеріалів. [18]

Однак, у порівнянні з веб-додатком, UTStudio+ має декілька суттєвих недоліків, які обмежують його функціональність та доступність. Перш за все, це програмне забезпечення для ПК, що вимагає встановлення і прив'язане до конкретних апаратних рішень, таких як Sonatest Veo3 або Prisma. Веб-додаток, навпаки, працює як веб-сервіс і може бути використаний з будь-якого пристрою, що забезпечує гнучкість та зручність доступу для користувачів у будь-який час.

Крім того, UTStudio+ не підтримує хмарного зберігання даних та автоматичного резервного копіювання, що обмежує можливість доступу до результатів поза межами конкретного пристрою. Це означає, що в разі втрати або пошкодження комп'ютера, існує ризик втрати важливої інформації. Веб-додаток, з іншого боку, автоматично зберігає дані у хмарі та створює їх резервні копії, що забезпечує збереження інформації та доступ до неї з будь-якого пристрою.

Також UTStudio+ не підтримує багатокористувацький режим роботи або віддалену співпрацю, що робить його менш зручним для командної роботи. Ваш веб-додаток дозволяє декільком користувачам одночасно співпрацювати над аналізом даних та обмінюватися звітами в реальному часі, що значно підвищує ефективність командної роботи.

У контексті обробки даних, UTStudio+ сумісний лише з форматами, що підтримуються обладнанням Sonatest. Це обмежує його функціональність для користувачів, які використовують обладнання інших виробників. Ваш веб-додаток автоматизує процеси стандартизації та перевірки різних форматів файлів, що дозволяє обробляти дані незалежно від походження файлу.

### **Переваги та недоліки програмного забезпечення UTStudio+**

Переваги UTStudio+:

- Потужні інструменти для створення конфігурацій випробувань, аналізу та складання звітів



- Підтримка роботи з FMC, TFM та C-сканами для контролю корозії та композитів

Недоліки UTStudio+ у порівнянні з веб-додатком:

- Відсутність хмарного зберігання даних та автоматичного резервного копіювання
- Потреба у встановленні на конкретний пристрій та прив'язаність до апаратного забезпечення Sonatest
- Відсутність багатокористувацького режиму та можливості віддаленої співпраці
- Обмежена підтримка форматів файлів, несумісність з обладнанням інших виробників
- Відсутність універсальної підтримки А-, Б- та С-сканів

### **Узагальнення типових проблем існуючих програмних рішень.**

Після детального аналізу великої кількості програмного забезпечення для ультразвукового контролю, стало зрозуміло, що більшість рішень на ринку використовують схожі підходи та технології. Програми, такі як WeldSight, UTstudio+, та інші, базуються на роботі з фазованими решітками (PAUT), дифракційно-часовим методом (TOFD), а також методами FMC та TFM. Вони підтримують схожі функції для збору даних, аналізу та візуалізації. Однак, такі підходи призводять до схожих переваг та недоліків.

Переваги включають високу точність і сумісність з певними моделями обладнання. Проте, недоліки цих рішень також є типовими — вони не є веб-додатками, залежать від конкретного обладнання і мають обмежену сумісність з різноманітними форматами даних. Це обмежує їх універсальність та доступність для широкого кола користувачів, особливо тих, хто бажає працювати з даними на різних платформах або використовувати обладнання різних виробників.

Таким чином, можна зробити висновок, що більшість доступного програмного забезпечення пропонує схожий функціонал, але має обмеження, які здатен вирішити веб-додаток, забезпечуючи універсальність, гнучкість і доступність, незалежно від типу обладнання та формату даних.

## **1.7 Проблематика сучасного ПЗ для візуалізації даних в ультразвуковій дефектоскопії**

### **1. Відсутність універсального ПЗ**

Як правило виробники ультразвукових дефектоскопів надають користувачам, спеціалізоване програмне забезпечення для візуалізації результатів, яке є адаптованим лише під прилади їх виробництва.

Проблема полягає в тому, що немає можливості візуалізувати дані, не прив'язуючись до якогось конкретного виробника та програмного забезпечення.

### **Рішення**

Розроблений додаток, доступний у вигляді веб-сервісу, це надає можливість користувачам з будь-яким ультразвуковим обладнанням завантажувати та обробляти дані.

### **2. Використання виробниками різних форматів файлів для експорту даних**

Виробники ультразвукових дефектоскопів використовують власні формати для збереження та експорту даних. Це призводить до того, що користувачам, які мають прилади від різних виробників, доводиться використовувати кілька програм для обробки та візуалізації даних. [17-18]

Це можуть бути дані у вигляді двійкового файлу, які може обробляти тільки фірмове програмне забезпечення. Інший випадок — коли виробник надає можливість експорту даних у вигляді формату Comma-separated values (CSV), але зі власною специфічною структурою колонок, які не є стандартизованими.

Також можлива ситуація, коли дані експортуються у форматі JavaScript Object Notation (JSON), який має специфічну структуру і може мати вкладеності інформації, що дозволяє зберігати більше даних у зручному вигляді. Проте цей формат не підтримується більшістю ПЗ, і якщо його структура не є стандартизованою, він потребує ручної обробки для сумісності.

У разі експорту інформації у формат eXtensible Markup Language (XML) без стандартизації елементів та атрибутів, це знову ускладнює обробку даних для користувачів.

## **Рішення**

Веб-додаток матиме можливість стандартизації та роботи з різними форматами, такими як CSV, JSON та XML.

Якщо CSV-файл має специфічну структуру колонок, веб-додаток перевірить файл на наявність ключових колонок, таких як час, амплітуда сигналу та глибина, і, за їх наявності, приведе файл до стандартного вигляду для подальшої обробки. Крім того, алгоритм веб-додатку автоматично перевірить файл на наявність пропущених даних або дубльованих записів.

Стандартизація JSON-файлу полягає в тому, що його структура може мати непередбачувану вкладеність. Наприклад, один із виробників вирішив зберігати інформацію у вигляді масиву об'єктів, а інший — у вигляді вкладених масивів. Залежно від структури файлу, веб-додаток перевірить наявність стандартних ключів на всіх рівнях вкладеності та, у разі їх наявності, спростить вкладеність, піднявши її на один або два рівні, залежно від структури файлу, що дозволить отримати стандартизований файл для подальшої обробки. Оскільки структура JSON може бути непередбачуваною, привести файл до стандартизованого вигляду без ручної обробки може бути досить складно. Тому, якщо файл стандартизувати не вдалося, веб-додаток використає інший алгоритм обробки даних, розрахований на конкретну структуру. Можна зробити кілька алгоритмів для популярних структур JSON-файлів, які використовують виробники, і надати користувачеві можливість обрати потрібний.

XML — досить складний для обробки формат, оскільки може мати вкладеності, які складно перетворити на плоский формат. Цю проблему можна вирішити, використовуючи спеціалізовані бібліотеки для роботи з цим форматом файлів, повністю його розпарсивши, зчитавши всі елементи та атрибути. У разі, якщо теги не відповідають стандартизованим назвам, алгоритм змінить їх назву і сформує стандартизовані об'єкти.

### **3. Складний та неінтуїтивний інтерфейс ПЗ для ультразвукових дефектоскопів**

Програмне забезпечення, яке пропонують виробники ультразвукових дефектоскопів, має складний інтерфейс та не є інтуїтивним, що призводить до труднощів у використанні для фахівців з різним технічним досвідом.

Для прикладу, якщо фахівець має малий технічний досвід, він стикається з проблемою складних меню з великою кількістю налаштувань та функцій, які можуть мати свою специфічну термінологію. Фахівці з більшим технічним досвідом також стикаються з проблемами, пов'язаними зі складним інтерфейсом, наприклад, при зміні програмного забезпечення доводиться звикати до нового інтерфейсу та змін у розташуванні необхідних функцій.

Традиційне ПЗ може не мати адаптивності під інші користувацькі інтерфейси, такі як мобільні телефони або планшети, а також може не підтримуватися сучасними браузером, що призводить до того, що користувач не має доступу до даних за межами робочого місця.

## **Рішення**

Веб-додаток матиме простий, практичний та інтуїтивний інтерфейс, чого можна досягти, притримуючись всіх принципів User Experience (UX) дизайну. Dodatok розпізнаватиме тип файлу та автоматично задаватиме всі необхідні параметри.

Для випадку, коли користувач тільки починає працювати із додатком, процес звикання спростять візуальні підказки та можливість пройти базовий інструктаж по функціоналу та можливостям веб-сервісу.

Веб-додаток легко адаптувати під різні користувацькі інтерфейси, використовуючи можливості технології Cascading Style Sheets (CSS).

## **4. Відсутність хмарного зберігання та автоматичного резервування даних**

Програмне забезпечення яке надається, або пропонується виробниками ультразвукових дефектоскопів зберігає інформацію локально на пристроях де воно встановлено. Це ускладнює процес передачі даних. Якщо інженер отримав дані ультразвукової дефектоскопії на виробництві, а для подальшої обробки йому необхідно передати дані на персональний комп'ютер або іншому фахівцю, йому доводиться передавати інформацію через електронні носії, такі як флешки, або ж

відправляти їх по електронній пошті, що не лише ускладнює процес, але й створює ризик втрати файлів, або їх пошкодження та несе загрозу конфіденційності інформації.

Також ця проблема спостерігається у випадку, коли декілька інженерів працюють над одним проектом. Кожен з них має різні дані які потрібно об'єднати для подальшого аналізу.

### **Рішення**

Веб-додаток автоматично зберігає дані після обробки та візуалізації у хмарному сервісі, а також створює їх резервні копії. Це дозволить користувачам отримати доступ до даних та результатів у будь-який час і з будь-якого пристрою. Автоматичне резервування даних, захистить файли від втрат. Окрім того додаток може зберігати попередні версії файлів на сервері, щоб користувач міг переглянути історію змін.

### **5. Відсутність автоматизації та складність процесу обробки даних для користувачів які не мають доступу до дорогого обладнання**

Дефектоскопи із можливістю побудови В-скану та С-скану є дорогими, і не всім доступними приладами. Маленьким компаніям чи лабораторіям в яких немає можливості придбати дорогий пристрій доводиться вручну збирати кілька А-сканів за допомогою простіших дефектоскопів в різних точках поверхності об'єкту контролю (ОК), для подальшого їх об'єднання в В-скан, що також проводиться вручну. Це дає змогу краще оцінити стан матеріалу, але процес ручного об'єднання кількох А-сканів у В-скан вимагає багато часу та технічних знань.

### **Рішення**

Веб-додаток має функцію побудови В-сканів та С-сканів на основі завантаженої серії А-сканів. Таким чином алгоритм поєднує окремі А-скани для побудови двовимірних (В-скан) та тривимірних (С-скан) зображень. Користувачу не потрібно опрацьовувати кожен А-скан вручну та зводити їх разом. Така автоматизація дозволить значно зменшити втрати часу та виключить людський фактор під час обробки даних.

## **6. Зберігання та систематизації великих обсягів даних**

У випадку коли ОК це великий промисловий об'єкт, під час його перевірки інженерам доводиться збирати великі обсяги даних які займають багато місця на локальних носіях, окрім того такий великий об'єм інформації потрібно правильно систематизувати, для того щоб було легко знаходити необхідні дані для повторного налізу, або порівняння старих та нових результатів.

Схожа проблема спостерігається коли ОК це довготривалий проєкт, перевірки якого відбуваються декілька років, дуже важливо щоб всі попередні результати були правильно систематизовані, щоб безпомилково відслідковувати динаміку змін у матеріалі.

### **Рішення**

Інтеграція веб-додатку із реляційними базами даних, такими як MySQL або PostgreSQL, що дозволить зберігати дані усіх візуалізацій та результатів, та сортувати їх по категоріях, типах сканів або датах проведення контролю. Правильно налаштована структура бази даних, дозволить зробити автоматичний розподіл по категоріях для сформованих сканів та файлів з даними, а також дозволить зберігати кілька версій одного файлу, для того щоб користувачі могли відслідковувати зміни.

## **1.8 Завдання мігістерської дисертації**

На основі проведеного аналізу наявних програмних рішень у сфері ультразвукового контролю, таких як WeldSight, UTstudio+ та інших, було встановлено, що більшість із них використовують схожі технологічні підходи і мають типові переваги та недоліки. Ці програми здебільшого розраховані на роботу з фазованими решітками (PAUT), методом дифракції часу польоту (TOFD), а також сучасними методами, такими як FMC (Full Matrix Capture) та TFM (Total Focusing Method). Вони пропонують комплексні рішення для створення конфігурацій випробувань, аналізу отриманих даних та складання звітів, що дозволяє проводити точну діагностику та відповідати міжнародним стандартам неруйнівного контролю.

Проте, характерні переваги й недоліки таких програм залишаються подібними. Основними перевагами є точність вимірювань, налаштування, оптимізовані для конкретних моделей обладнання, а також наявність розширених інструментів аналізу та звітності. Такі можливості дозволяють досягти високого рівня ефективності під час проведення інспекцій.

Однак недоліки також є типовими для цих рішень: вони, як правило, не є веб-додатками, що обмежує їх доступність та можливість роботи з різних пристроїв. Крім того, більшість програм підтримують лише специфічні моделі обладнання, що зменшує гнучкість користувачів, які працюють із пристроями інших виробників. Сумісність із форматами файлів також залишається обмеженою, що створює складнощі при роботі з даними від різних виробників.

Розроблюваний веб-додаток націлений на усунення цих недоліків, пропонуючи широку доступність і гнучкість. Веб-сервіс буде працювати на різних платформах і пристроях, забезпечуючи сумісність із різними типами обладнання. Він підтримуватиме різні формати файлів, такі як CSV, JSON та XML, з автоматичною стандартизацією для зручної роботи з даними незалежно від їхнього походження. Це дозволить користувачам завантажувати та обробляти інформацію незалежно від виробника обладнання та формату файлу, значно підвищуючи гнучкість та ефективність роботи.

Таким чином, веб-додаток забезпечить універсальність, доступність і високий рівень автоматизації процесу візуалізації та обробки ультразвукових даних, що робить його унікальним рішенням на ринку програмного забезпечення для ультразвукової дефектоскопії.

## **Висновки до розділу 1**

У цьому розділі було проаналізовано основні методи та принципи ультразвукової дефектоскопії з акцентом на використання сучасних інформаційних технологій для обробки та візуалізації даних. Було визначено, що ультразвукові А-, В- та С-скани є ефективними інструментами для оцінки внутрішніх дефектів матеріалів та структур. Аналіз існуючих рішень продемонстрував необхідність уніфікації даних та розробки спеціалізованих програмних комплексів, здатних інтегрувати та обробляти інформацію з різних типів датчиків та обладнання.

Розробка веб-додатку для візуалізації ультразвукових даних, яка є метою даної магістерської дисертації, має велике значення для автоматизації та оптимізації процесів діагностики та контролю. Впровадження цього рішення дозволить значно підвищити точність, зменшити вплив людського фактора, а також забезпечити зручний доступ до даних та їх аналізу з будь-якої точки світу.

Проведений аналіз показав, що на ринку немає прямих аналогів такого рішення, що підтверджує актуальність та інноваційність обраної теми дослідження. Подальша розробка та впровадження запропонованої системи дозволить суттєво підвищити ефективність неруйнівного контролю, а також розширити можливості моніторингу об'єктів у режимі реального часу.



## **РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД АРХІТЕКТУРИ ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА**

У сучасному неруйнівному контролі та дефектоскопії важливо не тільки отримати інформацію про внутрішні властивості матеріалів, але й забезпечити доступну та ефективну візуалізацію цих даних для подальшого аналізу. Розробка веб-додатків для візуалізації А-, Б- та С-сканів, які надають користувачам гнучкі можливості обробки результатів контролю, сприяє значному підвищенню ефективності і точності ультразвукових досліджень. Цей розділ розглядає архітектурні аспекти веб-додатку, розробленого для інтеграції методів візуалізації даних ультразвукових сканів у зручну онлайн платформу, яка пропонує користувачам можливість завантажувати дані, здійснювати їх обробку та виводити результати на основі стандартних методик А- та Б-сканів.

У ході розробки було сформовано декілька ключових завдань: забезпечення універсальності додатку для роботи з різними форматами даних, створення інтуїтивного інтерфейсу для візуалізації, а також інтеграція майбутніх можливостей для підтримки С-сканів. Кожен із аспектів архітектури буде докладно розглянутий у наступних підрозділах, що стосуються структури компонентів, алгоритмів обробки та візуалізації даних.

## **2.1 Проектування архітектури з урахуванням масштабування та продуктивності**

В сучасній розробці веб-додатків, важливо притримуватись певних принципів і патернів, які дозволяють зробити додаток легким в масштабуванні, ефективним в обробці великих обсягів даних та забезпечити стабільну продуктивність незалежно від кількості запитів або обсягу даних. Проаналізувавши джерела [19-26] було сформовані наступні принципи які варто враховувати при розробці архітектури веб додатків:

### **Масштабованість**

Масштабованість - це показник того, як додавання ресурсів (зазвичай апаратних) впливає на ефективність та продуктивність. Масштабована система - це система, яка дозволяє додавати апаратне забезпечення і отримувати відповідне підвищення продуктивності, наприклад, подвоєння кількості сервісів, що обслуговуються.

Одним із ключових підходів для забезпечення масштабованості є розподіл системи на компоненти, які можуть працювати незалежно один від одного. Це дає змогу розгортати або оптимізувати лише окремі частини додатку не зачіпаючи всю систему.

### **Модульність та незалежність компонентів**

Для того щоб забезпечити модульність та незалежність компонентів, використовують техніку під назвою розшарування, яка має ряд важливих переваг:

1) Кожен рівень архітектури можна розглядати як самостійну одиницю, що дозволяє розуміти його роботу без глибокого занурення в деталі інших рівнів. У архітектурі розроблюваного додатку кожен рівень, такий як фронтенд, бекенд, або рівень обробки даних, виконує конкретну функцію, і його можна розглядати як окрему частину системи. Це дозволяє зосередитися на певній області додатку, наприклад, на обробці файлів або візуалізації даних, не вникаючи в деталі роботи інших рівнів, що спрощує аналіз і вдосконалення кожного окремого компонента.

2) Рівні легко замінити іншими реалізаціями. Кожен рівень архітектури може бути легко змінений або вдосконалений без значного впливу на інші

частини системи. Наприклад, обробку даних на бекенді можна модернізувати або замінити на іншу технологію, не змінюючи при цьому роботу інтерфейсу візуалізації.

3) Мінімізація залежностей між рівнями дозволяє легко адаптувати додаток до змін. Мінімізація залежностей між рівнями архітектури дозволяє системі функціонувати стабільно, навіть якщо один з рівнів буде вдосконалений або змінений. Наприклад, зміни в алгоритмах обробки даних на бекенді не вплинуть на функціональність та інтерактивність компонентів візуалізації.

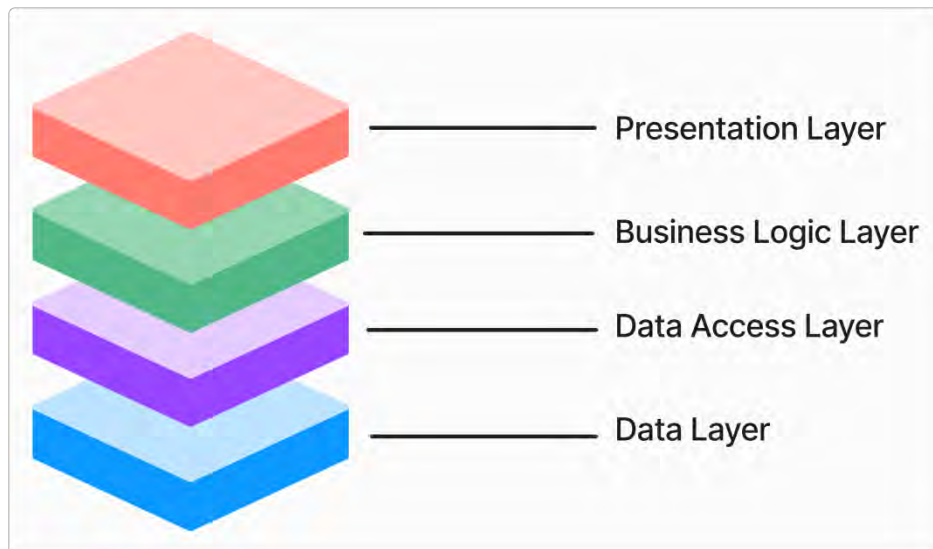
4) Стандартизація - Кожен рівень забезпечує стандартизовану функціональність, яка чітко визначає його роль в загальній системі. Це дозволяє легко вводити стандарти, такі як RESTful API для обміну даними, або узгоджену структуру форматів файлів.

5) Можливість повторного використання компонентів: Одного разу реалізовані компоненти можуть слугувати основою для інших частин системи. Наприклад, система обробки файлів, налаштована для CSV-формату, може бути легко адаптована для обробки JSON або XML.

### **Асинхронна обробка даних**

Принцип асинхронності передбачає, що основний процес не очікує на завершення виконання підзадач, а продовжує виконувати наступні дії. Це дозволяє серверу одночасно обробляти кілька запитів, зокрема відправляти та отримувати дані, виконувати розрахунки, оновлювати базу даних. Завдяки цьому основний процес не блокується під час очікування результатів від підзадач, а продовжує виконувати наступні дії, що забезпечує плавність і безперервність роботи.

В розроблюваному додатку де завантаження та обробка великих файлів можуть відбуватися на сервері одночасно із взаємодією користувача в інтерфесі цей підхід є дуже важливим, адже асинхронність дозволяє інтерфейсу користувача залишатися активним і готовим приймати нові запити, навіть коли основні дані для візуалізації ще обробляються.



*Рис. 2.1 Принцип розширення архітектури*

### **Single-page Application (SPA)**

Сучасний підхід – сайт, на якому користувач ніколи не переходить на інші HTML-сторінки. Інтерфейс, замість запиту HTML-документів з сервера, перемальовується на клієнті, на одній і тій самій сторінці, без перезавантаження.

Цей підхід є ідеальним вибором для обраної архітектури, адже він дозволяє завантажувати необхідну структуру додатку один раз, а подальші дії користувача обробляються без необхідності повторного завантаження сторінки. Це забезпечує плавну роботу інтерфейсу, адже користувач не відчуває затримок при переході між різними типами візуалізації або зміною параметрів.

SPA чудово підходить для роботи з динамічними даними, оскільки зберігає основний стан на фронтенді, що дозволяє швидко відображати оновлення даних. React, який є основою нашого SPA, дозволяє організувати гнучке керування станом компонентів, оновлюючи лише ті частини інтерфейсу, де це дійсно необхідно, і таким чином уникаючи зайвого рендерингу. Це забезпечує додатку стабільність і високий відгук, що є критичним у процесі візуалізації великих обсягів даних.

Завдяки SPA користувач отримує можливість працювати з даними в режимі реального часу, а візуалізація оновлюється майже миттєво після зміни параметрів, створюючи інтерактивне середовище, яке дозволяє оперативно реагувати на дії користувача. Це значно підвищує зручність використання додатку, дозволяючи

фахівцям швидко аналізувати дані й ухвалювати рішення на основі результатів візуалізації.

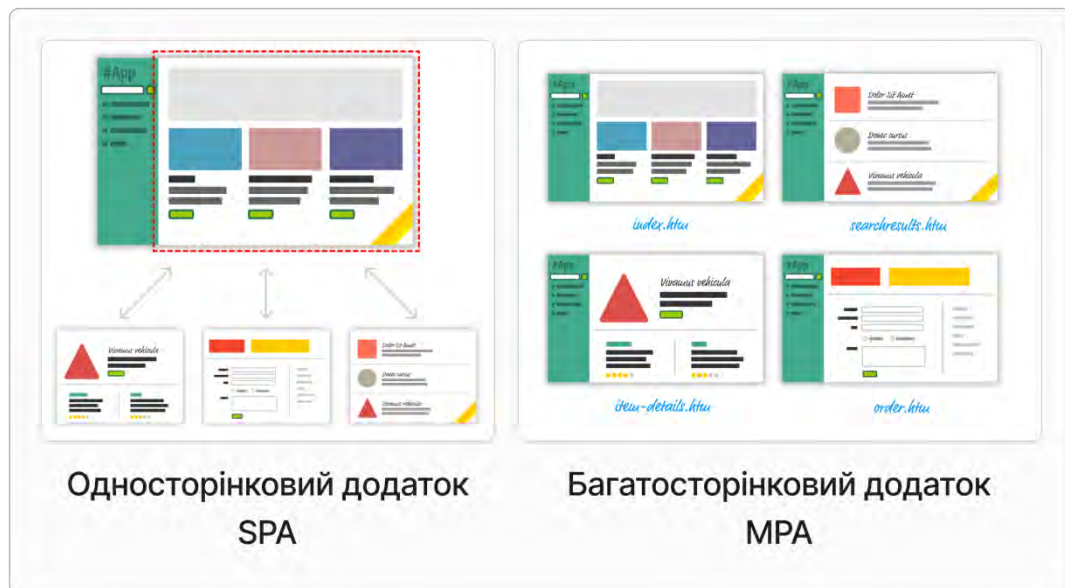


Рис 2.2 Різниця між Single page application та Multi page application

## 2.2 Обґрунтування обраної архітектури додатку

При розробці додатку для візуалізації даних ультразвукової дефектоскопії було важливо забезпечити стабільність, швидкодію та інтерактивність взаємодії користувача з даними. Для досягнення цієї мети архітектура побудована за принципом односторінкового додатку (SPA) з використанням ReactJS на фронтенді та Node.js з Express на бекенді.

Використання SPA-архітектури дозволяє мінімізувати час відгуку додатку та створює враження безперервної та плавної роботи, адже основні компоненти завантажуються один раз, а подальші оновлення відбуваються без перезавантаження сторінки. Це особливо актуально для інтерактивної роботи з графічними даними, що вимагає динамічного відображення й обробки великих обсягів інформації. У такій архітектурі саме ReactJS є оптимальним вибором для побудови гнучкого інтерфейсу, оскільки він дозволяє ефективно керувати станом додатку, забезпечуючи зручне оновлення окремих компонентів без впливу на загальну продуктивність.

На бекенді використано Node.js з Express як фреймворки для обробки HTTP-запитів і обробки файлів. Node.js, завдяки своїй асинхронній обробці, ефективно обробляє запити в реальному часі та дозволяє виконувати складні операції з даними, не створюючи великого навантаження на сервер. Так як додаток вимагає безперервного обміну інформації між фронтендом та бекендом таке рішення є особливо доречним.

Express надає структуровану основу для побудови RESTful API, що дозволяє організувати чітку логіку маршрутизації запитів, особливо при обробці завантажених файлів з даними. Це спрощує інтеграцію різних компонентів додатку та забезпечує гнучкість у подальшому масштабуванні функціональності, зокрема, для підтримки різних форматів файлів та їх попередньої обробки перед передачею на фронтенд для візуалізації.

Таким чином, комбінація SPA-архітектури на ReactJS та бекенду на Node.js з Express забезпечує оптимальне рішення для побудови стабільного, масштабованого та інтерактивного додатку, який відповідає вимогам сучасної роботи з даними ультразвукової дефектоскопії, дозволяючи розширювати функціонал без значних змін основної структури додатку.

### **2.3 Загальний огляд архітектури додатку та основні принципи взаємодії компонентів**

В основі архітектури веб-додатку лежить чітко структурована система взаємодії між компонентами. Усі компоненти в додатку підпорядковані принципу розділення обов'язків, де кожен компонент виконує свою функцію, що робить їх незалежними від інших частин системи, такий підхід використаний для підтримання високої гнучкості додатку та можливості його подальшого масштабування.

#### **Основні компоненти та їх роль**

1. Компоненти завантаження даних та налаштувань (FileUploadComponent, SettingsComponent): ці компоненти забезпечують можливість завантаження файлів

і налаштування параметрів візуалізації. Вони працюють у тісному зв'язку з бекендом, куди передають дані для подальшої обробки.

2. Node.js сервер: основний функціонал бекенду полягає в прийомі файлів, їх парсингу, валідації і нормалізації даних для підготовки до візуалізації. Взаємодія з фронтендом здійснюється через REST API, для підтримання асинхронного обміну файлами

3. Компоненти візуалізації (VisualizationAComponent, VisualizationBComponent): основна роль цих компонентів полягає у відображенні оброблених даних у вигляді графіків для А-скану та Б-скану. Вони динамічно реагують на зміни в стані додатку, автоматично оновлюючи відображення при завантаженні нових файлів або зміні налаштувань.

4. Головний компонент (App.js): App.js виконує роль центрального елемента управління, зберігаючи загальний стан додатку і координуючи обмін даними між усіма іншими компонентами.

## **2.4 Компоненти завантаження даних та налаштувань**

Компоненти завантаження даних і налаштувань виконують первинну обробку інформації від користувача, та надають можливість гнучкого налаштування параметрів візуалізації.

Компонент FileUploadComponent виступає в ролі інтерфейсу для завантаження файлів, дозволяючи користувачеві вибирати файл з локального пристрою і надсилати його для подальшої обробки. Після вибору файлу він проходить такі етапи обробки:

1. Попередня валідація файлу на фронтенді: перед відправкою файлу на сервер компонент перевіряє, формат файлу на відповідність підтримуваним параметрам, наприклад, чи це CSV-файл. І в разі не відповідності повідомляє користувача, це дозволяє уникнути помилок на стороні серверу.

2. Відправка файлу на бекенд через HTTP-запит: використовуючи асинхронний запит, компонент передає файл на сервер для обробки, де вже проводиться парсинг, перевірки і підготовка даних для візуалізації.

3. Отримання відповіді від сервера: після обробки сервер повертає структуру даних, готову до візуалізації. Компонент отримує ці дані і готує їх для відображення у відповідному компоненті візуалізації (`VisualizationAComponent` або `VisualizationBComponent`).

Дані, які повертаються з бекенду після обробки файлів, мають структуру, оптимізовану для візуалізації, що мінімізує необхідність додаткових перетворень на фронтенді. Структура даних включає параметри сканів, такі як час, амплітуда та глибина. В свою чергу дані повертаються у вигляді об'єкту який вже обробляється бібліотекою для візуалізації.

## **2.5 Архітектура серверу який відповідає за обробку та парсинг файлів**

Архітектура сервера, побудована з урахуванням можливості обробки великих обсягів даних та необхідності забезпечення швидкої відповіді на запити, що відповідає принципам описаних в джерелах [27-30]. Сервер виконує роль основного обробника вхідних файлів та генератора структурованих даних, готових для візуалізації.

Основою серверної архітектури є фреймворк `Node.js`, він був обраний через надання можливості працювати з обробкою файлів асинхронно та через високу продуктивність у роботі з великою кількістю запитів. Взаємодія з фронтендом здійснюється через `RESTful API`, що дозволяє організувати зручний і надійний обмін даними. Сервер складається з кількох ключових модулів:

### **Модуль прийому файлів та попередньої валідації**

Після отримання запиту на завантаження файлу цей модуль виконує першу перевірку на коректність типу файлу та основних параметрів структури. Попередня валідація дає змогу швидко відсіяти файли, які не відповідають вимогам формату, зокрема, ті, що не мають обов'язкових полів, таких як `Time`, `CH1_Voltage` і `CH2_Voltage`.

### **Модуль парсингу файлів**

Залежно від типу скану (А-скан або Б-скан) модуль парсингу запускає відповідний алгоритм обробки даних. Цей модуль підтримує парсинг `CSV`, `JSON`



та XML файлів, що дозволяє працювати з різними форматами даних. Алгоритм обробки включає:

- Ідентифікацію формату файлу (CSV, JSON, XML).
- Рекурсивний обхід елементів для отримання вкладених даних, якщо файл у форматі JSON або XML.
- Формування стандартизованого вихідного формату, що дозволяє передавати дані у правильному вигляді.

Кожен тип скану обробляється окремим підмодулем, оптимізованим для конкретної структури даних: А-скан парситься у вигляді масиву об'єктів значень часу та амплітуд, а Б-скан організовується у форматі об'єкта з позицією зонду як ключем, в яких вкладені масивами амплітуд для кожного значення часу.

### **Модуль нормалізації даних**

Після парсингу вхідні дані проходять етап нормалізації. Модуль нормалізації гарантує, що всі значення будуть приведені до стандартних одиниць виміру, а також очищені від можливих помилок, таких як пропущені значення.

### **Модуль управління станом та асинхронною обробкою**

Для забезпечення швидкої роботи серверу всі запити на обробку файлів виконуються в асинхронному режимі. Модуль управління станом зберігає інформацію про кожен поточний запит, зокрема його статус та прогрес обробки, що дозволяє керувати великим потоком запитів одночасно, не блокуючи основну логіку сервера.

### **API для обміну даними з фронтендом**

RESTful API розроблений для забезпечення чіткого інтерфейсу для запитів з фронтенду, дозволяючи асинхронно надсилати файли на сервер та отримувати оброблені дані у структурованому вигляді. API підтримує методи для:

- Завантаження файлів.
- Запиту оброблених даних для візуалізації.
- Запиту статусу обробки для довготривалих операцій, таких як парсинг великих файлів.

### **Потенційні модулі для майбутнього розширення**

З огляду на можливості подальшого розвитку додатку, архітектура сервера передбачає легке масштабування. Серед запланованих функцій — додавання підтримки С-скану, а також розширення модулів парсингу для роботи з новими форматами файлів. Додатково можливе впровадження модуля для обробки метаданих файлів, що дозволить автоматично адаптувати візуалізацію під конкретні параметри кожного типу скану.

Загалом, архітектура сервера зосереджена на забезпеченні максимальної гнучкості для користувача, ефективному управлінні великими обсягами даних та підтримці можливостей для подальшого масштабування, що робить її надійною основою для обробки та візуалізації складних ультразвукових даних.

## 2.7 Архітектура компонентів візуалізації

Для кожного типу скану був створений окремий компонент для візуалізації. Їх архітектура побудовано з врахуванням необхідності ефективного та наочного відображення ультразвукових даних.

За візуалізацію А-скану відповідає *VisualizationAComponent*

Компонент отримує оброблені дані від сервера у вигляді масиву об'єктів, кожен з яких містить час проходження сигналу (time) та амплітуди каналів (ch1 та ch2). Для забезпечення високої якості графіки та точності відображення кожне значення даних ретельно перевіряється, після чого компонент виконує додаткову нормалізацію амплітуд для коректного відображення на графіку.

Графік генерується з використанням бібліотеки *react-plotly.js* для візуалізації, де для кожного значення часу будується відповідна точка амплітуди. Завдяки можливостям бібліотеки, компонент візуалізації забезпечує інтерполяцію даних та гнучкі налаштування осей, що дозволяє користувачу масштабувати графік для детального аналізу.

Компонент включає інтерактивні елементи, такі як курсор, що відображає координати на графіку та дозволяє користувачу швидко орієнтуватися в даних. Це дозволяє не тільки переглядати графік, але й отримувати детальні значення амплітуди в конкретних точках.

За візуалізацію Б-скану відповідає *VisualizationBComponent*

Для побудови Б-скану компонент отримує від сервера об'єкт, де кожна позиція зонда є ключем, що містить масиви амплітуд для кожного значення часу. Перед побудовою графіка компонент перевіряє дані на наявність пропущених значень та нормалізує амплітуди, забезпечуючи відповідність масштабу відображення для всіх позицій.

Компонент використовує кольорову шкалу для відображення різних рівнів амплітуди, що дозволяє отримати контрастне зображення перетину об'єкта. Завдяки цьому на графіку чітко видно дефекти, неоднорідності та інші внутрішні особливості структури матеріалу.

Для забезпечення гнучкості аналізу компонент дозволяє користувачу налаштовувати масштаб, вибирати окремі секції графіка та деталізувати певні області для глибшого дослідження. Додатково передбачено автоматичне підлаштування кольорової гами залежно від рівня амплітуд, що покращує сприйняття і дозволяє інженерам швидко визначати зону дефекту.

## **2.8 Архітектура головного компонента App.js**

Головний компонент призначений для координування роботи додатку, керуванням станом всього додатку та компонентів і передачі даних між компонентами, а також для оптимізації роботи із великими обсягами даних. Даний компонент являється місцем де відбувається централізоване управління всіма процесами включаючи вибір типу візуалізації, обробку стану і передачу оброблених даних до дочірніх компонентів.

Основна функція App.js полягає в тому, щоб організувати безперервний обмін даними між усіма дочірніми компонентами додатку. App.js приймає дані, отримані з сервера після обробки файлів, і залежно від вибраного типу візуалізації передає ці дані до відповідних компонентів. Передача даних реалізована за допомогою пропсів, що дозволяє App.js підтримувати актуальний стан для кожного компонента, який відповідає за конкретний тип візуалізації.

Завдяки централізованому зберіганню стану в App.js, зміни у стані даних або налаштувань миттєво передаються до дочірніх компонентів візуалізації (наприклад, VisualizationAComponent та VisualizationBComponent), що забезпечує автоматичне оновлення графіків при кожній зміні параметрів.

App.js зберігає основний стан додатку, який включає вибір типу візуалізації (А-скан, Б-скан або С-скан). Цей стан визначає, який саме компонент візуалізації буде рендеритись, тим самим забезпечуючи ефективний вибір та відображення даних.

Для управління станом і зберігання даних App.js використовує хук useState, який забезпечує просте і гнучке збереження стану додатку. useState дозволяє зберігати дані, отримані після обробки файлів, а також параметри візуалізації, встановлені користувачем. Наприклад, при завантаженні файлу стан даних оновлюється, і App.js передає їх дочірнім компонентам, які відповідають за відповідний тип візуалізації.

Завдяки useState додаток може динамічно оновлювати відображення компонентів без потреби у перезавантаженні сторінки. Коли користувач змінює тип візуалізації або завантажує новий файл, стан даних та налаштувань автоматично оновлюється в App.js, що запускає ререндер відповідного компонента візуалізації. Цей підхід забезпечує плавність та інтерактивність в роботі, дозволяючи користувачам миттєво бачити зміни у графіках.

Збереження історії та обробка великих даних: useState також дозволяє зберігати різні версії даних, що може бути корисним для перегляду історії завантажених файлів або результатів обробки. Це надає користувачу гнучкість у роботі з даними, дозволяючи зручно перемикатися між різними версіями файлів.

### **Потенційні покращення для роботи з великими даними**

Робота з великими даними є критичним аспектом додатку, оскільки обробка великих файлів може призводити до затримок або проблем з продуктивністю. Щоб уникнути цих проблем, можна застосувати такі покращення:

- Алгоритм поділу даних на блоки: При завантаженні великих файлів App.js може застосовувати метод «поділу на блоки», який розбиває вхідні дані на менші сегменти. Кожен сегмент обробляється і відображається окремо, з можливістю поступової побудови графіка. Таке рішення значно зменшить час обробки та побудови графіку, адже візуалізація і обробка даних відбувається одночасно.
- Асинхронне завантаження даних: Для великих обсягів даних App.js може використовувати асинхронний підхід завантаження частинами, при якому дані надходять у додаток поступово. Наприклад, перший запит завантажує тільки початкову частину файлу, яка передається компонентам для первинної візуалізації, а наступні частини завантажуються вже за наступним запитом. Такий підхід також позитивно вплине на роботу серверу зменшуючи навантаження.
- Механізм кешування: Щоб уникнути повторного завантаження та обробки даних, App.js може реалізувати механізм кешування, що зберігає оброблені дані в пам'яті для швидкого доступу.

Отже, компонент App.js виступає центральним елементом, який забезпечує функціональність і стабільність роботи додатку, інтегруючи всі його частини в узгоджену структуру. Використання useState для керування станом, а також впровадження рішень для оптимізації обробки великих обсягів даних створюють надійну базу для інтерактивної та ефективної роботи з результатами ультразвукової дефектоскопії, гарантуючи користувачу плавний і точний процес візуалізації.

## Висновки до розділу 2

У даному розділі було детально проаналізовано архітектуру веб-додатку для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Було обґрунтовано вибір архітектурних рішень з урахуванням принципів масштабованості та продуктивності. Застосування односторінкової архітектури (SPA) з використанням ReactJS на фронтенді та Node.js з Express на бекенді дозволило забезпечити плавну та інтерактивну роботу додатку без перезавантаження сторінок.

Розглянуто основні компоненти системи, зокрема компоненти завантаження даних та налаштувань, серверну частину, що відповідає за обробку та парсинг файлів, а також компоненти візуалізації А- та Б-сканів. Детально описано архітектуру сервера, який забезпечує асинхронну обробку запитів та підтримку різних форматів файлів, таких як CSV, JSON та XML.

Особливу увагу приділено головному компоненту App.js, який виконує роль центрального елемента управління додатком. Він координує обмін даними між компонентами, зберігає стан додатку та забезпечує динамічне оновлення візуалізації при зміні параметрів або завантаженні нових даних.

Також було розглянуто архітектуру компонентів візуалізації, які використовують бібліотеку react-plotly.js для відображення графіків та забезпечення інтерактивності. Використання цих компонентів дозволило реалізувати інструменти для детального аналізу даних, такі як масштабування, навігація та відображення координат на графіку.

Завдяки застосуванню сучасних технологій та принципів проектування вдалося створити стабільний, масштабований та ефективний веб-додаток для візуалізації ультразвукових даних.

## РОЗДІЛ 3 ОПИС ОСНОВНИХ АЛГОРИТМІВ ДОДАТКУ

### 3.1 Структурна схема роботи додатку

*Надається за звернення до авторів*

*Рис. 3.1 Структурна схема роботи додатку*

Синхронізація компонентів веб-додатку починається з налаштування параметрів, які задає користувач за допомогою компонента SC – Setting Component (1). Цей компонент дозволяє визначити параметри, необхідні для коректної роботи додатку, та передає їх до компонента FUC – File Upload Component (2). На цьому етапі здійснюється завантаження файлу та перевірка його формату (CSV, JSON, XML). У разі виявлення помилок або невідповідності формату, користувачу виводиться повідомлення, і подальша обробка припиняється.

Файл передається до СМПФ – серверного модуля прийому файлів (3), який приймає дані та передає їх у СМВ – серверний модуль валідації (4). На цьому етапі відбувається перевірка структури даних файлу: наявності обов'язкових параметрів для візуалізації А-скану (Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage) або Б-скану (Position, Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage). У разі відсутності необхідних параметрів алгоритм генерує повідомлення про помилку, яке надсилається користувачу.

Результати графіків можуть бути додатково збережені у базі даних - 10 для забезпечення доступу до даних які були завантажені раніше або для подальшого аналізу даних які були завантажені в поточній сесії. Всі компоненти додатку працюють у синхронізованій взаємодії, що забезпечує стабільність та високу продуктивність системи.

## 3.2 Алгоритм обробки та парсингу файлів

*Надається за звернення до авторів*

*Рис. 3.2 Алгоритм обробки та парсингу даних*

### 1. Завантаження файлу

Користувач завантажує файл за допомогою інтерфейсу який надає FileUploadComponent. На цьому етапі здійснюється перевірка формату файлу (CSV, JSON, XML). У разі невідповідності формату, користувач отримує повідомлення про помилку, і алгоритм завершує свою роботу.

### 1. Первинний аналіз структури даних

Файл відкривається для аналізу його структури. Для CSV файлів перевіряються заголовки колонок, для JSON — ключі об'єктів, а для XML — теги. Алгоритм визначає наявність обов'язкових параметрів:

- Для А-скану: Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage.
- Для Б-скану: Position, Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage. У разі відсутності хоча б одного з ключових параметрів, користувачу надсилається повідомлення про неможливість обробки файлу.

### 2. Перевірка та обробка вкладених структур

У випадку наявності вкладеностей, в JSON та XML файлах алгоритм здійснює рекурсивний обхід всіх рівнів структури для пошуку потрібних параметрів. На кожному рівні перевіряється відповідність значень очікуваному формату, а саме чи мають дані числовий тип, та відсутність пропусків.

### 3. Обробка даних для А-скану

- Ініціалізація масиву об'єктів.
- Для кожного рядка зчитуються значення Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage.
- Дані конвертуються в стандартні одиниці вимірювання
- Перевіряються пропущені значення. Якщо перевірка спрацює, то рядок на якому вона спрацювала видаляється
- В результаті отримуємо масив наступного вигляду:

[



```
{ "time": 0, "ch1": -0.0197, "ch2": -0.0159 },  
{ "time": 0.02, "ch1": 0.3567, "ch2": 0.2810 }  
]
```

#### 4. Обробка даних для Б-скану

- Ініціалізується об'єкт, де ключами є унікальні значення Position.
- Для кожного рядка перевіряються Position, Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage.
- Якщо значення Position відсутнє в об'єкті, створюється новий ключ із порожнім масивом.
- До масиву відповідної позиції додаються значення CH1\_Voltage і CH2\_Voltage.
- Видаляються записи із пропущеними значеннями.
- Результат обробки виглядає так:

```
{  
  "9": [-0.0047, 0.2671, 0.4749],  
  "10": [0.2841, 0.5154, 0.5168]  
}
```

#### 5. Нормалізація даних

Після обробки всі числові значення перевіряються на відповідність діапазонам, прийнятним для візуалізації. Якщо знайдено значення яке не входить в діапазон - дані масштабуються або видаляються.

#### 6. Формування результату

У випадку успішної обробки користувач отримує підтвердження про готовність файлу для візуалізації.

- Для А-скану алгоритм повертає масив об'єктів.
- Для Б-скану — об'єкт із масивами напруг для кожної позиції.

### 3.3 Алгоритми конвертації файлів різних форматів

Сучасні ультразвукові дефектоскопи можуть експортувати дані у різних форматах, реалізація функції для їх конвертації дозволить додатку охопити більше груп користувачів. Основною ідеєю конвертації є приведення файлів до єдиної структури, що дозволить проводити візуалізацію користувачам з різними форматами файлів, такими як CSV, JSON та XML.

#### 3.3.1 Алгоритм конвертації CSV-файлів А-скану та Б-скану

*Надається за звернення до авторів*

*Рис. 3.3 Алгоритм конвертації CSV-файлів А-скану та Б-скану*

##### 1. Завантаження файлу та первинний аналіз:

Після завантаження файлу користувачем програма читає перший рядок для визначення заголовків колонок.

- Необхідні колонки для А-скану: *Time ( $\mu s$ )*, *CH1\_Voltage (mV)*, *CH2\_Voltage (mV)*.
- Необхідні колонки для Б-скану: *Position (mm)*, *Time ( $\mu s$ )*, *CH1\_Voltage (mV)*, *CH2\_Voltage (mV)*.

##### 2. Вибір відповідного методу обробки:

На основі аналізу заголовків визначається, чи файл є даними для А-скану чи Б-скану. Якщо структура заголовків не відповідає жодному з цих форматів, то виводимо користувачу повідомлення про помилку та завершуємо процес.

##### 3. Конвертація А-скану:

Створюється масив об'єктів де кожен об'єкт містить три ключі: *time*, *ch1*, *ch2*. Далі проходимося циклом по кожному рядку починаючи з другого, аже перший містить інформацію про заголовки та зчитуємо значення для колонок *Time ( $\mu s$ )*, *CH1\_Voltage (mV)*, *CH2\_Voltage (mV)* Та додаємо об'єкт у масив конвертуючи їх за потреби в стандартні одиниці вимірювання.

На цьому етапі відбувається додаткова валідація даних, вся рядки перевіряються на наявність пропущених значень, після чого якщо такий рядок

було знайдено він видаляється, для того, щоб уникнути помилок під час візуалізації.

Після валідації повертаємо масив об'єктів у форматі:

```
[  
  { time: 0, ch1: -0.019722294124861584, ch2: -0.01591043359097907 },  
  { time: 0.02, ch1: 0.3566827679762247, ch2: 0.28099344737298065 },  
]
```

#### 4. Конвертація Б-скану:

Створюється об'єкт, де кожна позиція з колонки Position (mm) виступатиме як ключ. Кожному ключу-значенню позиції відповідатиме масив амплітуд, де кожен елемент масиву – це значення CH1\_Voltage (mV) та CH2\_Voltage (mV) на кожен часовий інтервал Time ( $\mu$ s).

Для кожного рядка зчитуються значення Position (mm), Time ( $\mu$ s), CH1\_Voltage (mV), CH2\_Voltage (mV). Якщо значення позиції ще не присутнє як ключ у об'єкті, створити новий ключ з пустим масивом значень напруги.

Додаємо поточні значення CH1\_Voltage (mV) і CH2\_Voltage (mV) до масиву, асоційованого з відповідною позицією.

На цьому етапі відбувається додаткова валідація даних, вся рядки перевіряються на наявність пропущених значень, після чого якщо такий рядок було знайдено він видаляється, для того, щоб уникнути помилок під час візуалізації.

Після валідації повертаємо об'єкт у форматі:

```
{  
  '9': [ -0.0047379604159323895, 0.26714449303743804,  
0.4749208556201277... ],  
  '10': [0.2840650490395264, 0.5154226839341081, 0.5167830009115434...],  
}
```

### 3.3.2 Алгоритм конфертації JSON-фалів А-скану та Б-скану

*Надається за звернення до авторів*

*Рис. 3.4 Алгоритм конфертації JSON-фалів А-скану та Б-скану*

1. Після завантаження JSON файлу на бекенд, система перевіряє структуру об'єкта JSON. Алгоритм шукає ключові параметри, такі як *time*, *CH1\_Voltage*, *CH2\_Voltage* для А-скану або *position*, *time*, *CH1\_Voltage*, *CH2\_Voltage* для Б-скану. У разі виявлення додаткових вкладених структур або масивів, алгоритм проходить рекурсивну перевірку, що дозволяє обробляти багаторівневу вкладеність JSON файлу.

2. Якщо файл містить параметри для А-скану, створюється масив об'єктів із трьома ключами: *time*, *ch1*, *ch2*. Якщо файл містить параметри для Б-скану, створюється об'єкт, де кожна унікальна *position* стає ключем, а значенням буде масив із значень напруг (*CH1\_Voltage*, *CH2\_Voltage*) на кожний часовий інтервал.

3. Алгоритм обробляє масив об'єктів, перевіряючи наявність ключів *time*, *CH1\_Voltage*, *CH2\_Voltage* в кожному об'єкті. Витягує ці значення та формує новий масив об'єктів, де кожен об'єкт має структуру:

```
[  
  { time: 0, ch1: -0.019722294124861584, ch2: -0.01591043359097907 },  
  { time: 0.02, ch1: 0.3566827679762247, ch2: 0.28099344737298065 },  
]
```

Якщо файл містить зайві параметри, вони ігноруються, а рядки з пропущеними значеннями видаляються.

4. Для Б-скану алгоритм створює об'єкт, де кожен унікальний *position* виступає як ключ. Для кожного *position*, значеннями ключів стає масив із значень *CH1\_Voltage* і *CH2\_Voltage* для кожного значення часу *time*:

```
{  
  '9': [ -0.0047379604159323895, 0.26714449303743804,  
        0.4749208556201277... ],
```

'10': [0.2840650490395264, 0.5154226839341081, 0.5167830009115434...],  
}

### 3.3.3 Алгоритм конфертації XML-фалів А-скану та Б-скану

*Надається за звернення до авторів*

*Рис. 3.5 Алгоритм конфертації XML-фалів А-скану та Б-скану*

1. За допомогою бібліотеки для аналізу та обробки XML система перевіряє теги на наявність основних параметрів: Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage для А-скану та Position, Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage для Б-скану. У випадку, коли значення знаходяться у вкладених тегах, алгоритм виконує рекурсивний обхід елементів для отримання потрібних значень.

2. Алгоритм шукає всі елементи з тегами Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage. Створюється масив об'єктів, де кожен об'єкт представляє один запис із даними про час і напругу на кожному каналі:

```
[  
  { time: 0, ch1: -0.019722294124861584, ch2: -0.01591043359097907 },  
  { time: 0.02, ch1: 0.3566827679762247, ch2: 0.28099344737298065 },  
]
```

3. Для Б-скану алгоритм створює об'єкт, де кожна унікальна позиція (Position) стає ключем, а значенням стає масив напруг для значень часу Time. Для кожного елемента Position формуємо масив значень CH1\_Voltage і CH2\_Voltage, отримуючи наступну структуру:

```
{  
  '9': [-0.0047379604159323895, 0.26714449303743804,  
0.4749208556201277...],  
  '10': [0.2840650490395264, 0.5154226839341081, 0.5167830009115434...],  
}
```

Алгоритм перевіряє всі значення на відповідність вимогам формату: наявність значень часу, напруги та позиції для кожного запису. Неповні записи видаляються, щоб уникнути помилок при візуалізації.



### 3.4 Алгоритм візуалізації А-скану

*Надається за звернення до авторів*

*Рис. 3.6 Алгоритм візуалізації А-скану*

Алгоритм візуалізації для А-скану починається з отримання підготовленого масиву даних, який формується у попередніх етапах обробки та нормалізації файлу. Масив даних має наступну структуру: кожен об'єкт містить ключі *time*, *ch1*, *ch2*, що відповідають часу, який пройшла ультразвукова хвиля та рівням напруги на двох каналах.

#### 1. Ініціалізація параметрів графіку.

На початковому етапі алгоритм встановлює основні параметри для побудови графіку. А саме:

- Межі осей X та Y, які залежать від мінімальних та максимальних значень у колонках *time*, *ch1*, *ch2*.
- Точність поділки осей для забезпечення коректного масштабу.
- Колірні схеми та стилі ліній для кожного каналу (CH1 та CH2).

#### 2. Формування набору точок для побудови.

Алгоритм проходить по кожному об'єкту масиву даних і створює два окремі масиви точок для кожного каналу:

- Для CH1 формуються точки, де координатами є значення *time* (по осі X) та *ch1* (по осі Y).
- Для CH2 формуються точки, де координатами є значення *time* (по осі X) та *ch2* (по осі Y).

#### 3. Побудова сітки графіку.

Перед виведенням даних алгоритм створює координатну сітку:

- Відображаються підписи осей, включаючи одиниці вимірювання: *Time* ( $\mu\text{s}$ ) для осі X та *Voltage* (mV) для осі Y.
- Наноситься сітка для зручності візуального аналізу, де кожен інтервал відповідає заданій точності поділки.



#### 4. Візуалізація кривих каналів.

На основі підготовлених масивів точок для кожного каналу відображаються криві:

- Крива CH1 має заданий колір і форму лінії (наприклад, суцільну).
- Крива CH2 відображається іншою кольоровою схемою для відокремлення значень одного каналу від іншого.
- Криві накладаються одна на одну в межах спільної координатної сітки.

#### 5. Додавання інформативних елементів.

Для підвищення інформативності графіку додаються наступні елементи:

- Легенда, яка пояснює, який канал відповідає кожній кривій.
- Заголовок графіку із зазначенням, що це візуалізація А-скану.
- Додаткові маркери на важливих точках (наприклад, максимуми та мінімуми напруг).

#### 6. Остання перевірка даних.

Алгоритм здійснює фінальну перевірку: чи всі точки графіку відображаються у межах визначених осей. У разі виявлення виходу значень за межі діапазону здійснюється масштабування осей.

#### 7. Відображення графіку.

Готовий графік передається у фронтенд, де він виводиться у компоненті VisualizationComponent. Користувач отримує інтерактивний графік, який дозволяє аналізувати амплітуду сигналу відповідно часу для кожного каналу.

### 3.5 Алгоритм візуалізації для Б-скану

*Надається за звернення до авторів*

*Рис. 3.7 Алгоритм візуалізації Б-скану*

Алгоритм візуалізації для Б-скану розпочинається з отримання об'єкта даних, який містить структуру, де ключами є унікальні значення позиції (Position), а значеннями – масиви напруг для кожного часового інтервалу. Ці дані формуються на попередніх етапах обробки та нормалізації файлу.

#### 1. Ініціалізація параметрів графіку.

На першому етапі алгоритм визначає базові параметри для побудови графіку:

- Встановлюються межі осей: X – для позицій (Position), Y – для часу (Time).
- Визначається колірна шкала для амплітуд напруги (Voltage), де різні відтінки відповідають інтенсивності сигналу.
- Задаються точність поділки для кожної осі та стилі візуалізації.

#### 2. Формування координатної сітки.

Алгоритм генерує сітку графіку, яка відображає розподіл позицій (по осі X) і часу (по осі Y). Підписи на осях містять одиниці вимірювання: Position (mm) та Time ( $\mu$ s).

#### 3. Розрахунок кольорової шкали.

На основі мінімальних і максимальних значень амплітуди напруги (CH1\_Voltage, CH2\_Voltage) визначається колірна шкала. Ця шкала лінійно відображає інтенсивність сигналу: від найнижчих значень до пікових.

#### 4. Побудова матриці інтенсивності сигналів.

Алгоритм проходить по кожному ключу (Position) та формує матрицю інтенсивності:

- Для кожної позиції (ключа) створюється масив, де кожен елемент відповідає амплітудам напруги для відповідного часового інтервалу.
- Кожен елемент матриці отримує свій колір на основі раніше розрахованої шкали інтенсивності.

## 5. Візуалізація матриці на графіку.

На основі сформованої матриці інтенсивності алгоритм будує кольорову карту:

- Вісь X відповідає позиціям датчика, вісь Y – часовим інтервалам.
- Кожен блок на карті має колір, який відповідає інтенсивності сигналу.

## 6. Додавання інформаційних елементів.

Для забезпечення зручності аналізу до графіку додаються:

- Заголовок із зазначенням, що це візуалізація Б-скану.
- Колірна легенда, яка пояснює значення інтенсивності сигналу.
- Підписи осей із відповідними одиницями вимірювання.

## 7. Перевірка коректності графіку.

Перед передачею графіку у фронтенд здійснюється перевірка:

- Чи всі дані відображені у межах графіку.
- Чи відповідає колірна шкала реальним значенням амплітуд.

## 8. Відображення графіку.

Готовий графік передається у компонент `VisualizationComponent`, де користувач отримує інтерактивний графік, що дозволяє детально аналізувати розподіл сигналів по позиціях і часу.

### **Висновки до розділу 3**

У цьому розділі було детально описано основні алгоритми роботи веб-додатку для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Розроблено структурну схему додатку, яка забезпечує ефективну взаємодію між усіма його компонентами, включаючи модулі завантаження файлів, обробки та парсингу даних, а також компоненти візуалізації.

Алгоритм обробки та парсингу файлів розглянуто з урахуванням підтримки різних форматів даних, таких як CSV, JSON та XML. Було запропоновано методи конвертації файлів цих форматів до уніфікованої структури, що дозволяє забезпечити універсальність додатку та зручність для користувачів з різними джерелами даних. Це значно розширює можливості додатку та підвищує його гнучкість у роботі з різними типами вхідних даних.

Розроблено алгоритми візуалізації для А-скану та Б-скану, які забезпечують наочне та інформативне відображення результатів ультразвукових досліджень.

Алгоритм візуалізації А-скану дозволяє відображати залежність амплітуди сигналу від часу, що сприяє детальному аналізу характеристик сигналу. Алгоритм візуалізації Б-скану передбачає побудову двовимірної кольорової карти інтенсивності сигналу, що дає можливість виявляти внутрішні дефекти та неоднорідності в матеріалах.

Завдяки розробленим алгоритмам та структурі додатку вдалося створити ефективний інструмент для візуалізації та аналізу даних ультразвукової дефектоскопії. Запропоновані рішення забезпечують високу продуктивність та зручність, а також створюють основу для його подальшого розвитку та вдосконалення.

## РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНИЙ ДОСЛІД

Реалізація на практиці - це ключовий етап для оцінки ефективності запропонованих рішень та перевірки їх відповідності поставленим вимогам. Цей розділ присвячено аналізу виконаних етапів розробки додатку, а також представленню результатів впровадження окремих функціональних модулів веб додатку для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів.

Особлива увага приділена реалізованим функціям і те як вони відповідають поставленим завданням, а також чи забезпечують вони необхідну точність, надійність обробки та візуалізації даних. Структура розділу побудована таким чином, щоб наочно продемонструвати кожен етап реалізації, включаючи інтеграцію ключових алгоритмів, взаємодію між компонентами додатку та кінцеву візуалізацію отриманих даних. Результати такого дослідження дозволяють оцінити переваги та недоліки додатку, а також виявити потенційні напрями для подальшого вдосконалення.

### 4.1 Реалізовані функції веб-додатку

#### 1. Завантаження файлів

Функція завантаження реалізована за допомогою компонента `FileUploadComponent`. Користувач отримує можливість обрати файл формату CSV, JSON або XML через зручний інтерфейс. На етапі завантаження виконується первинна перевірка формату файлу для уникнення помилок у подальшій обробці.

У разі невідповідності формату система виводить повідомлення про помилку та завершує процес завантаження.

#### 2. Валідація та аналіз структури файлів

На сервері реалізовано функцію валідації, яка аналізує структуру завантаженого файлу. Для кожного формату визначаються ключові параметри:

- Для А-скану: `Time`, `CH1_Voltage`, `CH2_Voltage`.
- Для Б-скану: `Position`, `Time`, `CH1_Voltage`, `CH2_Voltage`.

У разі відсутності хоча б одного з цих параметрів користувач отримує відповідне повідомлення, і процес обробки припиняється.

### 3. Парсинг файлів

Після успішної валідації дані обробляються за допомогою серверного модуля парсингу. Реалізовані алгоритми забезпечують формування масиву об'єктів для А-скану та об'єкта з даними для Б-скану.

Для А-скану формуються об'єкти у форматі:

```
[  
  { "time": 0, "ch1": -0.0197, "ch2": -0.0159 },  
  { "time": 0.02, "ch1": 0.3567, "ch2": 0.2810 }  
]
```

Для Б-скану формується об'єкт наступної структури:

```
{  
  "9": [-0.0047, 0.2671, 0.4749...],  
  "10": [0.2841, 0.5154, 0.5168...]  
}
```

### 4. Побудова графіків А-скану

Функція візуалізації А-скану реалізована у VisualizationAComponent. Графік будується на основі масиву об'єктів, які відображають залежність амплітуд сигналів CH1 та CH2 від часу. Компонент надає можливість інтерактивно аналізувати отримані графіки за допомогою активного вказівника

### 5. Побудова графіків Б-скану

Візуалізація Б-скану здійснюється у VisualizationBComponent. Дані передаються у вигляді об'єкта з амплітудами сигналів для кожної позиції, після чого формується кольорова карта. Це дозволяє наочно оцінити розподіл сигналів у залежності від позиції та часу. Також компонент надає можливість масштабування графіку, та інших інструментів для зручного аналізу

### 6. Інтерактивність інтерфейсу

Реалізований інтерфейс забезпечує зручну взаємодію користувача з додатком. Усі етапи – від завантаження файлів до візуалізації даних – супроводжуються повідомленнями про статус виконання, що значно підвищує

комфорт користувача під час роботи з додатком, та відповідає всім принципам User Experience.

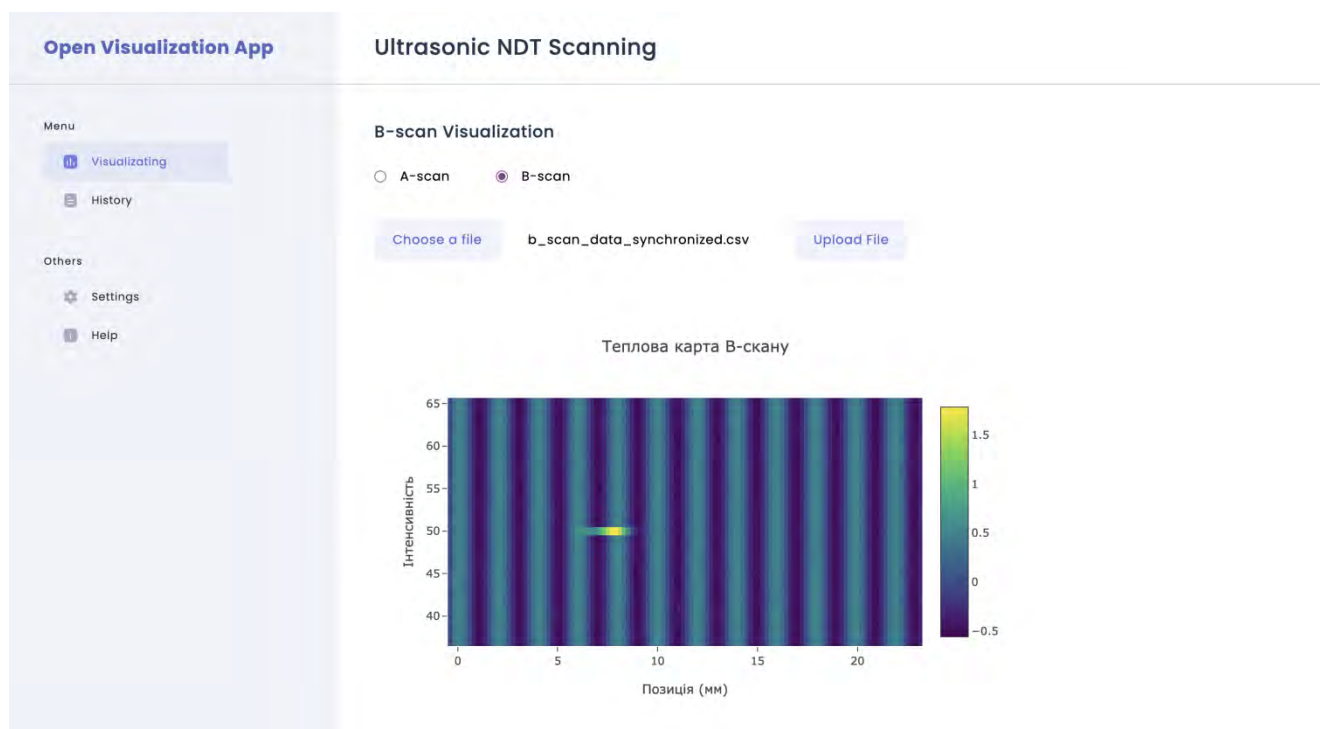


Рис 4.1 Інтерфейс веб додатку

## 4.2 Методика проведення дослідів

Для оцінки роботи веб-додатку для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів був розроблений послідовний тестовий сценарій, який охоплює всі реалізовані функції. [31] Основна увага зосереджена на перевірці та тестуванню ключових функцій додатку такий як завантаження та валідація файлів, а також коректність побудови графіків А-скану та Б-скану.

### 1. Вибір тестових даних

У досліді використовуються файли формату CSV, що містять дані для побудови А-скану та Б-скану. Структура файлів була заздалегідь перевірена на відповідність наступним вимогам, а саме наявності колонок:

- Для А-скану: Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage.
- Для Б-скану: Position, Time, CH1\_Voltage, CH2\_Voltage.

Вибір тестових даних базувався на реальних прикладах, що імітують результати ультразвукових досліджень.

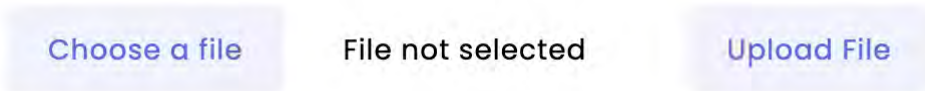
Time (μs)	CH1_Volta	CH2_Voltage (mV)	Position (n)	Time (μs)	CH1_Volta	CH2_Voltage (mV)
0	-0.01972	-0.01591	0	0	0.011966	0.012367
0.02	0.356683	0.280993	0	0.02	0.302174	0.311528
0.04	0.4838	0.478165	0	0.04	0.44697	0.447572
0.06	0.463301	0.468481	0	0.06	0.462701	0.45223
0.08	0.309078	0.304349	0	0.08	0.276215	0.3085
0.1	0.023938	-0.01465	0	0.1	0.021984	-0.00635
0.12	-0.26548	-0.31794	0	0.12	-0.27545	-0.2959
0.14	-0.48515	-0.46276	0	0.14	-0.4724	-0.48589
0.16	-0.47396	-0.45762	0	0.16	-0.46839	-0.4938
0.18	-0.28964	-0.29947	0	0.18	-0.31647	-0.31007
0.2	0.009087	0.023269	0	0.2	-0.02873	0.012263
0.22	0.269176	0.271896	0	0.22	0.286864	0.27032
0.24	0.466728	0.468235	0	0.24	0.489325	0.48835
0.26	0.455476	0.475893	0	0.26	0.450107	0.479317
0.28	0.319031	0.336124	0	0.28	0.298776	0.320572
0.3	-0.00557	-0.00293	0	0.3	0.048942	-0.00674
0.32	-0.32012	-0.28898	0	0.32	-0.27154	-0.26033
0.34	-0.46533	-0.46404	0	0.34	-0.4462	-0.47839
0.36	-0.48303	-0.45967	0	0.36	-0.43159	-0.52554
0.38	-0.30507	-0.30623	0	0.38	-0.31269	-0.28018
0.4	-0.00986	0.012559	0	0.4	0.009894	0.022216
0.42	0.320653	0.288628	0	0.42	0.279374	0.290688
0.44	0.475979	0.48471	0	0.44	0.452932	0.524337
0.46	0.454922	0.453281	0	0.46	0.482296	0.479019
0.48	0.307902	0.322436	0	0.48	0.298717	0.325172
0.5	0.023041	-0.0385	0	0.5	0.015322	-0.01059
0.52	-0.31336	-0.29635	0	0.52	-0.27336	-0.2499
0.54	-0.46033	-0.48135	0	0.54	-0.49308	-0.47857
0.56	-0.48261	-0.4785	0	0.56	-0.45995	-0.47477
0.58	-0.30993	-0.31528	0	0.58	-0.30479	-0.28808

Рис. 4.2 Структура CVS файлів даних для А-скану та Б-скану

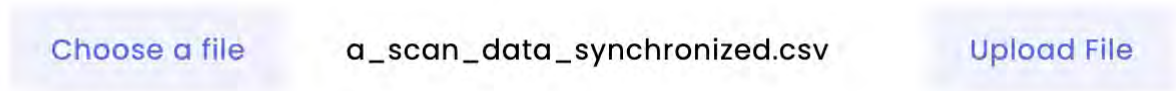
## 2. Завантаження файлів та початкова валідація

На першому етапі тестування здійснюється завантаження файлів через компонент FileUploadComponent. Завантаження супроводжується перевіркою формату файлу та його попереднім аналізом [34, 35]. У разі успішного завантаження користувач бачить повідомлення про готовність файлу до обробки у вигляді назви завантаженого файлу.





*Рис. 4.3 Інтерфейс компоненту до вибору файлу*



*Рис. 4.4 Інтерфейс компоненту після вибору файлу*

### 3. Вибір параметрів візуалізації

За допомогою компонента `SettingsComponent` користувач обирає тип візуалізації (А-скан або Б-скан). Обрані параметри передаються на сервер для ініціалізації відповідного алгоритму побудови графіку.

#### A-scan Visualization

A-scan       B-scan

*Рис. 4.5 Інтерфейс компоненту при виборі А-скану*

#### B-scan Visualization

A-scan       B-scan

*Рис. 4.6 Інтерфейс компоненту при виборі Б-скану*

### 4. Побудова графіку А-скану

Для тестування функції візуалізації А-скану було використано файли із різними амплітудними характеристиками сигналів [36, 37]. Графіки будувалися з урахуванням часу (Time) та рівнів напруги на двох каналах (CH1\_Voltage і CH2\_Voltage).

### Візуалізація А-скану

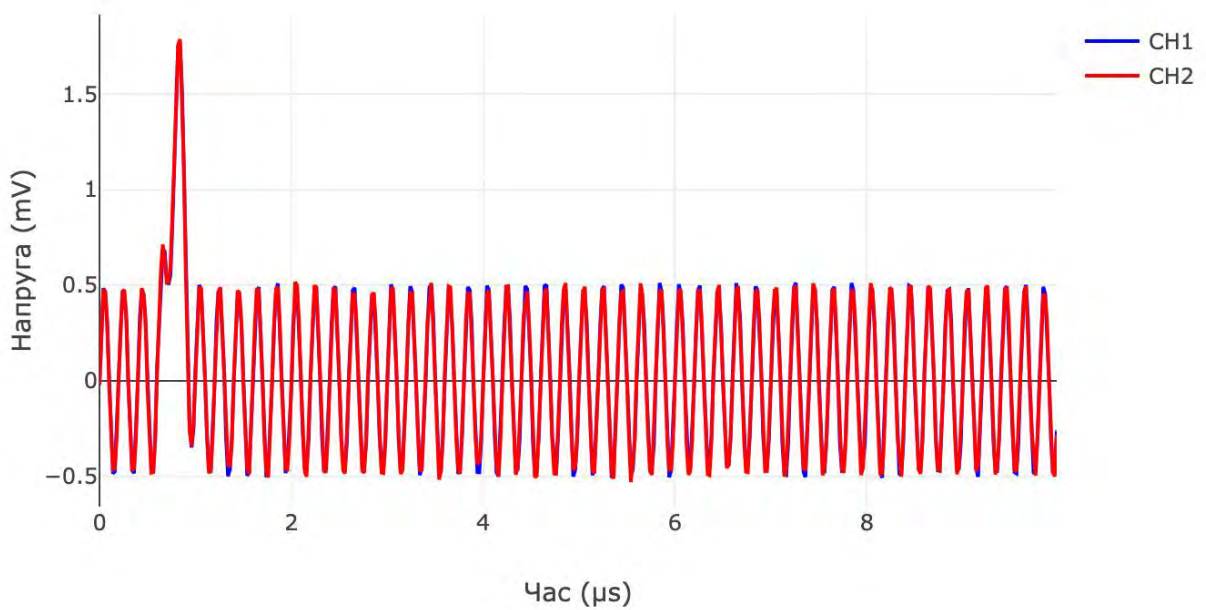


Рис. 4.7 Графік побудованого А-скану

### 5. Побудова графіку Б-скану

Функція візуалізації Б-скану тестувалася з файлами, що містять дані про позиції та амплітуди сигналів. Побудована теплова карта дозволяє оцінити розподіл сигналів у залежності від часу та позиції.

### Теплова карта В-скану

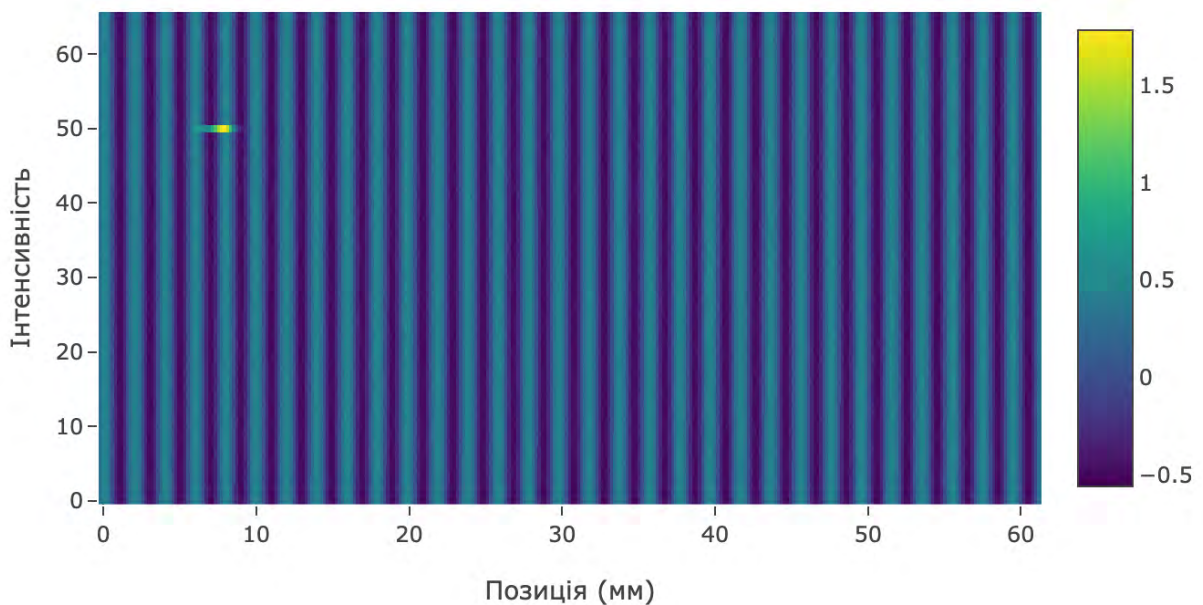


Рис. 4.8 Теплова карта побудованого Б-скану

### 4.3 Результати практичного дослідження

У процесі тестування веб-додатку для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів було отримано результати, які підтверджують його працездатність та ефективність. Основна увага зосереджена на перевірці ключових функцій додатку та їх відповідності поставленим вимогам.

#### 1. Завантаження файлів

Компонент `FileUploadComponent` забезпечив стабільне завантаження файлів у форматі CSV. На етапі тестування система успішно розпізнавала тип файлу, а у випадку невідповідності формату виводила зрозуміле повідомлення для користувача.

#### 2. Валідація даних

Модуль валідації даних продемонстрував високу точність у перевірці структури завантажених файлів. Система коректно ідентифікувала ключові параметри (`Time`, `CH1_Voltage`, `CH2_Voltage` для А-скану, `Position`, `Time`, `CH1_Voltage`, `CH2_Voltage` для Б-скану). У разі виявлення помилок користувач отримувал повідомлення про необхідність корекції файлу.

#### 3. Побудова графіку А-скану

Графіки А-скану успішно створювались на основі тестових даних. Система коректно відображала залежність напруги на каналах CH1 та CH2 від часу, забезпечуючи чітку візуалізацію [38, 39]. Навіть за наявності великого обсягу даних алгоритм демонстрував високу швидкість роботи.

#### 4. Побудова графіку Б-скану

Візуалізація Б-скану у вигляді кольорової карти (`heatmap`) також підтвердила свою ефективність. Карта чітко відображала зміни амплітуд сигналів залежно від часу та позиції, дозволяючи користувачу проводити швидкий аналіз. (Скріншот із прикладом графіку Б-скану.)

#### 5. Продуктивність системи

Тестування підтвердило, що обробка файлів обсягом до 50 000 рядків виконується миттєво, без затримок. Побудова графіків А-скану та Б-скану також

відбувається у режимі реального часу, що свідчить про оптимізованість реалізованих алгоритмів.

## 6. Стабільність роботи

Усі компоненти додатку працювали стабільно навіть під час тестування із великими обсягами даних. Інтерфейс залишався інтерактивним, а функції виконувались без збоїв, забезпечуючи користувачу комфортну роботу.

## 7. Оцінка інтерфейсу

Додаток відзначається зручним і зрозумілим інтерфейсом. Усі етапи взаємодії супроводжуються відповідними повідомленнями, що дозволяє користувачу впевнено виконувати задані дії.

Отримані результати підтверджують ефективність і стабільність роботи додатку. Висока продуктивність та зручність інтерфейсу свідчать про відповідність розробки заявленим вимогам та її готовність до подальшого вдосконалення.

## **Висновок до розділу 4**

У четвертому розділі магістерської дисертації було здійснено детальний аналіз результатів реалізації основних функцій веб-додатку для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Особливу увагу приділено процесу візуалізації А- та Б-сканів, який продемонстрував високу продуктивність і відповідність заданим технічним вимогам. Реалізовані алгоритми обробки даних забезпечують ефективну взаємодію між компонентами додатку, дозволяючи обробляти файли обсягом до 50 тисяч рядків майже миттєво, що підтверджує високий рівень оптимізації системи.

Дослідження також підтвердило надійність і зручність використання інтерфейсу додатку. Інтерактивні можливості компонентів візуалізації дозволяють користувачам гнучко налаштовувати параметри графіків та оперативно аналізувати результати. Це підкреслює практичну цінність створеного продукту для інженерних задач неруйнівного контролю.

Отримані результати демонструють, що розроблений додаток здатний вирішувати актуальні задачі візуалізації, забезпечуючи високу точність та швидкодію. Таким чином, виконаний дослід підтвердив ефективність обраного підходу до розробки додатку, що створює підґрунтя для його подальшого вдосконалення та масштабування.

## 5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ВЕБ ДОДАТОК ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ»

### 5.1. Опис ідеї проекту

З огляду на технічні та програмні можливості розробленого додатку, цей розділ присвячено формуванню та аналізу ідеї стартапу, який орієнтований на комерціалізацію. Додаток для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів дозволяє користувачам отримувати точну та деталізовану інформацію про внутрішні характеристики матеріалів у сучасних форматах візуалізації. Доцільність і переваги проекту викладено в таблиці 5.1, де наведено ключові напрями застосування та вигоди для користувачів.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Додаток для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів	Візуалізація ультразвукових сканів (А-скан, Б-скан, потенційно С-скан)	Забезпечення швидкого та точного аналізу матеріалів
	Інтеграція з різними форматами даних з ультразвукових дефектоскопів	Гнучкість у роботі з різними типами файлів для підтримання більшої групи користувачів
	Динамічне налаштування параметрів візуалізації	Забезпечення інтерактивності в аналізі дефектів
	Можливість масштабування функціональності та додавання нових методів візуалізації	Підтримка актуальності додатку у технічному та функціональному плані

Цей проект представляє собою першу спробу створити легкодоступний та високопродуктивний інструмент для візуалізації ультразвукових даних у вигляді веб додатку, що створює всі умови для побудови рентабельного бізнесу, орієнтованого на професійне застосування в різних галузях промисловості та навчання.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	WeldSight Software	UTStudio+ Software	OmniScan MXU			
1.	Вартість програмного забезпечення	\$2000	\$500,000 - \$1,000,000	\$300,000 - \$700,000	\$700,000 - \$1,500,000	-	-	+
2.	Час розробки	6 місяців	1-2 роки	1-2 роки	2+ роки	-	-	+
3.	Зрозумілість та зручність інтерфейсу	Висока	Висока	Середня	Висока	-	+	-
4.	Можливість імпорту даних із зовнішніх джерел	Присутня	Присутня	Обмежена	Присутня	-	-	+
5.	Оптимізація для роботи на різних платформах	Веб	Десктоп	Десктоп	Спеціалізовані пристрої	-	-	+
6.	Швидкість обробки великих обсягів даних	Висока	Висока	Висока	Висока	-	+	-

Аналіз техніко-економічних характеристик проекту показав наявність кількох важливих переваг порівняно з конкурентами. Зокрема, ключовими сильними сторонами є значно нижча вартість розробки та коротший термін впровадження.

Окрім того, зручний інтерфейс, можливість імпорту даних із зовнішніх джерел та оптимізація для роботи у веб-середовищі підвищують привабливість продукту, надаючи до нього доступ із будь-якого пристрою, забезпечуючи універсальність використання. Незважаючи на обмеження, такі як порівняно вузька спеціалізація, проект демонструє сильні сторони, які можуть успішно конкурувати з провідними рішеннями на ринку.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Візуалізація ультразвукових сканів	ReactJS, React Plotly.js	+	+
2	Серверна обробка та парсинг даних	Node.js, Express для бекенд-логіки	+	+
3	Обробка та зберігання великих обсягів даних	MongoDB або PostgreSQL	+	+
4	Асинхронний обмін даними між фронтендом і бекендом	REST API	+	+
5	Можливість подальшого розширення функціоналу	Модульна структура, використання сучасних бібліотек	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Веб додаток на основі сучасних технологій ReactJS, Node.js, Express, REST API				

Аналіз технологічної здійсненності проекту підтверджує, що обраний набір технологій повністю відповідає поставленим вимогам до ефективності, надійності



та масштабованості. Обрані технології є сучасними та популярними, що забезпечує високий рівень їх підтримки, що гарантує можливість подальшого розвитку та оптимізації проекту.

## 5.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей для впровадження проекту є ключовим етапом у плануванні запуску стартапу. Це дає змогу не тільки виявити потенційні переваги, але й передбачити можливі ризики, що можуть перешкодити реалізації проекту. Спочатку розглянемо попит на продукт, визначивши кількість головних гравців на ринку, загальний обсяг продажів, динаміку розвитку, наявність бар'єрів для входу, специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації, а також середню норму рентабельності в галузі.

Таблиця 5.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	15-20
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	50000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Помірно зростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність технічних і сертифікаційних вимог
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Високі вимоги до стандартизації і сертифікації в галузі неруйнівного контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10-12%

Аналіз ринкових показників демонструє сприятливі умови для запуску проекту у сфері програмного забезпечення для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Незважаючи на високі вимоги до сертифікації та стандартизації, відсутність серйозних бар'єрів для входу створює можливості для інноваційних рішень. Помірно зростаюча динаміка ринку та середня рентабельність в 10-12% вказують на перспективи для отримання прибутку при належній маркетинговій стратегії та унікальних функціональних перевагах продукту.

Таблиця 5.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що	Цільова аудиторія	Відмінності у	Вимоги споживачів
---	-------------	-------------------	---------------	-------------------

п/п	формує ринок	(цільові сегменти ринку)	поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	до товару
1	Швидка і точна візуалізація даних дефектоскопії	Промислові компанії в галузі неруйнівного контролю	Орієнтовані на швидке отримання візуалізації без потреби використання складних дефектоскопів	Висока точність, інтеграція з існуючим обладнанням, простота використання
2	Віддалений доступ до даних і аналізу	Консультаційні компанії з контролю якості	Потребують віддаленого доступу до результатів та можливості співпраці в режимі реального часу	Можливість доступу з будь-якого пристрою, багатокористувацька підтримка
3	Зберігання та систематизація великих обсягів даних	Великі корпорації з власними департаментами неруйнівного контролю	Працюють з великими об'ємами даних, потребують автоматизації їх зберігання	Можливість інтеграції з базами даних, ефективно управління даними

Для того щоб задовольнити вимоги користувачів різних сегментів потрібно щоб додаток задовольняв основні потреби, що формують ринок, а також специфічні вимоги конкретних сегментів користувачів. Промислові компанії орієнтовані на точність та ефективність, консультаційні компанії цінують можливість віддаленого доступу і співпраці, а великі корпорації потребують надійного зберігання та систематизації даних. Виконання всієї цих вимог дозволить створити успішний продукт.

При впровадженні обраних технологій можуть виникати загрози, які здатні вплинути на успішність запуску та функціонування продукту. Важливо заздалегідь оцінити ці ризики та розробити стратегії для їх нейтралізації або зменшення негативного впливу.

Таблиця 5.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Висока конкуренція	Присутність сильних конкурентів може ускладнити вхід на ринок	Розробка унікальних функцій та інноваційних рішень
2.	Технічні обмеження	Можливість виникнення проблем з інтеграцією з існуючими приладами та обладнанням	Додаткова адаптація продукту для різних стандартів та типів файлів
3.	Зміни в законодавстві	Невідповідність новим вимогам або стандартам у галузі неруйнівног контролю	Постійний моніторинг змін і оновлення продукту
4.	Високі витрати на підтримку та обслуговування	Потреба в значних ресурсах для підтримки програмного забезпечення	Оптимізація процесів та автоматизація обслуговування
5.	Залежність від постачальників технологій	Ризики, пов'язані з використанням сторонніх технологій або платформ, наприклад платформи для хмарного збереження даних	Розробка альтернативних варіантів або резервних планів

Аналіз потенційних загроз, показав, що варто звертати увагу не тільки на ринкові, але й технічні ризики. Хоча галузь і вузконаправлена та в ній вже існують сильні конкуренти. Окрім того потрібно докласти зусиль, щоб забезпечити гнучкість у використанні додатків для різного обладнання і підтримуваних ним типів файлів. Але так-як проект є абсолютно унікальним, можна вважати його надійним.

Окрім загроз, існують можливості, які можуть сприяти успішному розвитку проекту та зміцненню його позицій на ринку. Виявлення цих факторів допоможе компанії зосередитись на її перевагах та краще розставити пріоритети у розвитку.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.4. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Потреба в швидкому аналізі даних	Зростаючий попит на швидку візуалізацію результатів контролю в реальному часі	Позиціонування продукту як швидкого та інтерактивного рішення
2.	Потреба у віддаленому доступі до даних	Потреба компаній у можливості віддаленого доступу до даних неруйнівного контролю	Реалізація функцій для віддаленого доступу та багатокористувацької підтримки
3.	Високі вимоги до якості контролю	Потреба в точному та детальному аналізі дефектів	Зосередження на високій точності та гнучкості інструментів для візуалізації
4.	Підтримка інтеграції з великим колом обладнання	Необхідність сумісності програмного забезпечення для користувачів дефектоскопів від різних виробників	Адаптація додатку для роботи з широким спектром обладнання
5.	Перехід до цифрових архівів даних	Потреба у зберіганні та аналізі великих обсягів історичних даних	Створення модулів та компонентів для довготривалого зберігання і структурування даних

Враховуючи важливість перелічених можливостей та порівнюючи їх із ризиками, можна дійти висновку, що стартап повністю перекриває ризики наявними можливостями. Реалізація всіх перелічених функцій зробить продукт унікальним та універсальним рішенням на ринку.

Таблиця 5.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Високий рівень технологічних інновацій	Конкуренти активно впроваджують нові функції, покращують точність та якість візуалізації	Постійне вдосконалення продукту, інтеграція нових технологій та функцій для покращення візуалізації
Невелика кількість ключових гравців	Ринок має невелику кількість великих гравців, що домінують завдяки своєму досвіду та ресурсам	Зосередження на унікальних функціях, таких як гнучкість та інтеграція з обладнанням
Суворі вимоги до стандартизації та сертифікації	Усі продукти повинні відповідати жорстким стандартам якості та безпеки,	Забезпечення відповідності усім вимогам і стандартам

	особливо в галузі неруйнівного контролю	
Значний попит на можливість віддаленого доступу до даних	Підвищується потреба в доступі до даних і можливості роботи в реальному часі	Адаптив додатку під різні девайси, та різні розміри екранів
Потреба в інтеграціях з приладами від різних виробників	Клієнти шукають рішення, що можуть працювати з різними з дефектоскопами від різних виробників	Забезпечення сумісності додатку з дефектоскопами від різних виробників

Із таблиці можна зробити висновок, що в даній сфері потрібно докладати значних зусиль для підтримання технологічної частини продукту, щоб вона залишалась актуальною та конкурентоспроможною, а також варто зосередити увагу на унікальному функціоналі додатку, який вирізняє та робить його унікальним серед конкурентів.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Olympus, Zetec, Sonatest	Нові компанії та стартапи, які орієнтовані на розробку програмного забезпечення для неруйнівного контролю	GE Inspection, Siemens	Промислові підприємства, компанії з неруйнівного контролю, освітні та дослідницькі установи	MATLAB, Excel, ручні методи аналізу
Висновки:	Конкуренти з великим досвідом та ресурсами	Можлива наявність нових конкурентів	Виробники компонентів та дефектоскопів	Обширна база клієнтів	Товари заміники мають низьку інтерактивність

Аналіз конкурентів в галузі за М. Портером показав, що галузь має декілька сильних конкурентів, які мають налагоджені зв'язки із постачальниками. Продукт потрібен для обширної кількості категорій клієнтів, це означає, що потрібно

реалізувати функціонал, який буде задовольняти всім групам клієнтів. Товари заміники мають погану інтерактивність і для роботи з ними потрібно мати базовий досвід.

Аналіз ключових факторів конкурентоспроможності дозволяє зрозуміти, які фактори допоможуть компанії вирізнитись серед конкурентів.

Таблиця 5.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Робота з різними форматами файлів	Забезпечує сумісність з обладнанням від різних виробників.
2	Інтерактивність інтерфейсу	Легкий порог входу та інтерактивні інструкції дозволяють працювати з додатком користувачам без досвіду
3	Швидкодія	Додаток має алгоритми які пришвидшують роботу із великими обсягами даних
4	Хмарне зберігання даних	Надає доступ до даних з будь-якої точки світу
5.	Автоматичне сортування даних	Всі файли використані для візуалізацію, проходять автоматичну архівацію та сортування

Таблиця 5.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DUST\_METER»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER Company						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Робота з різними форматами файлів	16						+	
2	Інтерактивність інтерфейсу	15							+
3	Швидкодія	17					+		
4	Хмарне зберігання даних	19						+	
5.	Автоматичне сортування даних	14					+		

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності є суттєвими і мають значний вплив на успішність впровадження нового програмного забезпечення для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Основними перевагами є інтерактивний інтерфейс, що значно спрощує роботу користувачів, та підтримка широкого спектру форматів файлів, яка забезпечує сумісність з різними типами обладнання. Додатковою перевагою є швидкодія та можливість хмарного зберігання даних

Таблиця 5.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Робота з різними форматами файлів</li> <li>2. Інтерактивний інтерфейс</li> <li>3. Висока швидкодія при обробці великих обсягів даних</li> <li>4. Хмарне зберігання даних</li> <li>5. Автоматичне сортування даних</li> </ol>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Високі витрати на підтримку та обслуговування продукту</li> <li>2. Обмежена технічна підтримка у порівнянні з великими конкурентами</li> <li>3. Залежність від постачальників технологій</li> <li>4. Високі вимоги до сертифікації та стандартизації</li> <li>5. Необхідність постійного оновлення продукту для відповідності ринковим стандартам</li> </ol>
<p><b>Можливості:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зростання попиту на автоматизацію процесів у сфері неруйнівного контролю</li> <li>2. Розширення ринку за рахунок міжнародних замовників</li> <li>3. Отримання державних контрактів для контролю інфраструктурних об'єктів</li> <li>4. Збільшення попиту на віддалений доступ до даних</li> <li>5. Інтеграція з широким спектром обладнання</li> </ol>	<p><b>Загрози:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Посилення конкуренції через появу нових гравців на ринку</li> <li>2. Різка зміна законодавчих і регуляторних вимог</li> <li>3. Політична та економічна нестабільність, що впливає на інвестиційний клімат</li> <li>4. Ризики несвоєчасного оновлення продукту</li> <li>5. Потенційні технічні обмеження при інтеграції з новим обладнанням</li> </ol>

SWOT аналіз показує всі аспекти, що впливають на успішність стартап-проекту. Основними сильними сторонами продукту є гнучкість роботи з різними форматами файлів, інтерактивність інтерфейсу та висока швидкодія.. Водночас слабкі сторони, такі як залежність від постачальників технологій та високі витрати на підтримку, створюють певні труднощі, які потребують грамотного рішення. Ринкові можливості, такі як попит на автоматизацію та інтеграцію з сучасним обладнанням, відкривають перспективи для розширення ринку, однак на шляху до реалізації цих можливостей стоять загрози у вигляді зростаючої конкуренції та необхідності адаптації до змін у стандартизації. Продукт має всі шанси зайняти сильну позицію на ринку за умови чіткої стратегії розвитку

Таблиця 5.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	6-12 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Середня	12-18 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	Залежить від обставин

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

### 5.3. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Висока	Стабільний та прогнозовано зростаючий	Середня	Проста
2	Лабораторії та наукові установи	Середня	Обмежений, але із зростаючим потенціалом	Низька	Середня
3	Консалтингові компанії	Висока	Залежить від кількості замовників	Середня	Середня

Які цільові групи обрано: промислові компанії, лабораторії та наукові установи, а також консалтингові компанії з контролю якості.  
Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями, лабораторіями та науковими установами, а також консалтинговими компаніями з контролю якості.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали такі цільові групи: промислові компанії, лабораторії та наукові установи, а також



консалтингові компанії з контролю якості. Ці сегменти є перспективними завдяки їхній готовності впроваджувати нові рішення та прогнозованому зростанню попиту. Основним сегментом є промислові компанії, оскільки вони демонструють стабільний попит і високу готовність до інтеграції сучасних технологій. Залучення інших груп клієнтів створює додаткові можливості для розширення ринку, що формує основу для довгострокового розвитку проєкту.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.12. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Висока інтерактивність, гнучкість у роботі з форматами файлів, хмарне зберігання	Стратегія диференціації
2	Компенсація слабких сторін стартапу за рахунок можливостей	Концентрований маркетинг	Посилення технічної підтримки, адаптація до міжнародних стандартів	Стратегія фокусування
3	Розширення ринкових позицій через нові сегменти	Масовий маркетинг	Інтеграція з обладнанням різних виробників, швидке розширення функціоналу	Стратегія зростання

У результаті аналізу було обрано базові стратегії розвитку, які враховують сильні та слабкі сторони стартапу, а також потенційні ринкові можливості. Основний акцент зроблено на стратегії диференціації, яка дозволить виділити продукт серед конкурентів завдяки унікальним функціональним характеристикам. Стратегія фокусування спрямована на вирішення технічних викликів та покращення підтримки користувачів. Для довгострокового розширення використовується стратегія зростання, орієнтована на залучення нових сегментів ринку та інтеграцію сучасних технологій.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Компанія зосередиться на залученні нових споживачів, які ще не користуються подібними рішеннями	Ні, адже конкурентів із подібними продуктами не існує, розробка є унікальною	Стратегія створення нового ринку

Проект є першопрохідцем у своїй галузі, оскільки на ринку відсутні аналоги веб-додатків для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Це створює можливість для створення нового ринку шляхом залучення клієнтів, які ще не користуються подібними рішеннями. Основна стратегія конкурентної поведінки — створення нового ринку через пропозицію інноваційного продукту, який відповідає потребам ринку.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 5.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Інтерактивність, зручність у використанні, адаптація до стандартів та різних форматів файлів	Стратегія диференціації	Висока інтерактивність інтерфейсу, підтримка різних форматів файлів, хмарне зберігання	Інтерактивність. Надійність. Простота.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

Canvas модель була обрана для опису бізнес-моделі стартапу веб-додатку для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів. Ця модель адаптована для стартапів і підходить для динамічних проєктів, які орієнтовані на швидкий розвиток та ефективне управління обмеженими ресурсами. Lean Canvas зосереджується на ключових аспектах, таких як клієнти, проблеми, цінність продукту, канали доставки та джерела доходу, що робить її ідеальною для стартапу, який планує зайняти унікальну нішу на ринку

Таблиця 5.18. Структура бізнес-моделі

Назва блоку	Характеристика	Елементи	Основні питання
Ключові партнери	Партнери забезпечують ресурси, підтримку та сприяють розширенню ринку.	Виробники ультразвукових дефектоскопів: надають доступ до тестових даних та виступають як потенційні інтегратори рішення. Хмарні сервіси (AWS, Azure): забезпечують стабільне зберігання й обробку даних. Експерти у сфері неруйнівного контролю: допомагають вдосконалити алгоритми аналізу даних. Галузеві виставки та конференції: дозволяють презентувати продукт на професійній аудиторії.	Хто є нашими ключовими постачальниками? Основними постачальниками є виробники дефектоскопів, які надають вихідні дані для тестування та сертифікації рішення. З ким варто укласти партнерські угоди для масштабування? З розробниками хмарних платформ для забезпечення стабільного зберігання даних та їх обробки. Які ресурси ми отримуємо від кожного партнера? Доступ до даних, технічна підтримка, можливість використання обладнання для демонстрації продукту.ф
Ключові дії	Основні процеси, необхідні для створення, підтримки та розвитку продукту.	Розробка алгоритмів для обробки А-, Б-, та С-сканів. Тестування та інтеграція рішення з різними форматами даних (CSV, JSON,	Які дії критично необхідні для створення нашого продукту? Розробка алгоритмів візуалізації та забезпечення точності

		XML). Підтримка роботи платформи та взаємодії з клієнтами.	обробки даних. Що потрібно для залучення та підтримки клієнтів? Інтуїтивний інтерфейс, регулярні оновлення та технічна підтримка. Які активності забезпечують стабільність роботи системи? Регулярна перевірка серверів, обробка запитів користувачів та оновлення функціоналу.
Ключові ресурси	Ресурси, які забезпечують ефективне виконання всіх функцій бізнесу.	Людські ресурси: команда програмістів, фахівці з UX-дизайну, експерти в ультразвуковій діагностиці. Технічні ресурси: сервери, бібліотеки для візуалізації, хмарні сервіси. Інтелектуальні ресурси: алгоритми обробки даних, патенти на технології.	Які ресурси потрібні для створення продукту? Сервери, бібліотеки для графічної обробки та команда програмістів. Які інструменти необхідні для підтримки роботи системи? Хмарні обчислення, платформи для аналізу даних, підтримка клієнтів. Що є основою для розширення функціоналу? Гнучка архітектура платформи та модульний підхід у розробці.
Ціннісна пропозиція	Продукт вирішує ключові проблеми клієнтів, забезпечуючи унікальну пропозицію.	Швидка та точна візуалізація даних дефектоскопії. Підтримка різних форматів файлів (CSV, JSON, XML). Інтуїтивний інтерфейс для аналізу результатів.	Яку проблему вирішує наш продукт? Забезпечує швидкий доступ до результатів дефектоскопії, дозволяючи приймати рішення в реальному часі. Чим наш продукт відрізняється від інших? Інтеграція кількох типів сканів та

			підтримка різних форматів даних. Чому клієнти оберуть саме наш стартап? Завдяки простоті використання та високій точності обробки даних.
Відносини клієнтами	3 Підтримка, залучення та утримання клієнтів через різні формати взаємодії.	Автоматизовані сервіси: FAQ, онлайн-чати. Персоналізована підтримка: технічні консультації. Ком'юніті: форуми та професійні обговорення.	Як ми підтримуємо клієнтів? Шляхом надання технічної підтримки та консультацій. Як ми забезпечуємо якість обслуговування? Інтеграція автоматизованих сервісів і персонального обслуговування. Що допомагає утримувати клієнтів? Регулярні оновлення продукту та гнучкість налаштувань.
Структура витрат	Описує основні витрати, необхідні для створення, підтримки та вдосконалення продукту.	Розробка продукту: витрати на програмування, тестування, впровадження. Інфраструктура: оренда серверів, хмарних платформ для обробки даних. Персонал: заробітна плата програмістів, дизайнерів, менеджерів. Маркетинг: просування продукту через соціальні мережі, участь у виставках. Підтримка користувачів: витрати на технічну підтримку, розробку FAQ і чат-ботів.	Які витрати є критичними для створення продукту? Розробка алгоритмів, тестування, хмарні сервіси. На що витрачається найбільше ресурсів? На технічну команду та підтримку інфраструктури. Як можна оптимізувати витрати? Використання відкритих бібліотек, автоматизація підтримки клієнтів.
Потоки доходів	Джерела отримання прибутку від використання	Підписка (Subscription): регулярна плата за	Як ми отримуємо дохід від клієнтів? Через підписку,

	продукту клієнтами.	доступ до функціоналу платформи (місячна, річна). Разові продажі (One-time sales): ліцензії на програмне забезпечення для інтеграції в локальні системи. Послуги (Services): налаштування платформи під специфічні потреби клієнта. Реклама: розміщення галузевої реклами для професійної аудиторії платформи.	продаж ліцензій і надання додаткових послуг. Який метод монетизації є найприбутковішим? Підписка, адже вона забезпечує стабільний регулярний дохід. Чи є можливість додати нові джерела доходів? Так, наприклад, через інтеграцію преміум-функцій або партнерську рекламу.
--	---------------------	---	---

Сформована бізнес-модель для стартапу демонструє чітко структурований підхід до реалізації проєкту, враховуючи ключові аспекти, необхідні для створення конкурентного та затребуваного продукту. Виділені ціннісні пропозиції, сегменти клієнтів, канали збуту та взаємовідносини з клієнтами забезпечують цілісність і послідовність бізнес-стратегії. Особлива увага приділена ключовим ресурсам і партнерам, що є фундаментом для ефективного впровадження інноваційних рішень у сфері візуалізації ультразвукових даних. Така модель дозволяє не лише задовольнити потреби клієнтів, але й закладає базу для подальшого розвитку та масштабування проєкту.

#### 5.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Швидкий аналіз ультразвукових даних	Висока швидкодія обробки та візуалізації	Унікальна інтерактивність інтерфейсу, оптимізована швидкість роботи
2	Сумісність із різними типами обладнання	Підтримка форматів від різних виробників	Адаптація до широкого спектру ультразвукових дефектоскопів від різних виробників
3	Доступність і гнучкість доступу до даних	Хмарне зберігання та віддалений доступ	Інтеграція з хмарними сервісами, забезпечення багатокористувацького режиму
4	Простота використання	Зручний і зрозумілий інтерфейс	Інтуїтивно зрозумілий дизайн, адаптований до потреб користувачів
5	Автоматизація процесів обробки даних	Автоматичне сортування управління даними	Впровадження інструментів автоматизації, які скорочують час і зусилля на обробку даних

Проведений аналіз ключових переваг концепції товару свідчить про його здатність задовольнити найактуальніші потреби цільової аудиторії. Продукт орієнтований на вирішення специфічних задач, таких як швидка обробка ультразвукових даних, забезпечення сумісності з різним обладнанням та інтеграція з хмарними сервісами. Особливу увагу приділено зручності використання, що реалізується через інтуїтивний інтерфейс, адаптований до потреб користувачів. Важливою перевагою є автоматизація процесів, яка дозволяє суттєво скоротити витрати часу і ресурсів на управління даними. Завдяки унікальним характеристикам продукт не лише відповідає вимогам ринку, але й формує нові стандарти в галузі.

Таблиця 5.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом			
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Висока інтерактивність	Нм	Тх
	3. Підтримка роботи з різними форматами файлів	Нм	Тл
	4. Хмарне зберігання даних	Нм	Ор
	5. Автоматизація сортування та управління даними	Нм	Е
	Якість: відповідає нормам ISO/IEC 25010:2011. Інформаційна безпека відповідає стандарту ISO/IEC 27001:2022		
	Пакування: Програмне забезпечення надається у цифровому форматі		
III. Товар із підкріпленням	Марка: Веб-додаток нового покоління		
	До продажу: демонстрація можливостей продукту, технічна консультація.		
	Після продажу: регулярне оновлення, технічна підтримка, доступ до нових функцій.		

Розібравши модель товару на три рівні, Товар за задумом представлений як інноваційне програмне забезпечення для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів, що має п'ять ключових характеристик. Усі характеристики є нематеріальними. Якість товару відповідає вимогам ISO/IEC 25010:2011 та ISO/IEC 27001:2022, що регулює параметри якості програмного забезпечення. Пакування включає цифрову форму продукту з доступом до інструкцій та технічної підтримки. На третьому рівні наведено переваги для споживача, такі як постійна технічна підтримка, регулярні оновлення і доступ до інноваційних функцій.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 5.20).

Таблиця 5.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	\$500-\$800	\$2000-\$3000	Високий	\$1000-\$1500



Аналіз ринку показав, що товари-замінники знаходяться у нижньому ціновому сегменті, але вони не повністю задовольняють потреби цільової аудиторії через обмежений функціонал. Товари-аналоги, хоча й більш наближені за функціоналом, є значно дорожчими. Встановлення ціни в межах \$1000-\$1500 дозволяє зайняти конкурентну позицію, зберігаючи доступність для цільової аудиторії.

Таблиця 5.18. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Закупівля за тривалими контрактами	Надання технічної підтримки, консультації, оновлень	Прямий канал	Прямий збут через офіційний веб-сайт
2	Демонстрація продукту перед покупкою	Проведення презентацій, надання демоверсій	Одрорівневий канал	Залучення офіційних представників
3	Індивідуальний підхід для клієнтів	Адаптація продукту під специфічні запити клієнтів	Прямий канал	Прямий збут із залученням технічних консультантів

Система збуту побудована на основі прямого контакту зі споживачами, що забезпечує повний контроль над процесом продажу та підтримки клієнтів. Основними функціями постачальника є надання консультацій, демонстрація продукту та підтримка після продажу. Оптимальною є система прямого збуту через офіційний веб-сайт із можливістю інтеграції технічних консультацій. Такий підхід дозволяє врахувати специфіку закупівельної поведінки цільової аудиторії та забезпечити високу якість обслуговування клієнтів.

Таблиця 5.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти шукають рішення для оптимізації процесів	Спеціалізовані форуми, галузеві виставки	Інтерактивність, точність і сумісність	Показати переваги інтерактивності продукту	Демонстрація економії часу та ресурсів завдяки продукту
2	Очікують простоти інтеграції та використання	Офіційний веб-сайт, професійні журнали	Простота інтеграції та адаптація під різні формати	Демонстрація легкості впровадження	Порівняльна таблиця характеристик із конкурентами
3	Потребують індивідуального підходу	Презентації, персоналізовані електронні листи	Адаптивність і хмарне зберігання даних	Показати можливість кастомізації продукту	Інфографіка із прикладами роботи в реальних умовах

Розроблена концепція маркетингових комунікацій базується на глибокому розумінні потреб цільової аудиторії та намагається враховувати всю специфіку її поведінки. Основна увага приділена демонстрації практичної цінності продукту через зрозумілі й переконливі презентації та демонстрації, які акцентують увагу на інтерактивності, адаптивності та простоту інтеграції веб-додатку. Обрані канали комунікації, такі як галузеві виставки, професійні журнали й персоналізовані презентації, дозволяють максимально ефективно доносити ключові переваги продукту до споживачів. Завдання рекламних повідомлень — не просто інформувати, а формувати довіру до продукту, підкреслюючи його унікальні можливості та переваги в реальних умовах використання.

### 5.5. Планування реалізації стартап-проекту

Планування реалізації стартап-проекту є одним із ключових етапів його розробки, який дозволяє забезпечити ефективне використання ресурсів, чітке виконання поставлених завдань та досягнення стратегічних цілей. У цьому розділі розглядаються основні аспекти планування, включаючи бізнес-модель, формування команди, календарний графік реалізації проекту та оцінку його

вартості. Всі ці елементи дозволяють створити цілісне уявлення про те, як проект буде реалізовуватися на практиці.

## Команда стартапу

Команда є серцем будь-якого стартапу, адже саме вона реалізує ідеї та забезпечує їх втілення в життя. У цьому підрозділі представлено структуру команди, її ключові ролі та обов'язки, що гарантують успішну реалізацію проекту.

Посада	Обов'язки
Керівник проекту	Планування, комунікація з інвесторами, контроль реалізації етапів проекту.
Розробник ПЗ	Реалізація фронтенду, бекенду, інтеграція компонентів.
Фахівець з UX/UI - дизайну	Розробка інтерфейсу додатку, забезпечення зручності користування.
Маркетолог	Промування проекту, аналіз ринку, створення маркетингової стратегії.
Технічний консультант	Експертна підтримка з питань ультразвукової дефектоскопії.

Сформована команда забезпечує високу якість реалізації проекту завдяки чітко розподіленим ролям та відповідальності. Такий підхід дозволяє мінімізувати ризики та ефективно досягати поставлених цілей.

## Календарний графік реалізації стартапу

Календарний графік є важливим інструментом управління проектом, що дозволяє планувати та контролювати виконання ключових етапів. У цьому підрозділі наведено детальний графік реалізації стартапу, що забезпечує поетапне виконання завдань у визначені терміни.

№	Етап	Тривалість	Термін виконання
1	Розробка бізнес-моделі	1 місяць	20.09.2024–20.10.2024
2	Розробка MVP	3 місяці	21.10.2024–20.01.2025
3	Тестування та доопрацювання	2 місяці	21.01.2025–20.03.2025
4	Розробка маркетингової кампанії	2 місяці	21.03.2025–20.05.2025
5	Запуск на ринку	1 місяць	21.05.2025–20.06.2025

Графік реалізації проекту забезпечує чітку організацію процесу виконання завдань, що дозволяє уникнути затримок та зберігати загальну узгодженість між етапами.

## Вартість проекту

Оцінка вартості проекту є ключовим етапом планування, що дозволяє визначити необхідні фінансові ресурси для реалізації стартапу. У цьому підрозділі наведено деталізований кошторис витрат, необхідних для успішного запуску проекту.

Стаття витрат	Сума, \$
Розробка програмного забезпечення	3000
UX/UI-дизайн	1000
Маркетингова кампанія	1500
Тестування	500
Адміністративні витрати	1000
<b>Разом</b>	<b>6000</b>

Детальний кошторис дозволяє оцінити економічну доцільність проекту та забезпечити раціональне використання фінансових ресурсів. Такий підхід сприяє залученню потенційних інвесторів.

## Висновки до розділу 5

Проведений аналіз стартап-проєкту «Веб-додаток для візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів» демонструє його значний потенціал та перспективність для виходу на ринок програмного забезпечення в галузі неруйнівного контролю. Проєкт є першопрохідцем у своїй ніші, пропонуючи унікальне рішення, яке поєднує високу функціональність, інтерактивність та гнучкість. Аналіз ринкових можливостей підтвердив високий попит на програмні продукти, що забезпечують швидку обробку даних, інтеграцію з широким спектром обладнання та віддалений доступ до інформації. Основними сильними сторонами проєкту є інтерактивний інтерфейс, підтримка різних форматів файлів, висока швидкодія та можливість хмарного зберігання даних.

Водночас SWOT-аналіз вказав на деякі слабкі сторони, зокрема високі витрати на підтримку, залежність від сторонніх технологій і необхідність постійного оновлення продукту для відповідності сучасним стандартам. Ці аспекти потребують особливої уваги при реалізації стратегії розвитку. Ринкові можливості, такі як зростання попиту на автоматизацію процесів, інтеграція з обладнанням різних виробників та розширення ринку за рахунок міжнародних замовників, відкривають перспективи для масштабування бізнесу.

Обрана стратегія розвитку базується на диференціації, яка дозволяє виділити продукт серед конкурентів завдяки унікальному функціоналу, а також на фокусуванні, що спрямоване на вирішення технічних викликів і покращення підтримки користувачів. Аналіз конкуренції показав, що, незважаючи на наявність сильних гравців на ринку, наш продукт має значні переваги завдяки нижчій вартості, швидшій розробці та сучасним технологічним рішенням.

Маркетингова програма, що включає інтеграцію сучасних інструментів комунікації, персоналізовані підходи та акцент на демонстрації практичної цінності продукту, забезпечує ефективний вихід на ринок. Оптимальна система збуту, побудована на прямому контакті зі споживачами, дозволяє врахувати специфіку їхніх потреб та забезпечити високу якість обслуговування.

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що проєкт має всі необхідні передумови для успішної реалізації. Унікальний функціонал, спрямованість на задоволення сучасних потреб ринку та ретельно продумана маркетингова стратегія створюють стійкий фундамент для довгострокового розвитку та комерційного успіху.

## **Висновки**

В даній роботі було підтверджено актуальність та інноваційність підходу до візуалізації даних ультразвукових дефектоскопів із залученням веб-технологій. Виявлена потреба в уніфікації форматів даних, автоматизації процесів і підвищенні точності аналізу призвела до створення комплексного рішення, яке забезпечує гнучку та оперативну обробку інформації в режимі реального часу. Запропонований веб-додаток спирається на сучасні технологічні інструменти та архітектурні принципи, що гарантують стабільну, масштабовану й інтерактивну роботу системи без перезавантаження сторінок, а також можливість швидко адаптуватися до нових потреб і технічних стандартів.

Продуктивність та надійність алгоритмів парсингу й конвертації даних різних форматів, а також побудова А- та Б-сканів із чітким графічним представленням сигналів, дозволяють операторам ефективніше виявляти внутрішні дефекти та неоднорідності в матеріалах. Інтуїтивний та зручний інтерфейс спрощує взаємодію з додатком, робить процес аналізу даних більш прозорим, а відсутність прив'язки до одного типу обладнання чи формату файлів розширює коло потенційних користувачів і сфер застосування. Тестування підтвердило здатність системи обробляти значні обсяги інформації майже миттєво, зберігаючи при цьому високу точність та чутливість до змін параметрів візуалізації.

Комерційний потенціал рішення ґрунтується на його унікальному функціоналі, інтеграції з різним обладнанням, а також здатності задовольнити сучасні вимоги ринку неруйнівного контролю. Стратегія розвитку, орієнтована на диференціацію та фокусування на актуальних потребах користувачів, у поєднанні з гнучкими маркетинговими інструментами, створює міцний фундамент для масштабування продукту як на національному, так і на міжнародному рівнях. Таким чином, результати дослідження не лише підтверджують доцільність і ефективність розробленого веб-додатку, але й відкривають перспективи для його подальшого вдосконалення, розширення функціоналу та успішної комерціалізації у галузі неруйнівного контролю.

## Список використаних джерел

1. Krautkrämer, J., & Krautkrämer, H. (1990). *Ultrasonic Testing of Materials* (4th ed.). Berlin: Springer.
2. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
3. Blitz, J., & Simpson, G. (1996). *Ultrasonic Methods of Non-destructive Testing*. London: Springer.
4. American Society for Nondestructive Testing. (2007). *Nondestructive Testing Handbook, Volume 7: Ultrasonic Testing* (3rd ed.). Columbus, OH: ASNT.
5. Fitting, D. W., & Adler, L. (1981). *Ultrasonic Spectral Analysis for Nondestructive Evaluation*. New York, NY: Plenum Press.
6. Drury, J. C. (2013). *Ultrasonic Flaw Detection for Technicians* (3rd ed.). Milton Keynes: BINDT.
7. Shetu, M. S. A. (2020). A review of nondestructive testing methods for aerospace composite materials. *Journal of Materials Science Research*, 9(1), 15-26.
8. Venkatraman, B., & Raj, B. (2015). *Non-Destructive Evaluation of Corrosion and Corrosion-assisted Cracking*. Hoboken, NJ: Wiley.
9. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. (2021). Autonomous corrosion detection in gas pipelines: A hybrid-fuzzy classifier approach using ultrasonic nondestructive evaluation protocols. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 68(5), 356-367.
10. Цапенко, В. К., & Куц, Ю. В. (2015). *Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник*. Київ: Політехніка.
11. Shull, P. J. (2002). *Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, and Applications*. New York, NY: CRC Press.
12. Blitz, J., & Simpson, G. (1996). *Ultrasonic Methods of Non-destructive Testing*. London: Springer.
13. Jin, S. J., Sun, X., Luo, Z. B., Ma, T. T., & Lin, L. (2018). Quantitative detection of shallow subsurface cracks in pipeline with time-of-flight diffraction technique. *Materials Evaluation*, 76(11), 1234-1245.



14. Weston, M. (2019). *Advanced Ultrasonic Digital Imaging and Signal Processing for Applications in the Field of NonDestructive Testing*. Manchester: University of Manchester Press.
15. Vejdannik, M., Sadr, A., Albuquerque, V. H. C., & Tavares, J. M. R. S. (2021). *Signal Processing for NDE*. Berlin: Springer.
16. Santos, M., Santos, J., Reis, P., & Amaro, A. (2020). Ultrasonic C-scan techniques for the evaluation of impact damage in CFRP. *Composites Science and Technology*, 198, 108-118.
17. Thickness and Flaw Inspection Solutions WeldSight™ Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.olympus-ims.com/en/weldsight/>
18. UTstudio+ Advanced Data Review Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sonatest.com/products/software/utstudio>
19. Ejsmont, A. (2015). *Web Scalability for Startup Engineers*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
20. Albin, S. T. (2003). *The Art of Software Architecture: Design Methods and Techniques*. Hoboken, NJ: Wiley.
21. Newman, S. (2021). *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems* (2nd ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
22. Abbott, M., & Fisher, M. (2020). *The Art of Scalability: Scalable Web Architecture, Processes, and Organizations for the Modern Enterprise* (2nd ed.). Boston, MA: Addison-Wesley.
23. Григорик, І. (2017). *Проектування високопродуктивних веб-додатків*. Київ: Видавництво Старого Лева.
24. Kleppmann, M. (2017). *Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
25. Richardson, C. (2018). *Microservices Patterns: With Examples in Java*. New York, NY: Manning Publications.
26. Murphy, N. R., Beyer, B., Jones, C., & Petoff, J. (2016). *Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

27. Cantelon, M., Harter, M., Holowaychuk, T. J., & Rajlich, N. (2017). Node.js in Action (2nd ed.). Shelter Island, NY: Manning Publications.
28. Herron, D. (2019). Node.js Web Development (3rd ed.). Birmingham: Packt Publishing.
29. Brown, E. (2014). Web Development with Node and Express: Leveraging the JavaScript Stack. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
30. Casciaro, M., & Mammino, L. (2020). Node.js Design Patterns: Design and Implement Production-Grade Node.js Applications Using Proven Patterns and Techniques (3rd ed.). Birmingham: Packt Publishing.
31. da Costa, L. (2020). Testing JavaScript Applications. New York, NY: Manning Publications.
32. Povshenko, Oleksandr; Bazhenov, Viktor; Pzdrii, Olha; Bohdan, Halyna Increasing the accuracy of electrostatic field strength measurement by using an improved differential transimpedance amplifier circuit. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, Vol 126, Issue 5, p6. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292691
33. Муравйов О. В. Сучасний стан та перспективи розвитку адитивних технологій / О. В. Муравйов, Ю. М. Нижник, В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов, К. М. Серий // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – Том 32 (71), №5. – С. 114-119.
34. Petryk V.F.; Protasov, A.G.; Galagan, R.M.; Muraviov, A.V.; Lysenko, I.I. Smartphone-Based Automated Non-Destructive Testing Devices. Devices Methods Meas. 2020, 11, 272–278.
35. Муравйов, О. В. Передача даних та сучасні методи обробки сигналів. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О. В. Муравйов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 7,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.

36. Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Галаган Р.М., Муравйов О.В., Момот А.С. Бездротові технології в автоматизації неруйнівного контролю. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том 32 (71), № 5. с. 25-29. (DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/05>)
37. R. Galagan і G. Bogdan, «Аналіз похибок вимірювання швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі в багатофазних порошкових матеріалах. Частина 1: вплив суб'єктивної похибки», Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak., вип. 49(1), с. 53–60, Чер 2015.
38. Куц, Ю. В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.
39. В. Малько, Ю. . Куц, Ю. . Лисенко, і Л. Щербак, «Метод ультразвукової фазової двокоординатної реєстрації інформації для систем автоматизованого неруйнівного контролю», Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak., вип. 65(1), с. 88–95.