

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»
УДК 620.179.16

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____Юрій КИРИЧУК
«__»_____2024_р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

на тему: «Система діагностики з віддаленою обробкою даних»

Виконав : студент II курсу, групи ПК-21мп
Куранда Максим Володимирович _____

Науковий керівник: доцент кафедри автоматизації
та систем неруйнівного контролю, к.т.н., доцент
Петрик Валентин Федорович _____

Консультант розділу :
завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф .
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент: завідувач кафедри ІВТ, д.т.н., проф.
Єременко Володимир Станіславович _____

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

Студент _____Куранда М.В.

Київ – 2024 року

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

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Юрій КИРИЧУК

«__»_____2024 р.

Завдання

на магістерську дисертацію студенту
Куранді Максиму Володимировичу

1. Тема дисертації: «Система діагностики з віддаленою обробкою даних» науковий керівник магістерської дисертації Петрик Валентин Федорович доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю, кандидат технічних наук, доцент затверджені наказом по університету від 08 листопада 2023 р. № 5188-с
2. Термін подання студентом дисертації: 08 січня 2024 р.
3. Об'єкт дослідження: система діагностики з віддаленою обробкою даних.
4. Вихідні дані: предмет дослідження – встановлення ефективності досліджуваної системи при роботі з порошковими матеріалами шляхом порівняння результатів вимірів системи з віддаленою обробкою даних на базі смартфона з результатами, отриманими за допомогою схожого за характеристиками приладу Einstein-II, а також зразковим спеціалізованим обладнанням – мікрометром.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідження сучасного стану розвитку порошкових матеріалів; аналіз переваг та недоліків методів діагностики композитних порошкових матеріалів; огляд ринку ультразвукових пристроїв для проведення ультразвукового НК; визначення переваг систем діагностики з віддаленою обробкою даних; розроблення стартап-проекту.
6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 5 плакатів А1

7. Орієнтований перелік публікацій: Куранда М.В. Система діагностики з відділеною обробкою даних – Збірник праць ХІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 20 – 21 грудня 2023 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 480 с. (С. 351 – 354).

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О. завідувач кафедри економічної кібернетики		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2023 р.

Календарний план

№ п/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1.	Формування завдання магістерської дисертації	14.09.2023	Виконано
2.	Аналітичний огляд	21.09.2023	Виконано
3.	Проведення дослідження	11.10.2023	Виконано
4.	Оброблення результатів дослідження	25.10.2023	Виконано
5.	Порівняння приладів	16.11.2023	Виконано
6.	Розроблення стартап-проекту	05.12.2023	Виконано
7.	Формулювання висновків та оформлення пояснювальної записки та презентації	25.12.2023	Виконано

Студент

Максим КУРАНДА

Науковий керівник дисертації

Валентин ПЕТРИК

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 106 стр., 28 рис., 30 табл., 38 джерел інформації.

Метою роботи є обґрунтування використання системами діагностики з віддаленою обробкою даних для контролю ФМХ ПКМ та визначення її переваг та недоліків у порівнянні з серійним обладнанням.

Об'єкт дослідження: система діагностики з віддаленою обробкою даних.

Методи дослідження: аналіз джерел, проведення серії вимірів на контрольних зразках за допомогою досліджуваної системи ринкового аналога та зразкового приладу.

Основні результати: Визначено переваги та недоліки різних методів НК для діагностики порошкових матеріалів. Досліджено роль ПКМ у сучасній промисловості та особливості роботи з ними. Обґрунтовано вибір ультразвукової діагностики для контролю ФМХ ПКМ. Шляхом дослідження ринку аналогів та серією експериментів доведено ефективність досліджуваної системи для контролю ФМХ ПКМ. Запропоновано основні напрями удосконалення системи діагностики з віддаленою обробкою даних. Розроблено старт-проект.

Наукова новизна одержаних результатів:

Досліджено розширення функціональних можливостей мобільних автоматизованих систем з віддаленою обробкою даних та визначення доцільності таких змін.

Проведено аналіз приладів, які використовуються та визначено їх переваги та недоліки.

Практичне значення одержаних результатів: Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоноване рішення дає можливість досягти більшої гнучкості та підвищенні рівня продуктивності; скорити час на обробку інформації та значно підвищити доступність неруйнівного контролю.

Апробація результатів дослідження представлено на ХІХ науково-практичній конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 20 грудня 2023 р.

Публікації: Куранда М.В. Система діагностики з віддаленою обробкою даних – Збірник праць ХІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 20 – 21 грудня 2023 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 480 с. (С. 351 – 354)

Ключові слова: НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, МОБІЛЬНА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДЕФЕКТОСКОП, ДЕФЕКТОСКОП З ВЛУЕТООТН ЗВ'ЯЗКОМ, БЕЗДРОТОВА ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, УЛЬТРАЗВУК, БЕЗДРОТОВІ МЕРЕЖІ, ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ, ВІДНОСНА ПОХИБКА.

ABSTRACT

Master's thesis: 106 pages, 29 figures, 30 tables, 38 sources of information.

The goal of the work is to justify the use of diagnostic system with remote data processing to control FMX PCM and to determine its advantages and disadvantages in comparison with serial equipment.

The research object is a diagnostic system with remote data processing.

Research methods: analysis of sources, carrying out a series of measurements on control samples using the researched system of a market analogue and a sample device.

Main results: The advantages and disadvantages of various NC methods for the diagnosis of powder materials were determined. The role of PCM in modern industry and the peculiarities of working with them are studied. The choice of ultrasound diagnostics for control of FMX PCM is justified. The effectiveness of the studied system for controlling FMX PCM has been proven by means of a market study of analogs and a series of experiments. The main areas of improvement of the diagnostic system with separate data processing are proposed. A start-up project has been developed.

Scientific novelty of the obtained results: Expanding the functionality of mobile automated systems with remote data processing and determining the expediency of such changes are studied.

An analysis of the devices used was carried out and their advantages and disadvantages were determined.

Practical significance of the obtained results: The practical significance of the work is that the proposed solution makes it possible to achieve greater flexibility and increase the level of productivity; speed up information processing time and significantly increase the availability of non-destructive testing.

Approbation of the research results was presented at the XIX scientific and practical conference "Efficiency and Automation of Engineering Solutions in Instrumentation", December 20, 2023.

Publications: Kuranda M.V. Diagnostic system with data processing - Proceedings of the XIX All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Efficiency and automation of engineering solutions in instrument construction", December 20-21, 2023 - K.: PBF, KPI named after Igor Sikorsky. - 2023. - 480 p. (p. 351 – 354)

Keywords: NON-DESTRUCTIVE CONTROL, MOBILE AUTOMATED SYSTEM, ULTRASONIC DEFECTOSCOPE, DEFECTOSCOPE WITH BLUETOOTH COMMUNICATION, WIRELESS DATA TRANSMISSION, ULTRASOUND, WIRELESS NETWORKS, POWDER MATERIALS, RELATIVE ERROR.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	10
1. ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ У СУЧАСНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	16
1.1 Порошкові матеріали та особливості використання.....	16
1.2 Селективне лазерне спікання	20
1.3 Аналіз методів діагностики порошкових матеріалів.....	23
Висновки до розділу 1.....	30
2 УЛЬТРАЗВУКОВІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ.....	31
2.1 УЗК.....	31
2.2 Аналіз приладів, які використовуються в УЗ дефектоскопії.....	33
2.3 Огляд сучасних мобільних пристроїв	41
Висновки до розділу 2.....	43
3. СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ З ВІДДАЛЕНОЮ ОБРОБКОЮ ДАНИХ.....	45
3.1 Особливості системи діагностики з відділеною обробкою даних	45
3.2 Структура запропонованого дефектоскопа	46
3.3 Програмне забезпечення.....	48
3.4 П'єзоелектричний перетворювач.....	51
3.5. Розрахунок електроакустичного тракту.....	55
Висновки до розділу 3.....	57
4. МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	59
4.1 Вибір матеріалу дослідження.....	59
4.2 Вимірювання та результати.....	61
Висновки до розділу 4.....	67
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	68
5.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту.....	68
5.2 Аналіз ринкових можливостей стартап проекту.....	73
5.3 Розроблення ринкової стратегії стартап проекту.....	81
5.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	84
5.5 Бізнес-модель та реалізація стартап-проекту	87
Висновки до розділу 5.....	91
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	95
ДОДАТКИ	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

НК	Неруйнівний контроль
ОК	Об'єкт контролю
ПКМ	Порошкові конструкційні матеріали
УЗ	Ультразвуковий
УЗК	Ультразвуковий контроль
ФМХ	Фізико механічна характеристика
AM	Additive manufacturing
SLM	Selective laser melting

ВСТУП

Актуальність теми. Неруйнівний контроль (НК) в даний час широко використовується в ряді галузей промисловості, включаючи будівництво, машинобудування, авіацію, нафту і газ (нафтогаз) і транспорт.

Подібно до багатьох інших галузей промисловості галузь НК також піддається експертним упередженням при розробці та виборі інструментів, які інспектори використовуватимуть для роботи. Як наслідок, більшість наявного сьогодні обладнання для НК не тільки виглядає складним (особливо для недосвідченого ока), але й є складним в експлуатації. Ринок обладнання для НК має багато продуктів, які досить важкі в експлуатації через складні меню, що створюють високе когнітивне навантаження на оператора навіть при найпростіших інспекційних роботах.

В останні роки цифрові та мобільні технології зробили електронні пристрої меншими, легшими та потужнішими. Однак, незважаючи на ці зміни, прилади контролю, які присутні на ринку, не зазнали значних змін. Їх, як і раніше, важко освоїти, вони мають маленькі екрани та численні кнопки на застарілому обладнанні. Їхні можливості звітування та співпраці обмежені.

Розробка доступних, надійних процесів і технологій неруйнівного контролю є доволі актуальним сьогодні. Це зумовило вибір теми дослідження, оскільки мобільні пристрої дадуть можливість вирішити дану проблематику через переваги, які вони пропонують.

Дуже потужні, але широко доступні електронні пристрої, такі як планшетні комп'ютери та мобільні телефони, включають різні датчики у вигляді камер, мікрофонів, датчиків вібрації та акселерометрів. Інші інструменти, що підключаються до смартфона, доступні для придбання, такі як ІЧ-камери, терагерцові матриці, датчики вихрових струмів, які можна використовувати для НК. Використовувати ці інструменти буде так само просто, як завантажити програму з App Store і підключити знімний пристрій до

телефону. Ось буквально все, що необхідно для початку вимірювання. Крім того це допоможе швидко обробити дані, отримані під час вимірювання.

Сьогодні смартфони, веб-сервіси електронної пошти, бездротове з'єднання та потокове передавання на вимогу – це споживчі продукти, які всі ми сприймаємо як належне. Мобільні пристрої останнього покоління показали, як операції можна спростити до такого рівня, коли ними зможуть користуватися навіть діти чи люди похилого віку, які раніше не користувалися такими технологіями.

У багатьох широко використовуваних сьогодні програмах і платформах, інтерфейси користувача мають багато рівнів параметрів налаштування, щоб задовольнити різноманітну базу користувачів, особливо враховуючи безліч програм і випадки використання, яким повинні відповідати продукти. Різноманітність також є причиною того, чому групи розробників таких продуктів наголошують на дизайні привабливих користувальницьких інтерфейсів для своїх програм, які формують звичку. Це прагнення до простоти, як правило, не виключає більш досвідченого використання програми тими, хто вміє та хоче це зробити, оскільки більш детальну конфігурацію розширених налаштувань можна виконати в прихованих діалогових вікнах інтерфейсу. У той же час, нові користувачі можуть негайно почати використовувати ці інструменти без попереднього знання самого продукту — і, звичайно, без необхідності читати друковані документи, такі як листівки з інструкціями з експлуатації або товсті посібники користувача, що можуть складатися з понад 200 сторінок.

«Інтернет речей» (IoT) – це явище, яке розвивається і все ще перебуває на ранніх стадіях розвитку. McKinsey & Company визначає IoT як датчики, підключені до комп'ютерних систем через мережі. Такі системи можуть відстежувати або контролювати стан і поведінку пов'язаних об'єктів і машин. Мережу фізичних пристроїв, транспортних засобів та інших елементів, оснащених електронікою, програмним забезпеченням, датчиками та

виконавчими механізмами, що забезпечують з'єднання та обмін даними між цими об'єктами.

Наразі в умовах просування Індустрії 4.0 зростає масове виробництво композитних матеріалів, а тому питання контролю якості набуває особливої актуальності.

Також необхідно відмітити, що в цих умовах відбувається зміна парадигми в основних концепціях цифрової революції, тобто в дизайні, загальних робочих процесах, а також у функціональності та процедурах, якими неруйнівні системи не тільки отримують і постачають дані про матеріали та процеси, але й генерують інформацію та знання, наприклад, за допомогою штучного інтелекту, який інтегрований у революційні технології для передової обробки сигналів та даних у системах НК.

Метою роботи є обґрунтування використання системами діагностики з віддаленою обробкою даних для контролю ФМХ ПКМ. Визначення її переваг та недоліків у порівнянні з серійним обладнанням.

Для досягнення мети були вирішені такі **завдання**:

дослідження сучасного стану розвитку порошкових матеріалів;

аналіз переваг та недоліків методів діагностики композитних порошкових матеріалів;

огляд ринку ультразвукових пристроїв для проведення НК;

визначення переваг систем діагностики з віддаленою обробкою даних;

проведення порівняльного дослідження системи діагностики з віддаленою обробкою даних та дефектоскопу Einstein-II ;

розроблення стартап-проекту.

Об'єкт дослідження – система діагностики з віддаленою обробкою даних.

Предмет дослідження – встановлення ефективності досліджуваної системи при роботі з порошковими матеріалами шляхом порівняння результатів вимірів системи з віддаленою обробкою даних на базі смартфона

з результатами, отриманими за допомогою схожого за характеристиками приладу Einstein-II, а також зразковим спеціалізованим обладнанням – мікрометром.

Методи дослідження: аналіз джерел, проведення серії вимірів на контрольних зразках за допомогою досліджуваної системи ринкового аналога та зразкового приладу.

Основні результати роботи. Визначено переваги та недоліки різних методів НК для діагностики порошкових матеріалів. Досліджено роль ПКМ у сучасній промисловості та особливості роботи з ними. Обґрунтовано вибір ультразвукової діагностики для контролю ФМХ ПКМ. Шляхом дослідження ринку аналогів та серією експериментів доведено ефективність досліджуваної системи для контролю ФМХ ПКМ. Запропоновано основні напрями удосконалення системи діагностики з відділеною обробкою даних. Розроблено старт-проект.

Наукова новизна одержаних результатів:

Досліджено розширення функціональних можливостей мобільних автоматизованих систем з віддаленою обробкою даних та визначення доцільності таких змін.

Проведено аналіз приладів, які використовуються та визначено їх переваги та недоліки.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоноване рішення дає можливість досягти більшої гнучкості та підвищенні рівня продуктивності; скорити час на обробку інформації та значно підвищити доступність неруйнівного контролю.

Апробація результатів дисертації. Результати дослідження представлено на XIX науково-практичній конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 20 грудня 2023 р.

Публікації. Куранда М.В. Система діагностики з відділеною обробкою даних – Збірник праць XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції

студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 20 – 21 грудня 2023 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 480 с. (С. 351 – 354)

Структура та обсяг дисертації. В першому розділі було оглянуто порошкові конструкційні матеріали, особливості їх виготовлення та використання, розкрито їх роль у сучасному виробництві. Проаналізовано переваги та недоліки важливого сучасного методу виробництва – SLM (Selective laser melting), також відомого як адитивне виробництво або 3D-друк. Розглянуто переваги та недоліки використання різних видів НК у адитивному виробництві, обґрунтовано використання ультразвукового неруйнівного контролю.

В другому розділі проведено аналіз ринку ультразвукових дефектоскопів, виявлено головні їх недоліки та запропоновано їх вирішення шляхом використання сучасних мобільних пристроїв і безпроводного зв'язку для передачі та віддаленої даних. Було показано, що прогрес цифрових технологій відкриває нові можливості для інспекторів ультразвукового НК.

Третій розділ містить практичні розробки. Проведено огляд запропонованої системи, представлено її алгоритм роботи, структурну та функціональну схеми. Проведено розрахунки п'єзоелектричного перетворювача та акустичного тракту.

В четвертому розділі, в ході дослідження було проведено по 3 виміри товщини у трьох точках для кожної площини для п'яти кубічних зразків нітриду кремнію (Silicon Nitride – Si_3N_4) за допомогою досліджуваної системи, а також серійного приладу Einstein-II. Проведено розрахунки відносної похибки для обох систем.

В п'ятому розділі створено стартап-проект «Система діагностики з віддаленою обробкою даних». Розроблена маркетингова програма, розроблено бізнес-проект та календарний план.

Загальний обсяг роботи 106 сторінок, у тому числі 100 сторінка основного тексту, 29 рисунків, 30 таблиць, додаток та 37 використаних джерел.

1. ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ У СУЧАСНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1 Порошкові матеріали та особливості використання

Порошкові конструкційні матеріали – це матеріали, які використовують порошки металів або їх сплави для створення компонентів, деталей чи виробів. Ці матеріали обробляються із застосуванням різних методів, таких як лазерне спікання, наплавлення, спікання під тиском, та інше з метою формування кінцевої деталі. Особливостями застосування порошкових конструкційних матеріалів є отримання порошкоподібних речовин та спікання заготовок з порошків при температурі нижче точки плавлення відповідного металу або найменш тугоплавкого компонента. Таким чином, послідовне здійснення в єдиному циклі операцій отримання порошку і перетворення його в виріб становить суть порошкової металургії [1]. Схема роботи з порошковими конструкційними матеріалами наведена на Рис.1.1.

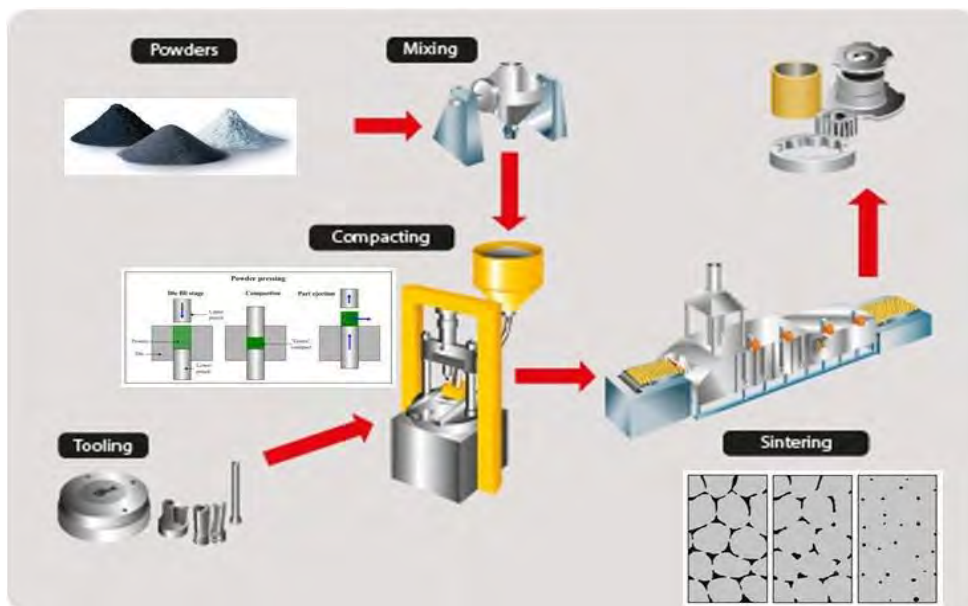


Рисунок 1.1 – Схема роботи з порошковими матеріалами

Порошкові матеріали можуть включати металеві порошки та їх сплави, а також керамічні та полімерні порошки. А такі процеси як селективне лазерне

спікання (SLM) або зв'язування порошку дозволяють створювати деталі складної форми з високою точністю і міцністю. Вони забезпечують високий рівень використання матеріалу, оскільки дозволяють виготовляти деталі без багатьох залишків чи відходів.

Порошкові конструкційні матеріали є унікальним класом матеріалів, який постійно розвивається і знаходить застосування в різних галузях промисловості, оскільки можуть мати різні інженерні властивості, включаючи міцність, теплопровідність, жорсткість та стійкість до корозії, які можуть бути налаштовані шляхом підбору складу порошку та процесів обробки.

Шляхом змішування різних типів порошків або додавання наночастинок, волокон або інших підсилювачів в матрицю можуть бути виготовлені матеріали, які є сумішшю або комбінацією різних порошкових частинок, об'єднаних для створення матеріалу з поліпшеними властивостями.

Наприклад:

Металеві композитні порошки: суміші металевих порошків з додаванням інших речовин для покращення властивостей, таких як жароміцність, твердість або міцність.

Керамічні композитні порошки: поєднання керамічних порошків з різними добавками для підвищення теплостійкості, довговічності або електричних властивостей.

Полімерні композитні порошки: комбінація полімерних порошків з наповнювачами або підсилювачами для покращення механічних властивостей, стійкості до зношування або термічної стабільності. Переваги композитних порошкових матеріалів дозволяють створювати матеріали з комбінованими або покращеними характеристиками, порівняно з вихідними матеріалами. Досягти бажаних властивостей шляхом контрольованого поєднання різних типів порошків, розробити матеріали із заданими властивостями для певних застосувань чи умов експлуатації. Такі матеріали і вироби з них технологічно складні у виготовленні та обробці, оскільки потребують спеціального

обладнання. А деякі методи створення композитів можуть бути витратними через необхідність спеціальних добавок або процесів змішування.

Композитні порошкові матеріали становлять інтерес в інженерії та промисловості завдяки їх покращеним властивостям та можливості створення налаштовуваних матеріалів для різних цілей та областей застосування.

Значну роль у сучасній індустрії, включаючи сфери застосування порошкової металургії відіграє **технологія 3D-друку**, також відома як **адитивне виробництво**.



Рисунок 1.2 – 3D друк

Адитивне виробництво засноване на високоточному осадженні матеріалу для створення кінцевої деталі або компонента за допомогою різних методів. Існує багато технологій адитивного виробництва, і кожна з них потребує використання ефективних методів контролю для забезпечення певного рівня якості, а також для виявлення дефектів та профілактичного/прогнозного обслуговування без зміни характеристик та початкового стану об'єкта контролю. Кожна методика НК заснована на різних фізичних принципах, тому її вибір і правильне використання залежить від застосування, виробничого процесу, типу матеріалу та багатьох інших факторів.

Аддитивне виробництво (AM) значно просунулося вперед за останні кілька років завдяки прогресу нових технологій і матеріалів. Стандарт ASTM52900–15 показує термінологію AM та загальні принципи, що також розглядаються в ASTM-I F2792. Відповідно до цього, AM визначається як «процес з'єднання матеріалів для створення об'єктів з даних 3D-моделі, як правило, шар за шаром, на відміну від субтрактивних методів виробництва. Синоніми: адитивне виробництво, адитивні процеси, адитивні методи, виробництво адитивних шарів, виробництво шарів та виготовлення довільної форми.

Одне з основних застосувань технології – швидке створення прототипів для перевірки дизайну та функціональності перед початком масового виробництва, а також для створення моделей, вивчення процесів виробництва та проведення наукових експериментів у навчальних цілях. Також вона дозволяє виготовляти індивідуальні та унікальні вироби складних геометричних форм включаючи медичні протези, індивідуальні кастомні вироби та інші, які важко чи неможливо зробити за допомогою традиційних методів.

3D друк використовується для виготовлення легких та міцних деталей, оптимізації конструкцій та зниження ваги компонентів у авіаційній, автомобільній, медичній та інших галузях промисловості. Створення інструментів та деталей для виробництва, де потрібна висока точність та складні форми, виготовлення макетів архітектурних проектів, прототипів будівельних елементів та моделей будівель. Виробництво на замовлення медичних протезів, моделей для практики хірургії, персоналізованих імплантатів та інших медичних пристроїв також неможливе без технологій 3D друку.

Переваги 3D-друку:

можливість швидкого створення деталей та виробів без необхідності складних виробничих процесів;

можливість виготовлення персоналізованих виробів для кінцевого споживача;

мінімізація відходів матеріалів, оскільки матеріал використовується лише там, де він потрібний для створення об'єкта;

здатність створювати складні форми та внутрішні структури і деталі, які важко чи неможливо отримати іншими способами.

Багато технологій адитивного виробництва використовують порошкові матеріали для створення деталей, наприклад лазерне спікання порошків металів (Selective Laser Melting, SLM) (Рис 1.3.). 3D-друк з використанням порошкових матеріалів дозволяє створювати деталі з високою точністю та якістю, що має велике значення для застосування в інженерії та виробництві.



Рисунок 1.3 – SLM additive manufacturing machine.

Технологія 3D-друку з порошковими матеріалами активно розвивається та знаходить нові застосування у різних галузях промисловості, забезпечуючи гнучкість, індивідуалізацію та можливість створення складних деталей.

1.2 Селективне лазерне спікання

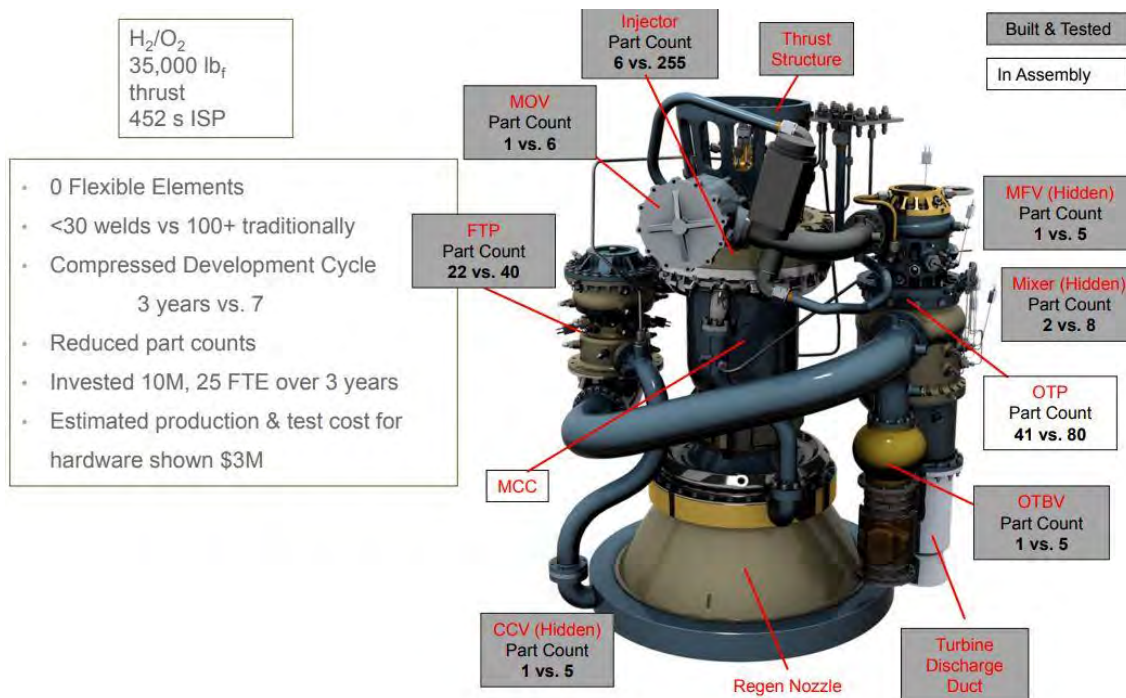
Селективне лазерне спікання (Selective Laser Melting – SLM) вперше запропоновано Інститутом лазерних технологій Фраунгофера в Німеччині, який був заснований у 1990-х роках, як різновид технології 3D-друку, яка

використовує порошок для плавлення під дією тепла лазерного променя, потім охолоджується, і застигає у форму. Це дає змогу організовувати кристалічні структури різних матеріалів, що надихає на створення деталей з більшою щільністю, які є майже єдиними конструкціями. В результаті плавлення порошкової сировини отримані вироби мають чудову гладкість поверхні. Його можна використовувати для прямого формування металевих деталей з майже повною щільністю. Технологія SLM пододала труднощі складних процесів виробництва металевих деталей.

Це унікальна технологія адитивного виробництва, яка відіграє незамінну роль у сучасній промисловій революції. 3D-принтери можуть безпосередньо обробляти металевий порошок, щоб швидше отримати необхідні деталі. Незабаром можна буде виробляти продукцію з безпрецедентною швидкістю. Для деяких деталей з високою точністю і складністю звичайні методи виготовлення є недостатніми. На противагу цьому, технологія SLM має деякі переваги, такі як відсутність прес-форм, що скорочує час виробництва та допомагає знизити витрати. Крім того, технологія SLM має потужні комплексні функції, які можуть скоротити час складання та покращити використання матеріалу. Деталі зі складною структурою, такими як порожнини і об'ємні сітки, можуть бути виготовлені без обмеження форми виробів. Продукція або деталі можуть бути надруковані швидко без використання дорогого виробничого обладнання. Якість продукції краща, а продуктивність механічного навантаження порівнянна з традиційними технологіями виробництва (наприклад, куванням).

У порівнянні з традиційною технологією обробки металу, технологія SLM може завершити виготовлення деталей без використання форм. Таким чином, процес SLM вимагає відносно меншої підготовки та має переваги у загальному виробництві та виготовленні складних деталей. Оскільки SLM використовує накладений процес (superimposed process), він також має деякі переваги щодо скорочення часу друку.

Наприклад, NASA Marshall Space Flight Center (MSFC) у 2012 році запустив проект демонстраційного двигуна Additive Manufacturing Demonstrator Engine (AMDE) (Рис. 1.4) і розробив прототип двигуна, який можна створити за допомогою технології SLM. Кількість деталей двигуна було зменшено на 80%, кількість зварних швів зменшено з понад 100 до менш ніж 30, а цикл розробки скорочено з 7 років до 3 років. У сфері цивільної аерокосмічної галузі успішно завершено перше льотне випробування вузла циліндра системи керування орієнтацією ракети, виготовленого компанією Cloud Casting 3D за технологією SLM. Порівняно з оригінальною технологією виробництва SLM формує компоненти газового циліндра без будь-яких з'єднувальних трубок, зменшуючи вагу виробу на 34,38%. Він



продемонстрував хороші ударні характеристики, значно зменшив конструктивні розміри та значно підвищив надійність системи.

Рисунок 1.4 – Additive Manufacturing Demonstrator Engine (AMDE)

В даний час механічні властивості сплавів SLM явно перевершують властивості ливарних сплавів. Завдяки характеристикам SLM-присадки, вона

має великі переваги в приготуванні великих і складних компонентів. Таким чином, виробництво компонентів SLM має великий потенціал інженерного застосування. Технологія SLM дозволяє обробляти щільні деталі зі складними формами, хорошою шорсткістю поверхні та високою точністю розмірів; таким чином, SLM можна використовувати для обробки жароміцних сплавів та інших факторів. Технологія обробки проста, що забезпечує більш швидкі методи проектування та виробництва продукції. SLM також може бути застосована для швидкого виготовлення концептуальних прототипів, виготовлення пресформ, функціональних деталей тощо. Тому технологія SLM є важливим напрямком розвитку адитивного виробництва.

1.3 Аналіз методів діагностики порошкових матеріалів

Плавлення порошкового шару є складним багат шаровим процесом мікрозварювання. Оброблюваний матеріал наноситься у вигляді порошку тонким шаром на опорну плиту. Порошковий матеріал (від 10 до 45 мкм) частково переплавляється лазерним випромінюванням і після застигання утворює твердий шар матеріалу. Потім базову плиту опускають на товщину одного шару (від 20 до 150 мкм) і знову наносять порошок. Цей цикл повторюється до тих пір, поки всі шари не будуть переплавлені.

Під час плавлення порошку і затвердіння локально виникають високі температурні градієнти. Це може призвести до пружних і пластичних деформацій навколо зони термічного впливу, що призведе до залишкових напружень. Це може привести до розшарування, перекосів, тріщин і геометричних відхилень.

Через занадто високу швидкість або занадто низьку потужність лазера в компоненті можуть виникати незварені ділянки. Якщо швидкість занадто низька або потужність лазера занадто висока, порошок може випаруватися. Утворюються пори.

В цілому АМ вразливий до змін процесу, тому виникає необхідність якісного контролю виробництва. Можливі дефекти: розшарування, спотворення, тріщини, геометричні відхилення, внутрішні / зовнішні пори.

Оскільки виникнення дефектів і зміна структури матеріалу може відбуватися на будь-якій стадії процесу виготовлення виробу, то особливе значення має розробка оперативних методів контролю, які дозволять оцінити зміну ФМХ ПКМ з високою точністю на будь-якому етапі виготовлення матеріалу та встановити ефективні технологічні режими процесу виробництва.

Більшість методів дослідження фізико механічних характеристик порошкових конструкційних матеріалів, що регламентовані ДСТУ та використовуються на сьогоднішній день при розробці нових матеріалів є руйнівними та потребують наявності спеціального обладнання, для визначення кожної з характеристик матеріалу й не дозволяють проводити серію експериментів з одним і тим самим зразком. Тобто їх неможливо застосовувати при побудові оперативної системи контролю фізико-механічних характеристик порошкових конструкційних матеріалів, на відміну від методів неруйнівного контролю. А для отримання ефективної технології виробництва та оптимізації вихідного компонентного складу матеріалу необхідно проводити оцінку змін фізико-механічних характеристик після кожного технологічного процесу [1]. Тому при роботі з виробами з порошкових матеріалів використовуються різні методи неруйнівного контролю (НК) для оцінки якості, виявлення дефектів і контролю процесу виробництва.

Неруйнівний контроль (НК) порошкових матеріалів має свої власні особливості та виклики, пов'язані з їхньою структурою та властивостями:

Неоднорідність та пористість: порошкові матеріали можуть мати нерівномірну структуру та пористість, що ускладнює застосування методів НК. Це може призвести до труднощів при виявленні дефектів або неоднорідностей, оскільки ультразвук або рентгенівське випромінювання можуть бути поглинені або розпорошені всередині матеріалу.

Текучість порошку: тонкоподрібнені порошки можуть мати властивість текучості, що ускладнює рівномірне заповнення форми при виготовленні виробів і може призвести до неоднорідної структури.

Непостійність густини: порошкові матеріали можуть мати змінну густину в різних областях, що створює відмінності в проникності для ультразвуку або рентгенівського випромінювання.

Складність візуалізації: порошкові матеріали можуть бути менш прозорими для методів візуального контролю або рентгенівського випромінювання через їхню текстуру та нерівномірну структуру.

Залежність від типу порошку: різні типи порошоків (металеві, керамічні, полімерні) можуть мати різні характеристики, що потребує ретельного підходу до вибору методу НК.

Щоб подолати ці проблеми та особливості, часто застосовуються комбіновані методи ПК або спеціалізовані техніки, розроблені для адаптації до особливостей порошкових матеріалів. Наприклад, адаптовані ультразвукові методи або застосування спеціальних режимів контролю можуть покращити ефективність НК для порошкових матеріалів. Вибір методу НК залежить від конкретних характеристик порошкових матеріалів, типу виробу, вимог контролю якості та доступних ресурсів. Комбінація кількох методів ПК може забезпечити більш повний та точний аналіз якості виробів із порошкових матеріалів.

Ось кілька методів НК та їх особливості у контексті порошкових матеріалів:

Ультразвуковий контроль (УЗК)

Ультразвуковий контроль заснований на поширенні УЗ хвиль, дозволяє виявити тріщини і включення. Проблемаю, що може ускладнити процес, є складна геометрія деталей АМ, яка може включати повітряні зазори, розсіювання «мікроструктури» або зміну щільності, яка може бути досягнута АМ, що ускладнює перевірку.

Переваги: найбільш широко використовуваний; дозволяє виявляти внутрішні дефекти, такі як порожнечі, тріщини або неоднорідність у структурі порошкових виробів; може використовуватись для оцінки щільності матеріалу та визначення його механічних властивостей; безпечний для людини та навколишнього середовища та може бути використаний для тестування на місці.

Недоліки: складність у проведенні контролю через особливості текстури порошкових матеріалів, можливі проблеми з отриманням чіткого сигналу через нерівномірний розподіл порошку; необхідна попередня обробка поверхні для компонентів із шорсткуватою поверхнею.



Рисунок 1.5 – Проведення ультразвукового НК.

Радіаційний контроль

Переваги: адаптується до різноманітних матеріалів, поверхні та структури, не має спеціальних вимог; можна застосовувати до різноманітних виробів для виявлення внутрішніх дефектів, включень та структурних неоднорідностей; може проникати крізь матеріал, що дає змогу бачити приховані дефекти [18].

Недоліки: чутливість рентгенівського контролю на дефекти площини низька; деякі порошкові матеріали можуть бути менш прозорими для

рентгенівського випромінювання, що ускладнює виявлення дефектів; потребує дорогого обладнання та підвищує вимоги до захисту персоналу, оскільки небезпечний для організму людини [18].

Магнітний контроль

Переваги: використовується для виявлення дефектів, пов'язаних з магнітними властивостями матеріалу, наприклад тріщини, включення або порожнечі; пропонує інтуїтивно зрозуміле видиме відображення форми, розташування та розміру дефекту з високою чутливістю; майже ніяких обмежень щодо розміру та форми зразка, швидке, просте та недороге тестування.

Недоліки: може бути використаний лише до магнітних матеріалів, дозволяє отримати дані лише про загальну пористість ОК; підходить лише для пошуку поверхневих і приповерхневих дефектів (виявлена глибина зазвичай становить 1 ~ 2 мм); потребує розмагнічування та очищення після тестування.

Метод вимірювання електропровідності

Переваги: має високу чутливість до пористості матеріалу і стану міжчасткових контактів, може бути корисним для оцінки структурних аспектів порошкових матеріалів, їхньої компактності, однорідності та потенційних дефектів.

Недоліки: може бути використаний лише до електропровідних матеріалів. Потребує виготовлення спеціальних зразків.

Вихрострумний метод

Вихрострумний метод (англ. eddy current testing) є одним із методів неруйнівного контролю (НК), який використовує вихроструми для виявлення дефектів чи аномалій в матеріалах. Основний принцип полягає в тому, що вихроструми виникають в матеріалі під впливом змінного магнітного поля, і їх характеристики залежать від властивостей матеріалу та його структури[3-7].

Переваги: простота, висока чутливість до дефектів та змін в матеріалі, висока швидкість, безконтактність.

Недоліки: залежність від властивостей матеріалу (електропровідності, магнітних властивостей тощо); контроль обмежений глибиною проникнення токів Фуко і може виявляти лише поверхню та підповерхневі дефекти, а також об'єкти складної форми, які важко перевірити.

Тестування на проникнення (РТ)

Використовується для виявлення таких дефектів як тріщини, поверхнева пористість і втомні тріщини. Етапи перевірки поділяються на підготовку поверхні, нанесення пенетранту, екс-пенетрант, застосування проявника, доочищення та перевірку [33].

Переваги: поширений, простий і недорогий метод перевірки дефектів поверхні. Можна поєднувати з візуальним оглядом для виявлення тріщин або високої пористості на поверхні можна поєднувати з візуальним оглядом для виявлення тріщин або високої пористості на поверхні.

Недоліки: висока шорсткість поверхні деталей АМ може призвести до високого шуму зворотного округу. Методи, що застосовуються для зменшення шорсткості поверхні можуть привести до того, що пенетрант більше не зможе увійти в дефект і, отже, тріщину більше не можна буде виявити. У зв'язку з процедурою огляд внутрішніх конструкцій, які є перевагою АМ, неможливий.

IQ4AP

IQ4AP – це вбудована система забезпечення якості для адитивного виробництва SLS (пластмас), яка була розроблена в Інституті Фраунгофера. В його основі лежить машинний зір. У системі використовується камера, експозиція і вентиляція. За шаром порошку постійно спостерігає камера, щоб виявити можливі дефекти в процесі нашарування або спікання. Для виявлення використовується кілька алгоритмів [33].

Переваги: можна виявити як грубі, так і дрібні дефекти, які можуть виникнути, наприклад, через пошкоджений кожух. Крім того, можна зафіксувати розміри вже спеченого шару. Наприклад, діаметр отвору, відстань між отворами тощо можна переглянути та оцінити вбудовано. Система є

модульною, економічно вигідною і теоретично також може бути використана для обробки металу (SLM).

Недоліки: у зв'язку з процедурою огляд внутрішніх конструкцій, які є перевагою АМ, неможливий.

В останні роки було досліджено застосовність кількох методів контролю, таких як тестування вихровими струмами, комп'ютерна томографія або рентгенівська візуалізація, але дослідження показали, що всі вони мають недоліки, які роблять їх недоступними для повної та надійної дефектоскопії та розпізнавання дефектів щільності.

Наприклад, незважаючи на те, що рентгенівська комп'ютерна томографія (ХСТ) широко використовується для НК деталей, виготовлених за допомогою 3D-друку, матеріали високої щільності, такі як сплави Ni-super, обмежують глибину проникнення рентгенівських променів. Наприклад, для деталей з нержавіючої сталі максимальна глибина проникнення ~ 10 мм і роздільна здатність вокселя 20 мкм досягається при промисловій системі ХСТ, що працює на напрузі 225 кВ. При такій роздільній здатності неможливо достовірно розрізнити дефекти діаметром менше 40 мкм. Крім того, ХСТ не надає інформацію щодо мікроструктури зразка[30].

Було показано, що ультразвуковий контроль є ефективним інструментом для виявлення дефектів, товщини, розміру зерен, щільності/пористості та механічних властивостей [4 – 8]. Ультразвукове тестування пропонує високу роздільну здатність у порівнянні з доступними методами НК.

Ультразвукові вимірювання використовують високочастотні звукові хвилі (>20 кГц) для неруйнівного тестування та оцінки матеріалів і здатні отримувати інформацію про мікроструктуру та фізичні недоліки, такі як пористість та розтріскування. Вимірювання фазової швидкості ультразвуку корелюються з пружними властивостями та мікроструктурою матеріалів через залежність швидкості хвилі від кристалографічної орієнтації. Крім того, в полікристалічних матеріалах ультразвукове розсіювання і загасання пов'язані

з мікроструктурною морфологією і орієнтацією; в той час як дифузне ультразвукове зворотне розсіювання (тобто шум зерна), яке виникає в результаті розсіювання мікроструктури, корелювало з розміром зерен і гранулометричним розподілом [25].

Висновки до розділу 1

Застосування неруйнівного контролю в адитивному виробництві має вирішальне значення для забезпечення ефективного формування компонентів, а також для того, щоб осадження матеріалів виконувалося точно та без розривів.

Аналіз розглянутих методів НК, відносно їх застосування для контролю ФМХ виробів з порошкових матеріалів дозволяє зробити висновок, що застосовувати ультразвуковий метод НК є найбільш оптимальним рішенням. Оскільки, такі системи прості у реалізації у порівнянні з іншими методами. Можуть бути застосовані для оперативного контролю та дають можливість автоматизації процесу контролю. Мають кореляційні або аналітичні залежності параметрів акустичної хвилі з більшістю ФМХ ПКМ, можуть бути застосовані до об'єктів різної форми та в разі обмеженого доступу до них. Дають можливість використовувати їх на будь-якому етапі виготовлення виробу. УЗК може точно виявити різні внутрішні дефекти, такі як порожнечі, тріщини, включення та нещільності у порошкових матеріалах. Відрізняється високою чутливістю до дефектів і може надати точні дані щодо характеристик дефектів. Може бути виконаний відносно швидко, що робить його ефективним для контролю якості у виробничому середовищі. А досліджувана система робить його також доступним на простим у використанні.

2 УЛЬТРАЗВУКОВІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

2.1 УЗК

Ультразвуковий метод контролю (УЗК) — це один з методів НК, який передбачає надсилання звукових хвиль крізь матеріал за допомогою ультразвукового зонда та реєстрацію часу та амплітуди їх відбиття для виявлення внутрішніх дефектів.

Ультразвуковий НК використовує здатність високочастотної звукової енергії легко проходити крізь кілька матеріалів і, таким чином, допомагає проводити експертизи та вимірювання, які можна використовувати для дефектоскопії, вимірювання розмірів і характеристики матеріалу. Ультразвукове дослідження можна розділити на контактне, безконтактне занурення та безконтактне в повітрі. Для всіх видів ультразвукових систем потрібне середовище, будь то в'язка рідина при контакті, вода/спирт при зануренні або повітря при безконтактному НК. Ультразвукові сигнали зазвичай бувають трьох типів: поздовжні, поперечні та поверхневі.

Ультразвуковий метод контролю (УЗК) дозволяє виявляти велику кількість різних дефектів, а також отримувати достовірні дані про місцезнаходження, характеристики та розміри дефектів [4 – 8].

Проведене дослідження щодо ультразвукових методів неруйнівного контролю показує, що вони широко застосовуються у різних галузях промисловості. За допомогою ультразвуку виявляють дефекти та пошкодження, визначають фізико механічні характеристики і вимірюють геометричні параметри об'єктів та ін.

Ультразвуковий метод неруйнівного контролю використовується для оцінки структури та виявлення дефектів у різних матеріалах, включаючи метали, композити, пластмаси та інші. Він ґрунтується на принципі використання ультразвукових хвиль для аналізу внутрішніх характеристик об'єктів без їх пошкодження.

Ультразвукові вимірювання також використовуються для характеристики якості полімерів і композитних матеріалів, оброблених АМ. Наприклад, Machado et al. Використовували ультразвукову техніку для виявлення дефектів, таких як порожнечі, в зразках, виготовлених з різних полімерних матеріалів і композитів, отриманих шляхом моделювання плавленого осадження. Аналогічно, Zamen et al. Використовували нелінійний аналіз ультразвукових сигнатур для характеристики слабкого міжшарового зв'язку у великомасштабних полімерах АМ [30].

Рисунок 2.1 ілюструє основні принципи ультразвукового контролю. На зонд подається імпульс напруги для генерації ультразвукового імпульсу, що поширюється в досліджуваній матеріал через зв'язуючий агент. Хвилі поширюються через матеріал та взаємодіють із включеннями, дефектами, межами розділу різних матеріалів або іншими неоднорідностями. При взаємодії ультразвукових хвиль з неоднорідностями відбуваються відображення або розсіювання сигналу. Ці зміни відбиваються назад на приймальний датчик. Отриманий сигнал аналізується для визначення глибини, розміру, типу дефекту або інших характеристик, ґрунтуючись на часі затримки, інтенсивності відображення та інших параметрах сигналу [25].

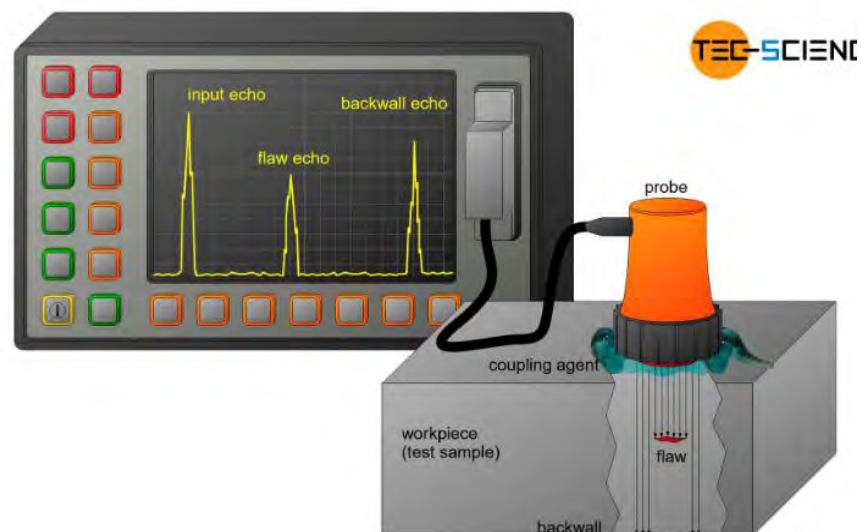


Рисунок 2.1 – Основний принцип роботи ультразвукового НК

Ультразвуковий НК широко використовується в різних галузях.

Металургія та машинобудування: для виявлення тріщин, включень, порожнин, оцінки структури металевих деталей.

Нафтогазова промисловість: для перевірки цілісності трубопроводів, виявлення корозії та дефектів зварних з'єднань.

Цей метод дозволяє проводити швидкий та відносно точний аналіз матеріалів та конструкцій без необхідності руйнувати або розбирати зразки, що робить його важливим інструментом в індустрії контролю якості та обслуговування. Ультразвукові методи є перспективними для виявлення пустот і тріщиноподібних дефектів у металевих деталях, виготовлених за допомогою 3D-друку.

2.2 Аналіз приладів, які використовуються в УЗ дефектоскопії

Апарат для УЗК зазвичай складається з кількох ключових компонентів:

1. Перетворювач або зонд – є основним компонентом, відповідальним за генерацію та прийом ультразвукових хвиль.

2. Імпульсор-приймач – виробляє електричний імпульс, який приводить в рух перетворювач і підсилює отримані сигнали в контексті ультразвукового тесту.

3. Програмне забезпечення для реєстрації та аналізу даних, яке дозволяє зберігати та аналізувати дані перевірок у контексті ультразвукового контролю НК, полегшуючи створення звітів та документації.

4. Калібрувальні блоки – використовуються для калібрування обладнання та забезпечення точності вимірювань при УЗК.

5. Кабелі та роз'єми: кабелі з'єднують перетворювач з машиною УЗ, дозволяючи передавати електричні сигнали при ультразвуковому контролі.

6. Екран дисплея: екран забезпечує візуальний інтерфейс для інспектора для моніторингу процесу перевірки та перегляду результатів, забезпечує візуальне представлення даних, отриманих від перетворювача, показуючи відлуння та дозволяючи інспектору аналізувати результати під час УЗК .

7. Клавіатура або панель керування: оператори використовують клавіатуру або панель керування для налаштування параметрів, налаштування параметрів і контролю процесу перевірки, центрального для ультразвукового контролю NDT.

Ось найпоширеніші види ультразвукового обладнання, які використовують інспектори:

- **Ультразвукові перетворювачі та зонди.** Перетворювачі використовуються в декількох видах ультразвукового вимірювання товщини, включаючи випробування зварного шва та вимірювання товщини. Типи включають фазовану решітку, занурювальні та контактні перетворювачі.

- **Дефектоскопи.** Перевірені в польових умовах портативні рішення для ультразвукового тестування для швидкої та точної перевірки внутрішньої цілісності продукту, пошуку дефектів, тріщин та інших розривів. Дефектоскопи портативні, потужні та чутливі, що дозволяють інспекторам проникати в матеріали на значну глибину.

- **Товщиноміри.** Ультразвукові товщиноміри зазвичай використовуються для перевірки товщини різних металів, включаючи латунь, сталь, нікель і свинець. Товщиноміри можуть бути особливо корисними для виявлення корозії.

- **Автоматизовані системи УТ.** Автоматизовані ультразвукові системи товщини – це системи, які можна встановити та збирати ультразвукові показання без фізичної присутності інспектора, що дозволяє збирати дані, які можуть бути корисними для довговічності активу, навіть коли когось там немає. Ці системи зазвичай використовуються для моніторингу труб у нафтогазовій промисловості.

Аналіз приладів, які використовуються для проведення вимірювання НК свідчить, що дефектоскопи досить різноманітні, та мають свої переваги та недоліки у використанні.

Але досить часто зустрічаються перепони на шляху впровадження потужних і універсальних цифрових платформ у НК. Серед них наприклад, обмеження використання бездротової передачі даних; давні звички користувачів, наприклад, підтримка неефективних застарілих робочих процесів; страх зовнішнього зберігання даних, наприклад блокування хмарних рішень для резервного копіювання.

Оператори тримають ультразвуковий датчик рукою; з іншого боку, вони тримають і керують своїм дисплеєм. Ця вимога щодо роботи обома руками означає, що лише до частини екрана легко дістатися великим пальцем, коли пристрій тримається однією рукою. Ця область називається зоною великого пальця. Він змінюється між пристроями залежно від розміру екрана та показаний на рисунку 2.2.

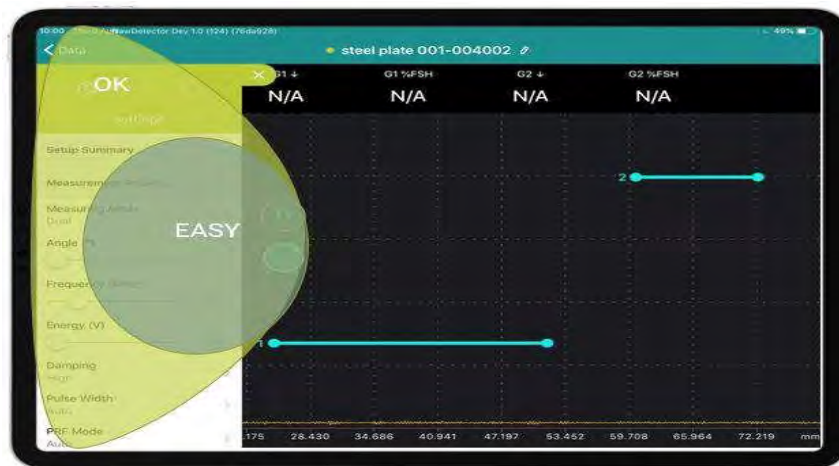


Рисунок 2.2 – Зона великого пальця ультразвукового дефектоскопа на планшеті для оператора-правші, який тримає iPad у лівій руці.

Інспектор іноді працює з ультразвуковим приладом НК по 12 годин на день і тому піддається фізичному навантаженню. Тут електроніку відокремлено від екрана, тож оператор може покласти такі важкі частини, як акумулятор і базовий блок, на ремінь або рюкзак і носити лише iPad (який важить менше, ніж банка кока-коли), тому це знімає навантаження на зап'ястя. Як правило, існує компроміс із наявними пристроями; або у вас може бути великий екран, але він буде важким, або пристрій із малою вагою, але екран

маленький, що спричиняє втому очей. Модульність Proceq UT8000 забезпечує великий екран із малою вагою.

Сучасні мобільні пристрої використовують захищене хмарне сховище та негайну синхронізацію даних з іншими партнерами у співпраці або розсилку звітів зовнішнім сторонам. Програмний продукт на основі браузера також забезпечує доступ до даних незалежно від місцезнаходження, часу чи апаратної платформи. Попередньо визначені шаблони для поширених форматів файлів експорту, таких як PDF або CSV, використовуються для обміну результатами за межами безпечної екосистеми. Пряме створення звіту та миттєвий доступ до даних перевірки значно заощаджує час за рахунок усунення часу очікування та помилок транскрипції.

Оператор, який використовує дефектоскоп, повинен уважно стежити за A-Scan на дисплеї, щоб виявити дискретні зміни, спричинені показаннями. Сучасні дефектоскопи мають екрани, побудовані поверх ультразвукової електроніки. Ці екрани можуть мати розмір від 2,5 до 7 дюймів, бути монохромними або повнокольоровими та мати частоту оновлення до 60 Гц. З більшими екранами пристрої важчі, тому типові дефектоскопи важать від 400 г до 3 кг. Оператор повинен знайти компроміс між великим важким екраном або легким портативним пристроєм. Великий, важкий пристрій важко носити протягом 10-12-годинних змін, як зазвичай працює оператор, і його важко розташувати в так, щоб екран було легко видно, поки оператор сканує деталь.

З невеликими, легкими пристроями оператор ризикує втомити очі від перегляду крихітного екрана, а також вважатиме проблематичним перегляд даних і звіт про результати на місці перевірки.

Навіть якщо в гіршому випадку це не вплине на результати перевірок, а в кращому випадку це призведе до значного підвищення продуктивності, зменшення помилок вручну добре доведено завдяки системі, якою простіше керувати.

Ці застарілі пристрої були розроблені незважаючи на їхню дедалі більшу застарілість та невідповідність потребам ринку, оскільки їх важко замінити, особливо якщо вони пройшли валідацію разом із процедурою або утворюють важливі бізнес-процеси в компанії. Передбачуваний ризик зміни статус-кво шляхом переходу на новітні технології може бути занадто високим, якщо процес встановлення критичних критеріїв перевірки відрізняється від процесу успадкованої системи.



Рисунок 2.3 – Ультразвуковий дефектоскоп EPOCH 650

Подолання цих проблем може бути здійснено за допомогою новітніх споживчих технологій. Це дозволить інспектору зосередитися на операціях, що додають цінність та витратити менше зусиль на другорядні аспекти їхньої ролі з низькою доданою вартістю, такі як звітність, зберігання й керування даними.

Найпоширенішим ремонтом/заміною обладнання для перевірки, яке було виявлено зазвичай був тріснутий дисплей або несправний акумулятор. Існуючий процес ремонту блоку полягав у тому, щоб відправити блок назад до місцевого представника або до головного заводу OEM і зробити замовлення на заміну частини. Як правило, весь процес тривав щонайменше 3 тижні. У цей час пристрій не можна використовувати, і тому постачальник послуг інспектування, будь то велика організація чи приватний підприємець, не може

продавати свої послуги. Виходячи з 60-годинного робочого тижня з оплатою 25 доларів США на годину, цей простой призводить до втрати доходу принаймні 4500 доларів США плюс вартість ремонту. Тому постачальнику послуг потрібно буде зберігати додаткові запаси, щоб покрити ризик цього простою, що, у свою чергу, збільшує накладні витрати. Якщо під час перевірки не буде заміни, постачальник послуг ризикує завдати фінансової чи репутаційної шкоди, якщо роботу не буде завершено.

Нові пристрої, наприклад Proceq UT8000 (рис.2.4), відокремили ультразвукову електроніку від дисплея та використали споживчі продукти, такі як Apple iPad для відображення A-Scan і використовують стандартні батареї AA для живлення. Тепер оператор може вибрати зручний розмір екрана на основі своїх ергономічних уподобань і більше не має компромісу щодо розміру та ваги екрана. Типова вага, яка зараз знаходиться в руках оператора, коливається від 300 до 700 г разом із захисним футляром, а розмір екрану становить від 7 до 11 дюймів.



Рисунок 2.4 – Ультразвуковий дефектоскоп Proceq UT800

У всіх великих супермаркетах або магазинах електроніки в усьому світі можна придбати запасні частини, що є в наявності, а також замінити екрани та додаткові акумулятори. Якщо пристрій має підключення до хмари, усі раніше

зібрані дані зберігаються в хмарі, і оператор може продовжити перевірку, використовуючи ті самі налаштування, що й до переривання, зберігаючи відстежуваність і безперервність бізнесу. Для порівняння можемо розглянути використаний нами серійний ультразвуковий дефектоскоп фірми (MODSONIC) - Einstein II (Рис. 2.5).

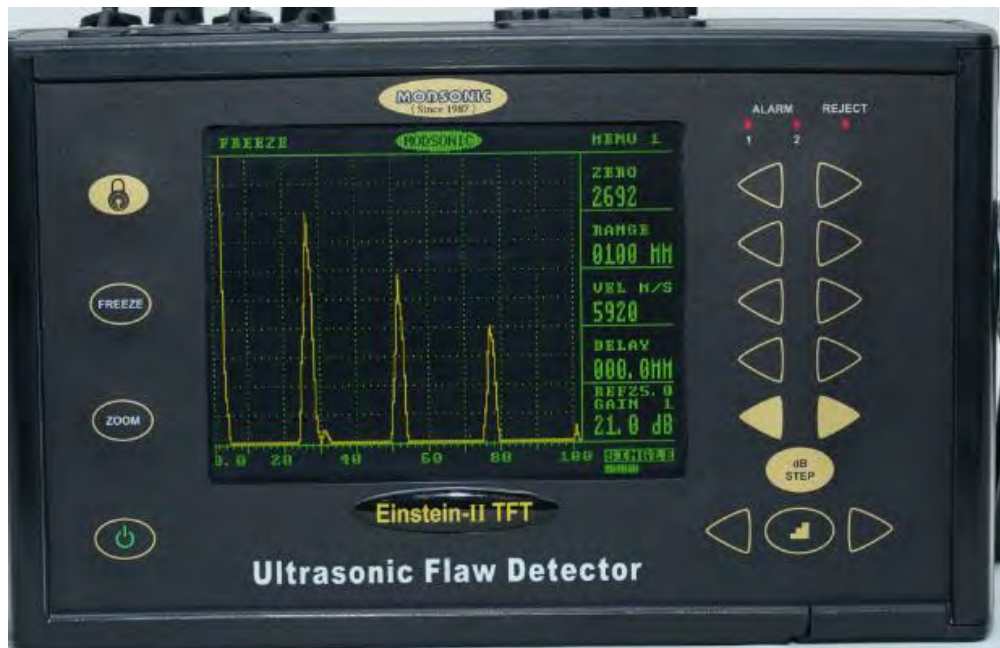


Рисунок 2.5 – Ультразвуковий дефектоскоп Einstein II компанії MODSONIC

Прилад призначений для ультразвукового контролю продукції на наявність дефектів типу вирішення суцільності та однорідності матеріалів, готових виробів, напівфабрикатів та зварених (паяних) сполук; вимірювання глибини та координат залягання дефектів.

Ось деякі його характеристики:

- Компактний та легкий(!) електронний блок приладу (2,3 кг).
- Пам'ять приладу дозволяє зберегти 200 А-скан-зображень та 50 налаштувань приладу для роботи з різними об'єктами контролю.
- 8 годин автономної роботи (забезпечуються Li-Ion акумуляторами).
- РК (Рідкокристалічний) дисплей 122x92 мм (320x240 пік.) з підсвічуванням та гарною читальністю під прямим сонячним промінням.

Для порівняння сучасні мобільні пристрої мають 256/512 Гб пам'яті, акумулятори що можуть забезпечити 8-10годин безперервної роботи та швидку зарядку до 100% менше ніж за годину. Набагато кращі екрани з діагоналлю 6-7 дюймів і частотою оновлення 120Гц та роздільною здатністю до 3200x1440 пікселів; вбудовані обчислювальні потужності, що не поступаються комп'ютерам та можливість використовувати сучасні стандарти зв'язку щоб відправити дані для обробки у хмарні сервіси чи спеціалізовані центри відповідної організації з будь якої точки світу. І все це у компактному, тонкому корпусі вагою +-200граммів, надійно захищеному механічних пошкоджень, вологи та пилі.

Більшість доступного обладнання для НК виглядає складним, а також є складним у використанні, оскільки воно, як правило, розроблене експертами для експертів, з думкою, що спрощення означає «задурення» продукту. Не тільки сам процес вимірювання, але й попередні налаштування, призначені для забезпечення правильного налаштування перед вимірюванням, у деяких випадках перевищують розуміння користувача. Під час аналізу результатів вимірювань – зображень А-сканування компетентність в аналізі, а отже, і якість висновків, може сильно відрізнятись між операторами. У той час як експерти часто покладаються на необроблені дані, щоб зробити досвідчені висновки, нові користувачі віддають перевагу обробленим і графічним зображенням для інтерпретації результатів.

До сьогодні операторам обладнання для НК доводилося вручну документувати процедури вимірювання таким чином, щоб вони могли підтвердити дотримання необхідних вказівок, що інструменти та зонди, які використовувалися, були належним чином відкалібровані та перевірені, а також наявність будь-яких відхилень від оригіналу. Ці проблеми призводять до відсутності відстеження в процесі. Як показують останні новини (4), (5), наслідки для персоналу, ефективності бізнесу, бренду, довіри клієнтів можуть бути значними.

Одне з найбільш трудомістких завдань сьогодення – це донести результат до поля. Спостереження показали, що час, витрачений на виконання цього завдання, може в один-два рази перевищувати фактичний час, витрачений на завдання вимірювання. Передача результатів стала важливим елементом під час взаємодії з колегами на великому дослідницькому майданчику, бек-офісом, постачальниками чи клієнтами. До цього часу дані зазвичай зберігалися на папері, на самому пристрої НК або на знімному носії. Деякі пристрої покладалися на ручний експорт даних із використанням зазначеного сховища з подальшим імпортом цих даних у інструменти на ПК для підготовки звіту – низка ручних кроків, які не потребують додаткової вартості, з високим ризиком помилок і втрати даних, що також спричиняє відволікання від справжньої роботи, яку потрібно виконати.

2.3 Огляд сучасних мобільних пристроїв

Мобільні пристрої останнього покоління показали, як операції можна спростити до рівня, коли ними зможуть користуватися навіть діти чи літні люди. Ці пристрої з'єднують більшість людей, і їх можна відстежувати для виявлення місцезнаходження та використання, що робить управління інспекційних послуг більш проникливим. Мобільні пристрої останнього покоління мають відео, аудіо та можливості малювання на екрані, що забезпечує ефективний спільний аналіз між членами інспекційної групи.

Сучасні інструменти використовують безпечні хмарні рішення для зберігання в режимі реального часу результатів, зібраних на місці. Разом із бездротовим зв'язком через мережу або Wi-Fi це стало потужним інструментом для негайної синхронізації даних з іншими партнерами по співпраці або розповсюдження звітів зовнішнім сторонам. Крім того, програмний продукт на основі браузера дозволяє отримати доступ до даних незалежно від місця розташування, часу та апаратної платформи. У захищеній мережі, що складається з датчиків, мобільних пристроїв і хмарного сховища,

відбувається обмін необробленими даними. Попередньо визначені шаблони для поширених форматів файлів експорту, таких як PDF або CSV, використовуються для обміну результатами за межами безпечної екосистеми. Було доведено, що пряме створення звітів і миттєвий доступ до даних розслідування покращують не лише співпрацю, але й призводять до значної економії часу. Крім того, за допомогою великих даних, створених обладнанням із підтримкою Інтернету речей, постачальники можуть розробляти нові компоненти, щоб уникнути певних збоїв і усунути невикористовувані функції.



Рисунок 2.6 – Екосистема Proseq Live зменшує зусилля, пов’язані з ручним введенням даних і звітуванням, і забезпечує обмін даними в реальному часі та співпрацю між користувачами. Перетворювачі підключаються через Wi-Fi до мобільного пристрою, який підключається до системи резервного копіювання даних бездротовим способом через WLAN або 3G/4G. Звіти, доступ до веб-інструментів і варіанти співпраці полегшені [26]

Прогрес цифрових технологій відкриває нові можливості для інспекторів ультразвукового НК. Такі досягнення забезпечують перспективність ролі інспектора завдяки підвищенню простоти використання завдяки зручним та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсам користувача, вищій точності та

ефективності завдяки зменшенню кількості помилок і переробок у робочих процесах, створенню відстежуваних процедур з меншими зусиллями та можливістю помилок, а також забезпечення безперешкодного обміну даними для співпраці та забезпечення якості.

Смартфон став не просто пристроєм для зв'язку, але невід'ємною частиною повсякденного життя сучасної людини. Він є вікном у світ інформації, надаючи доступ до новин, погоди, книг, відео, музики, блогів та безлічі інших ресурсів, дозволяє легко і швидко спілкуватися з рідними, друзями та колегами, використовуючи не лише телефонні дзвінки, а й повідомлення, відеодзвінки, соціальні мережі тощо. Використовуються для робочих завдань, електронної пошти, створення та редагування документів, управління проектами та спільної роботи. Має камери для фотографування, зйомки відео, редагування та спільного обміну.

І це лише частина можливостей, які пропонують смартфони. Вони стали більше, ніж просто пристрій для зв'язку, перетворившись на універсальний інструмент для багатьох аспектів нашого життя та обов'язковий елемент гардеробу сучасної людини. Зробивши «ставку» на сучасні мобільні пристрої можна не тільки доступність завдяки зменшенню необхідних фізичних компонентів дефектоскопа і, як наслідок, ціни. А й зробити роботу інспектора комфортнішою завдяки використанню звичного, універсального приладу.

Висновки до розділу 2

Використання смартфонів для передачі даних та хмарного середовища для їх обчислення дає можливість максимально зменшити вагу та габарити необхідного обладнання, забезпечити підтримку різних типів сенсорів і додавати нові функції на програмному рівні без зміни обладнання. Запропонована система значно спрощує та прискорює процедуру НК а хмарне сховище даних дозволяє в режимі он-лайн через Інтернет створювати експертні комітети з різних компаній і країн для оцінки результатів

ультразвукового сканування важливих структур без фактичної присутності в місці сканування. Окрім того, цей підхід дозволяє автоматизувати формування звітів, має великі перспективи використання штучного інтелекту для виявлення, розпізнавання типу та розміру дефекту оскільки обчислення ми буде займатись потужний центр а не портативний прилад, а надходження до нього великої кількості різноманітної інформації дає можливість для створення бази даних та навчання інтелекту – це найближче майбутнє в неруйнівному контролі.

Основними досягненнями перспективного НК є збільшення простоти використання завдяки зручним та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсам користувача, більш висока точність і ефективність за рахунок зменшення кількості помилок і переробки в робочих процесах, створення відстежуваних процедур з меншими зусиллями та можливістю помилок, а також забезпечення безперешкодного обмін даними для співпраці та забезпечення якості.

3. СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ З ВІДДАЛЕНОЮ ОБРОБКОЮ ДАНИХ

3.1 Особливості системи діагностики з відділеною обробкою даних

Віддалена обробка даних дозволяє збирати, аналізувати та керувати даними в режимі реального часу. Рішення для віддаленого контролю полегшують раннє виявлення проблем для прогнозованого технічного обслуговування та підвищення операційної ефективності (Рис. 3.1)

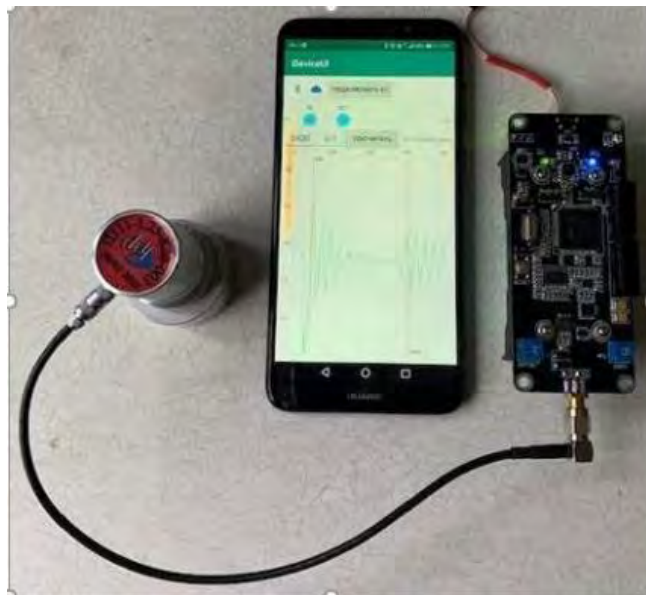


Рисунок 3.1 – Система діагностики з віддаленою обробкою даних на базі смартфона

Система віддаленого моніторингу залежить від точного збору даних. На ефективність віддаленої діагностики та підтримки безпосередньо впливають можливості пристроїв віддаленого моніторингу, включаючи кількість та якість датчиків, якими вони володіють.

Цифрові продукти та послуги зараз скрізь руйнують традиційні індустрії. Смартфони, планшети та пристрої останнього покоління відіграють ключову роль у розвитку технологій, забезпеченні більшої гнучкості та підвищенні рівня продуктивності.

Наразі серед академічних вчених немає єдиної думки щодо конкретного визначення хмарних обчислень. Але загалом визначення хмарних обчислень поділяється на вузьке та широке значення. Вузьке визначення хмарних обчислень стосується створення центрів обробки даних або суперкомп'ютерів за допомогою технології розподіленого обчислення та віртуалізації, масштабованого підходу до розробників технологій, корпоративних клієнтів зі зберіганням даних, аналізом і науковими обчисленнями та іншими послугами. Узагальнене визначення хмарних обчислень полягає в тому, що вони надають клієнтам різні типи програмних онлайн-сервісів через створення кластера серверів, оренду обладнання, зберігання даних, обчислення та аналіз різних типів послуг. Узагальнені хмарні обчислення включають більше виробників і типів послуг. Мережеві ресурси називаються «хмарою»; «хмара» ресурсів, з точки зору користувача, здається нескінченно масштабованою та може використовуватися з оплатою за використання. Принцип хмарного виявлення полягає в тому, щоб розподілити обчислення на великій кількості комп'ютерів, а не на локальному комп'ютері чи віддаленому сервері. По суті, хмарне виявлення — це інтелектуальні датчики клієнта, з'єднані з мережею для отримання сховища, обчислення та обробки бази даних і отримання інтерактивних послуг.

Структурну та функціональну схеми системи діагностики з віддаленою обробкою даних представлено в додатках А і Б відповідно.

3.2 Структура запропонованого дефектоскопа

Обмін інформацією між датчиком і смартфоном відбувається за допомогою бездротових мереж, які використовують технологію «Bluetooth». Для забезпечення роботи смартфона в режимі ультразвукового дефектоскопа смартфон має програмне забезпечення встановлено, що працює в операційній системі Android і реалізує запропонований алгоритм роботи пристрою, і може служити ретранслятором для обробки даних на значній відстані (до сотень і тисяч кілометрів), якщо це необхідно.

Обов'язкові вимоги до смартфона це наявність інтерфейсів бездротової передачі даних, такі як: «Bluetooth», Wi-Fi, HSPA + (3G) і LTE (4G). Структура ультразвукового сенсору , у складі якого: мікроконтролер, генератор ударного збудження, аналого-цифровий перетворювач, мікросхема Bluetooth та її антени.



Рисунок 3.2 – УЗ сенсор.

Тепер проведемо огляд його складових:

Мікроконтролер STM32F407GT6 (рис. 3.3) підключено до АЦП за через DMA в режимі peripheral-to-memory, щоб організувати прямий обмін даними з пам'ятю. Це необхідно для коректної роботи сенсору у режимі реального часу та покращити швидкість обміну даними.



Рисунок 3.3 – Мікроконтролер STM32F407GT6

Як АЦП використано ADC08060 (Рис 3.4).



Рисунок 3.4 – АЦП ADC08060 виробництва Texas Instruments.

Використано Bluetooth модуль RN4871U з підтримкою Bluetooth 5.0 та інтерфейсу UART, виробництва компанії Microchip (Рис 3.5).



Рисунок 3.5 – Bluetooth модуль RN4871U

3.3 Програмне забезпечення

Стартове меню програми (Рис. 3.6) дозволяє перевірити смартфон на готовність до прийому даних з датчика та, якщо необхідно, активувати Модуль "Bluetooth".

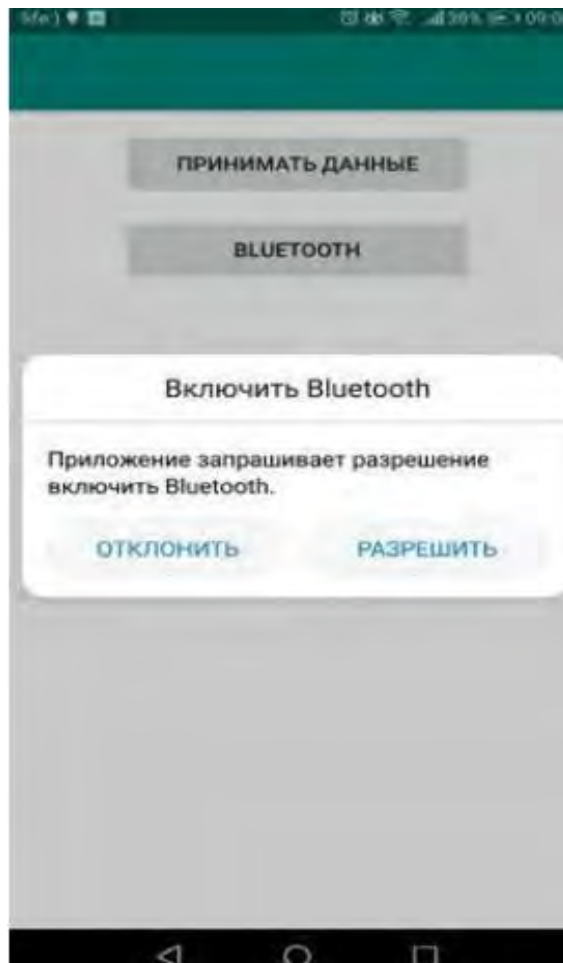
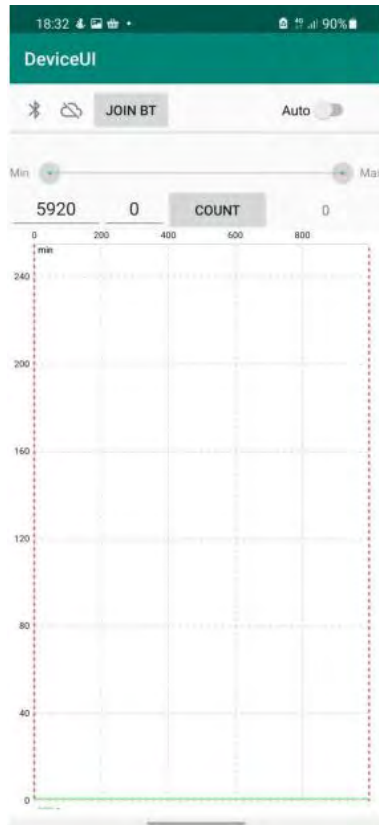


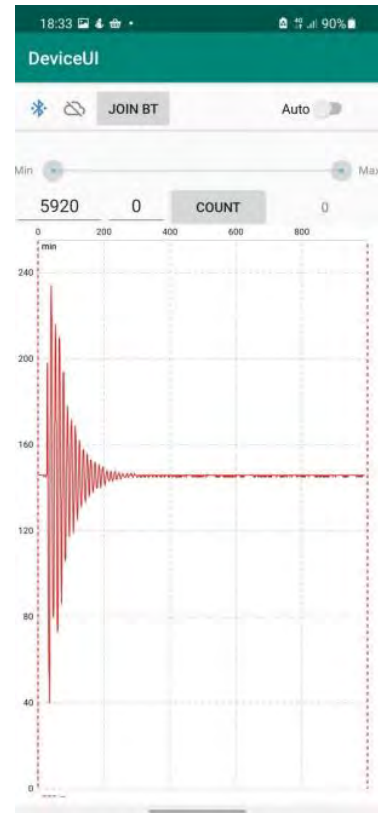
Рисунок 3.6 – Стартове меню

Дані від сенсора відправляються на смартфон два рази в секунду. Кожний наступний пакет даних замінює попередній. Підключення сенсору здійснюється кнопкою «Join BT» (Рис 3.7(а)).

При успішному з'єднанні дані сенсору будуть відображені у вигляді графіка (Рис 3.7(б)).



(а) Екран роботи з Bluetooth сенсором



(б) Сигнал сенсору

Рисунок 3.7 – Інтерфейс програми.

Пакет даних складається із тисячі точок. По горизонталі, часова складова, по вертикалі – амплітудна. Де 0 – 0 В, а 255 – 2.5 В. Шкала min-max, потрібна для виставлення опорних точок виміру. Над графіком (Рис 3.8) поля для задання швидкості ультразвуку(червоний прямокутник) в метрах на секунду (за замовчуванням визначена швидкість ультразвуку в сталі 5920 м/с), введення товщини протектору(зелений прямокутник) в міліметрах та виводу результату обчислень у міліметрах(синій прямокутник).

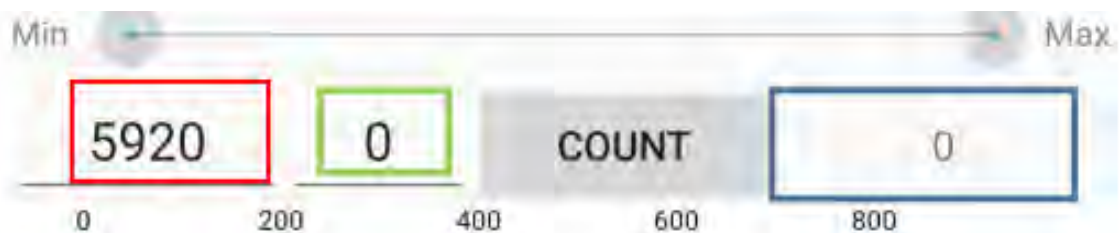


Рисунок 3.8 – Поля для введення даних та виводу результату.

Система може провести розрахунок товщини об'єкта контролю (ОК) або визначати відстань до дефекту. Алгоритм використання системи наведено нижче на рис. 3.9:

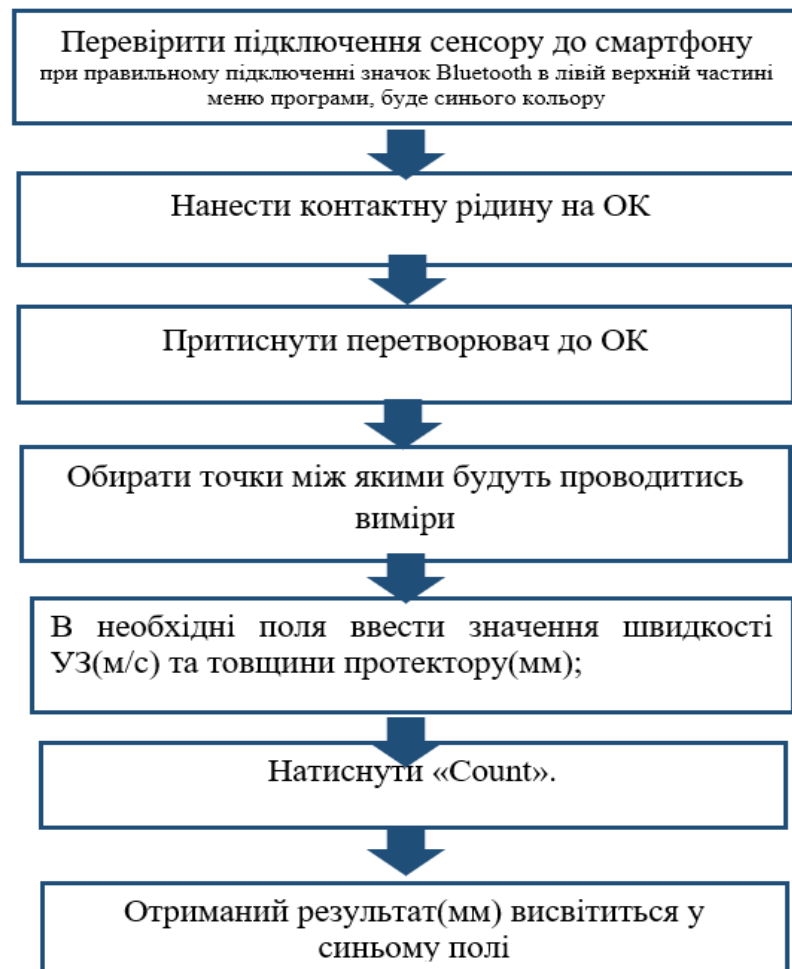


Рисунок 3.9 – Алгоритм використання системи

3.4 П'єзоелектричний перетворювач

Для проведення вимірів окрім системи діагностика нам потрібен датчик.

А отже розрахуємо п'єзоелектричний перетворювач.

Головним елементом п'єзоперетворювача є п'єзоелемент. Його розмір та форму розраховують виходячи з призначення та поперечних розмірів перетворювача.

$$h = \lambda_{\text{ПЕ}}/2 = C_{\text{ПЕ}}/(2 \times f) \quad (3.1)$$

Рекомендоване співвідношення для ефективної величини збудження: поперечний розмір поділений на товщину має дорівнювати приблизно 20.

$$2a/h \approx 20$$

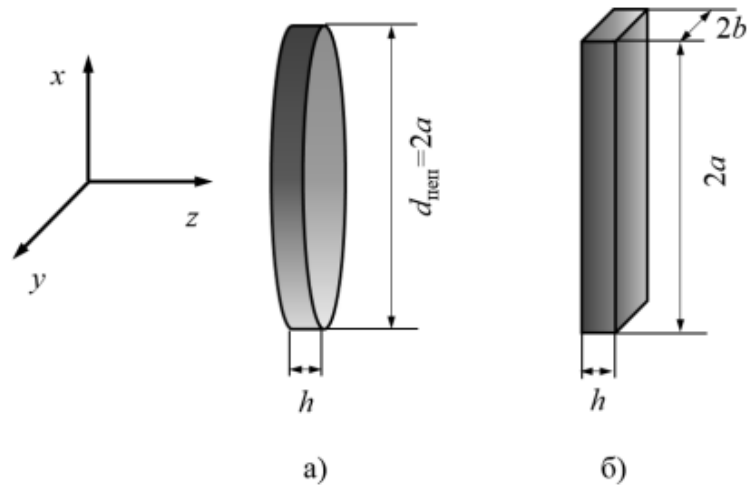


Рисунок 3.10 – Форми п'єзопластини: а) кругла; б) прямокутна.

Для максимального спрощення конструкції при зберіганні необхідних для забезпечення контролю умов вирішено використовувати прямий перетворювач (Додаток В), як прямий датчик.

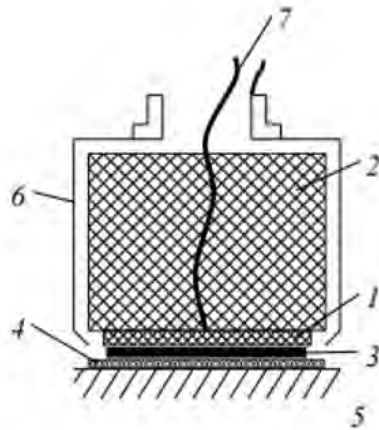


Рисунок 3.11 – Конструкція прямого ультразвукового перетворювача

1 – п'єзопластина; 2 – демпфер; 3 – протектор; 4 – контактна рідина; 5 – ОК; 6 – корпус; 7 – виводи

П'єзопластина 1 приклеєна або притиснута до демпфера 2, та – до протектору 3. В корпусі розміщені склеєні елементи 6. Датчик з'єднується з

дефектоскопом за допомогою виводів 7. За допомогою контактної рідини 4 ультразвукові коливання передаються до ОК 5 та навпаки.

В якості робочої частоти(f_p) обрано 2.5МГц. Швидкість поширення ультразвуку(C_{OK}) у Si3N4 5200м/с.

З формули:

$$\lambda_{OK} = C_{OK}/f_p \quad (3.2.)$$

визначемо довжину хвилі в об'єкті контролю:

$$\lambda_{OK} = 5200/2500000 = 0.00208\text{м/с}(2.08*10^{-3}\text{м/с}) \quad (3.3.)$$

В якості п'єзоелемента оберемо ЦТС-19. Отже: $\lambda_{ПЕ} = \lambda_{ЦТС}$, $C_{ПЕ} = C_{ЦТС}$.

Таблиця 3.1 – Акустичні характеристики п'єзоелементів

Матеріал	Швидкість звуку C , 10^3 м/с	Густина ρ , 10^3 кг/м ³	Характеристичний імпеданс Z , 10^6 Па·с/м	Відносна діелектрична проникність, ϵ	Електрична міцність E_{max} , 10^3 В/мм	П'єзомодуль d_{33} , 10^{-12} Кл/Н	Коефіцієнт електромеханічного зв'язку, K_p	Температура Кюрі, °С	Механічна добротність, Q
П'єзокераміка вітчизняного (або країн ближнього зарубіжжя) виробництва									
ЦТС-19	3,3±0,3	7,4-7,5	22-27	1750±200	3,0	330-350	0,45-0,6	>290	80
ЦТС-23	3,0-3,3	7,4-7,6	22,2-25,0	1050±150	3,0	200-240	0,45-0,5	280	300
ЦТС-36	3,0-3,3	7,7	-	670	-	220	0,57	350	80
ЦТССт-1	3,5	7,3	24,5	1000±150	-	180	0,43	260	500
ТКС-21 (РСТ-21)	4,96-5,16	7,0	-	390-440	7,0	90-100	0,13-0,16	200-220	100-200
П'єзокераміка виробництва США									
PZT-2	3,36	7,6	-	990	0,8	152	0,47	370	680
PZT-4	4,6	7,5	-	1300	-	389	0,58	328	500
PZT-5Н	2,85	7,5	-	3400	0,6	593	0,65	193	65
PZT-8	3,39	7,6	-	1000	0,9	218	0,5	300	1000
П'єзокераміка виробництва Німеччини									
PXE-1	-	5,7	-	900	-	85	0,28	130	1000
PXE-4	-	7,65	-	1500	0,77	265	0,55	300	500
PXE-5	-	7,6	-	1750	0,65	365	0,62	285	80
П'єзополімерна плівка									
ПВДФ	1,5-2,5	1,3-1,8	2,0-4,5	11-13	-	25	0,1-0,14	150	-

Розрахуємо довжину хвилі для п'єзопретворювача:

$$\lambda_{ЦТС} = C_{ЦТС}/f_p \quad (3.4.)$$

Швидкість поширення ультразвуку($C_{ЦТС}$) у ЦТС-19 3000м/с. Частота(f_p) дорівнює 2.5МГц. Отже:

$$\lambda_{ЦТС} = 3000/(2500000*2) = 0.006\text{м/с}(0.6*10^{-3}\text{м/с}) \quad (3.5.)$$

Знайдемо поперечний розмір перетворювача:

Оскільки $2a/h \approx 20$, то $2a = 20 * h$.

$$a = 20 * 0.6 = 12\text{мм} \quad (3.6.)$$

Отже геометричні розміри ПЕП 12x0.6 мм.

Обчислимо період коливання:

$$T = 1/f_p = 1/2500000 = 1/(2.5 * 10^6) = 0.4 * 10^{-6}\text{сек} \quad (3.7.)$$

Загальний час зондувального імпульсу t_i лежить в межах: $t_i = (3 \div 5)T$.

Обираємо $t_i = 4 * T$, тоді: $t_i = 4 * 0.4 * 10^{-6} = 0.0000016\text{сек} = 1.6 \text{ мкс}$.

Повздовжня роздільна здатність ультразвуку, позначена як δ_D (дельта D), визначається наступною формулою:

$$\delta_D = C/2f \quad (3.8.)$$

де:

C - швидкість поширення ультразвуку у середовищі;

f - частота ультразвукових хвиль.

Отже:

$$\delta_D = 3000/(2500000 * 2) = 0.0006\text{м} = 0.06\text{мм} \quad (3.9.)$$

Для виготовлення демпферу обрано компаунд К-293М.

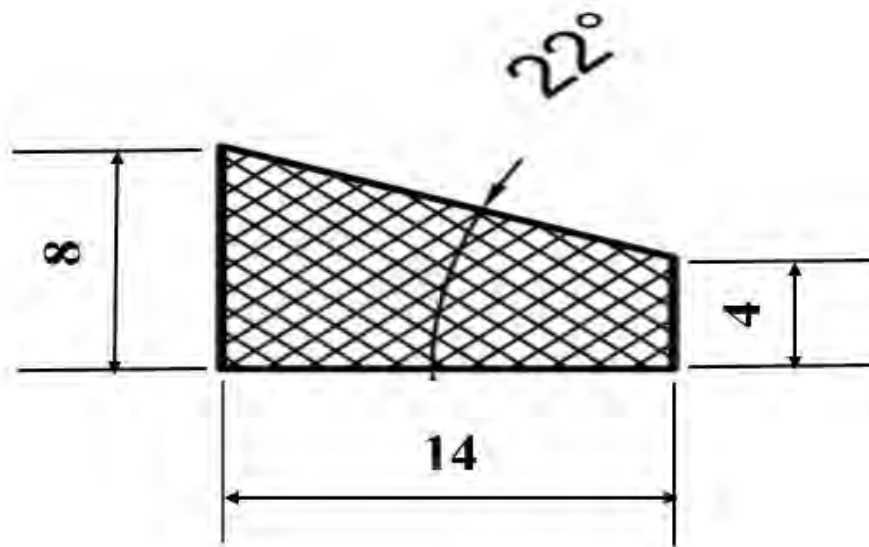


Рисунок 3.12 – Демпфер

Для запобігання стиранню пластини перетворювача потрібно розрахувати просвітлюючий шар:

Значення $z_{цтс}$ беремо з таблиці 3.1 :

$$z_{\text{ЦТС}} = 24.5 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot (\text{с/м}) \quad (3.10.)$$

Значення $z_{\text{ОК}}$ знайдемо за формулою:

$$z_{\text{ОК}} = C_{\text{ОК}} \cdot \rho_{\text{ОК}} = 10 \cdot 10^3 \cdot 3.33 \cdot 10^3 = 33.3 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot (\text{с/м}) \quad (3.11.).$$

Значення $z_{\text{ПШ}}$ знайдемо за формулою:

$$z_{\text{ПШ}} = \sqrt{z_{\text{ЦТС}} \cdot z_{\text{ОК}}} = \sqrt{(24.5 \cdot 10^6 \cdot 33.3 \cdot 10^6)} = \approx 28.56 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot (\text{с/м}) \quad (3.12.)$$

де $z_{\text{ЦТС}}$ – імпеданс ЦТС-19 Па*(с/м), $z_{\text{ОК}}$ – імпеданс ОК Па*(с/м).

Знайдений імпеданс лежить на проміжку значень імпедансу титанових сплавів – 27-29 Па*(с/м). Отже обираємо матеріалом просвітлюючого шару титановий сплав, а значить: $C_{\text{ПШ}} = C_{\text{ТС}}$.

$$\lambda_{\text{ПШ}} = C_{\text{ПШ}} / f = 6155 / 2500000 = 0.002462 \text{ м/с} (2.463 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}) \quad (3.13.)$$

Знайдемо товщину просвітлюючого шару:

$$D_{\text{ПШ}} = n \cdot (1/4) \cdot \lambda_{\text{ПШ}} = 0.0006155 \text{ м} = 0.06155 \text{ мм} \quad (3.14.).$$

Отже геометричні розміри просвітлюючого шару: 12x0.06155 мм.

3.5. Розрахунок електроакустичного тракту

Акустичним трактом називають шлях ультразвукового сигналу від випромінювача до дефекту або відбивача і далі до приймача коливань (випромінювач – протектор – контактна рідина – об'єкт контролю – дефект – об'єкт контролю – контактна рідина – протектор – приймач). Цей термін може охоплювати будь-яку комбінацію компонентів, таких як ультразвукові трансдюсери (перетворювачі), просвітлюючі середовища, які використовуються для пропускання ультразвукових хвиль, а також будь-які проміжні матеріали чи пристрої, які спрямовують, фокусують або обробляють ультразвукові сигнали [2].

Ультразвукові системи мають акустичний тракт, який включає у себе трансдюсери для генерації та отримання ультразвукових хвиль, а також середовище передачі, через яке ці хвилі поширюються. Також до акустичного тракту можуть входити лінзи, рефлектори, поглиначі або інші елементи, які використовуються для керування чи модифікації ультразвукового сигналу.

Аналіз акустичного тракту зазвичай включає створення схеми його складових частин та виконання розрахунків для визначення поведінки звукових хвиль, які поширюються через цей тракт. Основною метою такого аналізу є визначення ступеня ослаблення звукового сигналу в акустичному тракті.

Коефіцієнт ослаблення акустичного тракту - це міра зменшення інтенсивності звуку, яка стається при його поширенні через тракт. Він враховує будь-які втрати сигналу внаслідок поглинання, розсіювання або відбивання звукових хвиль на різних елементах або матеріалах, що складають акустичний тракт.

Отримання коефіцієнта ослаблення акустичного тракту дозволяє оцінити, наскільки сильно змінюється звуковий сигнал після того, як він проходить через всі компоненти та матеріали акустичного тракту.

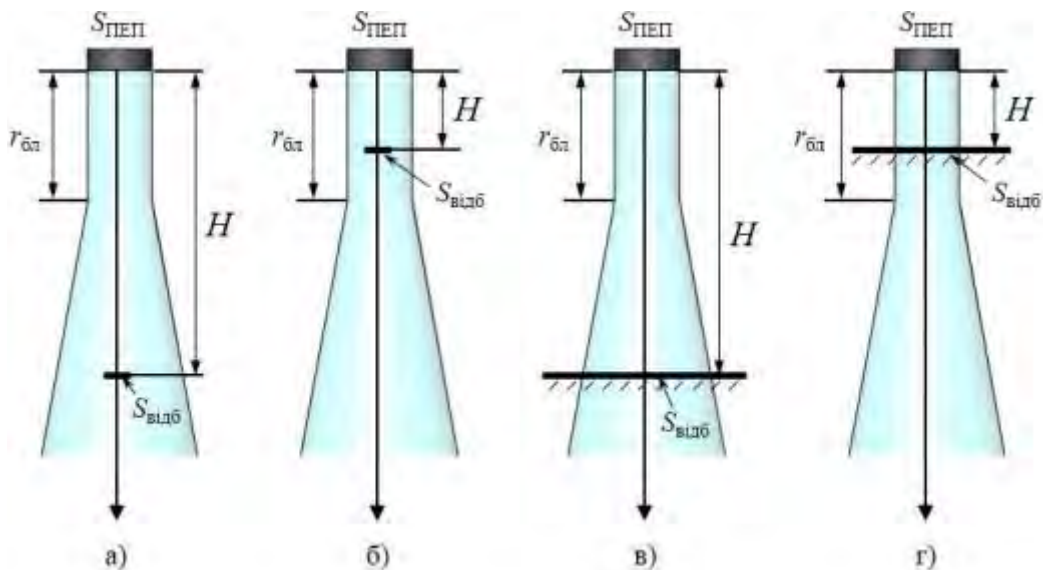


Рисунок 3.13 – 4 базові моделі акустичних трактів[2]

а) $r_{бл} < H$, $S_{ВІДБ} < S_{ПЕП}$; б) $r_{бл} > H$, $S_{ВІДБ} < S_{ПЕП}$; в) $r_{бл} < H$, $S_{ВІДБ} > S_{ПЕП}$; г) $r_{бл} > H$, $S_{ВІДБ} > S_{ПЕП}$, де $S_{ПЕП}$ – площа ПЕП, $S_{ВІДБ}$ – площа відбивача, $r_{бл}$ – глибина ближньої зони, H – глибина залягання відбивача

Оскільки основним призначенням датчика буде вимірювання товщини зразків, розрахунок акустичного тракту проведемо для випадку В коли відбивачем є донна поверхня. Відбивачем є плоска горизонтальна поверхня, розташована в дальній зоні випромінювача, розміри якої значно перевищують

розміри випромінювача, тобто повністю перекривають акустичний тракт. Отже формула коефіцієнта ослаблення акустичного тракту:

$$K_{AT} = (S_{ПЕП}/(2*\lambda*N))*T_1*R_p*e^{-2N\delta_p} \quad (3.15.)$$

де $S_{ПЕП}$ – площа перетворювача, N – відстань від поверхні ПЕП до поверхні донної поверхні, λ – довжина хвилі в ОК, T_1 – коефіцієнт проходження ультразвукового променя по інтенсивності через межу ПЕП-ОК, R_p – коефіцієнт віддзеркалення променя по акустичному тиску від донної поверхні, δ_p – коефіцієнт згасання поздовжньої хвилі в матеріалі ОК.

Отже:

$$K_{AT} = (0.000113097/(2*0.00208*0.0083))*0.542*0.3*e^{-2*0.0083*0.2} = 0.53$$

Висновки до розділу 3

Система діагностики з віддаленою обробкою даних – це система, яка використовується для збору, передачі, аналізу та інтерпретації даних про стан об'єкта чи системи в реальному чи наближеному до реального часу, з використанням віддалених обчислювальних ресурсів.

Система використовує різноманітні сенсори, що збирають дані про стан об'єкта контролю. Ці дані передаються до центральної обчислювальної системи через мережу передачі даних. Дані з сенсорів передаються через мережу (наприклад, Інтернет) до серверів для подальшої обробки на віддалених серверах або хмарних платформах. Це може включати аналіз, порівняння з нормативами чи стандартами, створення прогнозів тощо. Застосування штучного інтелекту та аналітики для автоматизованої обробки та виявлення аномалій на основі даних. Результати аналізу передаються користувачам у вигляді звітів, графіків, повідомлень тощо, що дозволяє приймати рішення на основі цієї інформації.

Такі системи діагностики забезпечують більш ефективний та швидкий аналіз даних, сприяють прийняттю важливих рішень на основі цих даних та дозволяють вчасно реагувати на будь-які відхилення чи проблеми.

4. МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Вибір матеріалу дослідження

У якості досліджуваного матеріалу використано нітрид кремнію (Silicon Nitride – Si_3N_4), це бінарна неорганічна хімічна сполука, що є сполученням кремнію та азоту. До основних властивостей Si_3N_4 можна віднести: дуже низька щільність ($3,21 \text{ г/см}^3$); висока в'язкість при руйнуванні ($7 \text{ МПа м}^{1/2}$); хороша міцність на вигин (850 МПа); хороша стійкість до термічних ударів (високі параметри термічного напруження (569 К)); максимальна робоча температура в окислювальній атмосфері $1300 \text{ }^\circ\text{C}$; максимальна робоча температура в нейтральній атмосфері: $1600 \text{ }^\circ\text{C}$). Завдяки цим властивостям Si_3N_4 широко використовується у виробництві та застосуванні в якості керамічного матеріалу (Рис. 4.1). Кераміка з нітриду кремнію вирізняється чудовими механічними, термічними та хімічними властивостями, які роблять матеріал придатним для застосування в кількох технологічно складних галузях.



Рисунок 4.1 – Кераміка з нітриду кремнію

Вироби виготовлені з нітриду кремнію, мають один принциповий недолік: притаманна крихкість, що виникає внаслідок дефектів, які можуть виникнути на поверхні та в підповерхневих областях матеріалу, двох областях, які піддаються сильному контактному тиску. Дефекти можуть утворюватися на будь-якому етапі виробництва і поділяються на дві великі категорії: «тріщинні» дефекти (наприклад, тріщини, тріщини, С-тріщини, пори або канавки), які, як правило, обмежені певною областю, і «матеріальні» дефекти (наприклад, зміни еластичності, однорідності або кольору), що виникають через небажані зміни властивостей матеріалу поблизу поверхні.

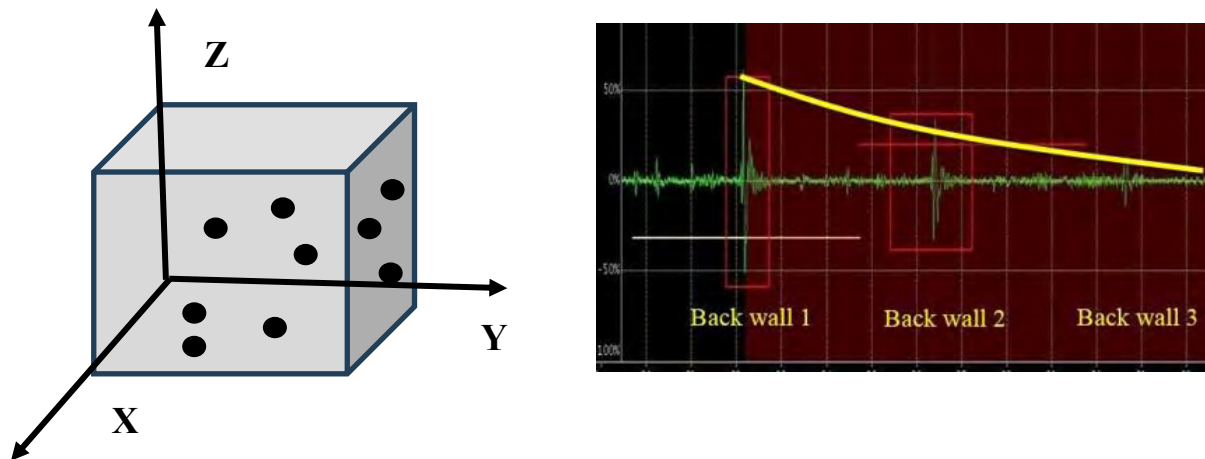
Кераміка з нітриду кремнію демонструє найкращі властивості, коли він повністю згущений. Тому відбувається ущільнення шляхом термічної обробки при високій температурі, що називається процесом спікання. Так, кераміку з Si_3N_4 вперше було отримано в 1961 р. методом гарячого пресування порошку Si_3N_4 з домішкою металооксидних добавок.

Вироби з нітриду кремнію отримують спіканням за високих температур, гарячим пресуванням, піролізом сполук кремнію. Високоякісні вироби виходять за допомогою спікання у газостатичних установках під високим тиском у присутності азоту. Нітрид кремнію важко отримати як єдиний матеріал через те, що він не може бути нагрітий більше 1850°C – це значно нижче температури плавлення (кремній і азот дисоціюють). Таким чином, застосування звичайного термічного методу спікання є проблематичним.

Склеювання порошкоподібного нітриду кремнію може бути досягнуто за більш низьких температур шляхом додавання додаткових матеріалів, які зазвичай покращують рівень спікання. Альтернативою є метод використання іскрового плазмового спікання (Spark Plasma Sintering – SPS), де нагрівання здійснюється дуже швидко (в секундах), а імпульси електричного струму проходять через заздалегідь спресований порошок. Щільні вироби з нітриду кремнію отримують цим методом при температурах $1500\text{-}1700^\circ\text{C}$. Такий тип техніки спікання відіграє значну роль у досягненні високощільного композиту.

4.2 Вимірювання та результати

В ході дослідження було проведено по 3 виміри (В) товщини у трьох точках (Т) для кожної площини для п'яти кубічних зразків (З) за допомогою досліджуваної системи, а також серійного приладу Einstein-II.



(а) зразок куба та точки сканування (б) представлення луни та затухання

Рисунок 4.2 – Зразок куба та відсканована область

Дослідження площини зразка у 3х точках обумовлене можливою неоднорідністю структури виробу, а різниця між відносними похибками у різних точках площини і вказує на виявлення неоднорідності. Вона може виникати через: нерівномірне розподілення порошку при процесі формування виробу, пори та включення, текучість тонкоподрібнених порошоків. При застосуванні різних методів обробки можливі неоднорідності через неправильні параметри обробки або нерівномірне прогрівання. Фактори навколишнього середовища, такі як вологість або температурні коливання, також можуть викликати неоднорідність у структурі виробів. Для підвищення якості структури виробів використовуються методи контролю процесів виробництва, дослідження ФМХ матеріалів на різних етапах виробництва.

Таблиця 4.1– Дані вимірювань(мм), отримані за допомогою досліджуваної системи та дефектоскопу Einstein-II у площині X.

№Т	Досліджувана система									Einstein-II.								
	1			2			3			1			2			3		
№В	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
№З	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	8	8.1	8	8	8	8	8.1	8.1	8.2	8.1	8.1	8	8.1	8	8	8.1	8	8.2
2	8.1	8.2	8.1	8.1	8	8.1	8	8	8.1	8	8.2	8.1	8	8	8.2	8.1	8.2	8.1
3	8	8	8.1	8	8.3	8.1	8.5	8.3	8.5	8.4	7.9	8	8.2	8.5	8	8.5	8.3	8.3
4	8.2	8.1	8.2	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1	8.2	8.2	8.1	8.3	8.1	8.1	8.2	8.1	8.3	8.2
5	8	8.1	8.2	8.3	8	8.1	8	8	8	8.1	8.1	8	8.3	8.3	8	8	8.3	8

Таблиця 4.2 – Дані вимірювань(мм), отримані за допомогою досліджуваної системи та дефектоскопу Einstein-II у площині Y.

№Т	Досліджувана система									Einstein-II.								
	1			2			3			1			2			3		
№В	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
№З	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	8.2	8.5	8.4	8.3	8.3	8.5	8	8.3	8.2	8.3	8.2	8.4	8.2	8.2	8.4	8.2	8	8.1
2	8.4	8.3	8.4	8.1	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.4	8.1	8.2	8.4	8.2	8.3
3	8	8.3	8.2	8.3	8.3	8.4	8.3	8.4	8.3	8.4	8.3	8.1	8.2	8.3	8.3	8.3	8.2	8.3
4	8	8	7.9	8	8.2	8.1	8.1	8.2	8.1	8.2	8.1	8.3	8.1	8.1	8.2	8.1	8.3	8.2
5	7.9	8.1	8.1	8	8	8.1	7.9	8	8	8.1	8.1	8	8.1	8.2	8	8	8.2	8

Таблиця 4.3 – Дані вимірювань(мм), отримані за допомогою досліджуваної системи та дефектоскопу Einstein-II у площині Z.

	Досліджувана система									Einstein-II.								
№Т	1			2			3			1			2			3		
№В	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
№З																		
1	8	8.1	8.2	8.3	8	8.1	8.1	8.1	8.2	8.1	8	8	8.1	8.2	7.9	8.1	8.2	8
2	8.1	8.2	8.1	8.1	8.2	8.1	8.3	8.2	8.1	8.2	8.2	8.1	8.2	8.1	8.1	8.2	8.1	8.2
3	8.3	8.4	8.2	8.2	8.3	8.2	8.3	8.2	8.2	8.4	8.3	8.2	8.2	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3
4	8.1	8.1	8	8	8.1	8.3	8.2	8.1	8.2	8.2	8.1	8.3	8.2	8.1	8.3	8.3	8.3	8.2
5	8	8.1	8.1	7.9	8	8.1	8	8.1	8	8.1	8	8.1	8.3	8.2	8	8	8.2	8

Ультразвукові параметри, такі як затухання та швидкість, дуже чутливі, і невеликі фізичні зміни призводять до різких змін цих параметрів. Важливо підтримувати стандартні експериментальні процедури, включаючи напругу, посилення, частоту повторення імпульсів і застосовані фільтри. Хороша обробка поверхні дає кращі результати, які дають більше інформації про внутрішню структуру компонента. Паралельність поверхні є надзвичайно важливою, оскільки навіть кілька ступенів зміни можуть відхилити важливу інформацію сигналу від перетворювача. Враховуючи всі ці обмеження та чутливість процесу, легко зрозуміти велику варіацію результатів.

Таблиця 4.4 – Середні для кожної точки(Т) площини Х дані вимірювань, округлені до другого знаку отримані за допомогою мікрометра, дефектоскопу Einstein-II та досліджуваної системи. А також середні для кожної площини, зразка та загальне значення відносної похибки(ВП), округлені до другого знаку.

		Досліджувана система			Einstein-II			Мікрометр	
№ Зразка	№ Т	ВП (%)		В (мм)	ВП (%)		В (мм)		
1	1	1.07	1.17	1.41	8.03	0.66	1.04	8.07	8.12
	2	1.84			8.00	1.43		8.03	8.15
	3	0.61			8.13	1.02		8.10	8.15
2	1	0.66	1.04		8.13	1.06	1.03	8.10	8.16
	2	1.02			8.03	1.43		8.07	8.15
	3	1.43			8.03	0.61		8.13	8.15
3	1	3.56	2.47		8.03	3.32	2.42	8.37	8.33
	2	2.84			8.13	2.67		8.23	8.37
	3	1.00			8.43	1.27		8.37	8.42
4	1	0.45	0.84	8.17	0.85	0.97	8.20	8.19	
	2	1.06		8.13	1.05		8.13	8.22	
	3	1.01		8.17	1.01		8.20	8.25	
5	1	1.70	1.53	8.10	2.10	1.83	8.07	8.24	
	2	1.53		8.13	1.71		8.20	8.18	
	3	1.36		8.00	1.69		8.10	8.11	

Таблиця 4.5 – Середні для кожної точки(Т) площини Y дані вимірювань, округлені до другого знаку отримані за допомогою мікрометра, дефектоскопу Einstein-II та досліджуваної системи. А також середні для кожної площини, зразка та загальне значення відносної похибки(ВП), округлені до другого знаку.

		Досліджувана система			Einstein-II			Мікрометр
№ Зразка	№ Т	ВП (%)		В (мм)	ВП (%)		В (мм)	
1	1	1.31	1.19	8.37	1.08	1.21	8.30	8.37
	2	0.88		8.37	1.28		8.27	8.32
	3	1.38		8.17	1.29		8.13	8.24
2	1	0.52	1.01	8.37	1.29	1.37	8.20	8.37
	2	1.32		8.20	2.03		8.33	8.31
	3	1.20		8.20	0.80		8.30	8.30
3	1	1.84	1.00	8.17	1.28	0.73	8.27	8.32
	2	0.40		8.33	0.40		8.27	8.30
	3	0.76		8.33	0.52		8.27	8.27
4	1	0.91	0.76	7.97	0.85	0.97	8.20	8.04
	2	0.86		8.10	1.05		8.13	8.11
	3	0.50		8.17	1.01		8.20	8.12
5	1	0.82	0.96	8.03	0.41	0.80	8.07	8.10
	2	0.78		8.03	0.86		8.10	8.09
	3	1.28		7.97	1.12		8.07	8.07

Таблиця 4.6 – Середні для кожної точки (Т) площини Z дані вимірювань, округлені до другого знаку отримані за допомогою мікрометра, дефектоскопу Einstein-II та досліджуваної системи. А також середні для кожної площини, зразка та загальне значення відносної похибки(ВП), округлені до другого знаку.

		Досліджувана система			Einstein-II			Мікрометр
№ Зразка	№ Т	ВП (%)		В (мм)	ВП (%)		В (мм)	
1	1	1.39	1.11	8.10	1.31	1.21	8.03	8.14
	2	1.32		8.13	1.32		8.07	8.12
	3	0.61		8.13	1.02		8.10	8.15
2	1	1.77	1.33	8.13	1.37	1.22	8.17	8.28
	2	1.17		8.13	1.17		8.03	8.23
	3	1.05		8.20	1.13		8.17	8.26
3	1	0.92	0.86	8.30	0.92	0.67	8.30	8.33
	2	0.92		8.23	0.53		8.30	8.31
	3	0.73		8.23	0.24		8.30	8.28
4	1	1.50	1.23	8.17	0.85	1.16	8.20	8.19
	2	1.51		8.13	1.07		8.20	8.17
	3	0.67		8.17	1.56		8.27	8.14
5	1	0.54	1.03	8.07	0.54	0.99	8.07	8.07
	2	1.36		8.00	1.23		8.17	8.11
	3	1.19		8.07	1.19		8.07	8.13

В результаті проведено дослідження встановлено:

загальна відносна похибка (значення округлене другого знака)

1) досліджувана система – $(1.41+0.98+1.11)/3=1.17\%$.

2) дефектоскоп Einstein-II – $(1.46+1.01+1.05)/3=1.17\%$

Висновки до розділу 4

Виявлено, що відносна похибка ультразвукової системи діагностики на базі смартфона з віддаленою обробкою даних відносно мікрометра становить 1.17%. Похибка дефектоскопу Einstein-II становить 1.17%. Таким чином, отримані результати показують, що досліджувана система не поступається серійному аналогу, отже, така система може бути використана для контролю якості виготовлення виробів з порошкових матеріалів.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ З ВІДДАЛЕНОЮ ОБРОБКОЮ ДАНИХ»

5.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту

Ідея стартап-проекту полягає у розробці системи ультразвукової діагностики з віддаленою обробкою даних на базу смартфона. Система відрізняється від наявних на ринку інноваційним підходом, що робить її доступною та зручною у використанні без втрати якості діагностики, за якою вона не поступається конкурентам. А саме обробкою результатів вимірів у хмарному середовищі, до якого за допомогою 4G підключаються смартфон. Софт на самому смартфоні, який використовується для підключення датчиків і обміну даними з сервером розповсюджується по підписці за щомісячною оплатою. Таким чином майже все навантаження на обчислювальні потужності бере на себе сервер, а клієнту не потрібен дорогий і потужний смартфон. Простого побутового приладу, який є невід'ємним елементом гардеробу кожної сучасної людини буде достатньо. Все що потрібне для використання системи інспектору – це придбати сертифікований датчик з тих, що підтримує сервіс та встановити програму з інтернет магазину, яка теж не вдарить по кишені завдяки системі оплати по підписці. А простий та зрозумілий інтерфейс і відсутність необхідності носити з собою важкі, громіздкі прилади значно покращать комфорт та якість роботи.

Система може бути використана для ультразвукового контролю ФМХ металічних, неметалічних та композитних виробів з ПКМ, та виготовлених іншим чином. Виявлення неоднорідності структури та інших внутрішніх дефектів, визначення товщини покриттів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система діагностики з віддаленою обробкою даних.	<ul style="list-style-type: none"> • Ультразвуковий контроль ФМХ металічних, неметалічних та композитних виробів з ПКМ, та виготовлених іншим чином. • Виявлення неоднорідності структури та інших внутрішніх дефектів. • Визначення товщини покриттів 	<ul style="list-style-type: none"> • Модульність. • Комфорт у використанні. • Доступність та невелика ціна. • Відсутність необхідності придбання дорогого обладнання. • Невелика маса та габарити системи.

Основним призначенням системи є контроль фізико механічних характеристик порошкових конструкційних матеріалів, але вона може бути використана і для виявлення дефектів у інших видів ОК та для визначення товщини покриттів.

Так як прямих аналогів на ринку немає, порівняємо її з приладами-конкурентами, що використовуються для тих же цілей:



Рисунок 5.1 – Ультразвуковий дефектоскоп УД3701(NOVOTEST)

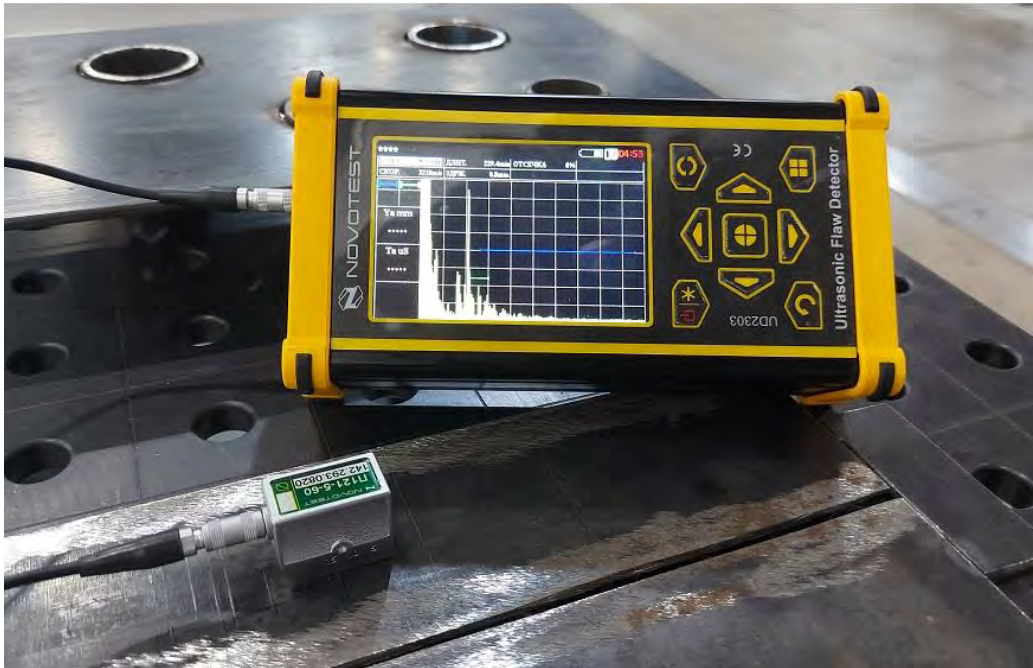


Рисунок 5.2 – Ультразвуковой дефектоскоп УД2303(NOVOTEST)



Рисунок 5.3 – Ультразвуковой дефектоскоп УД2301(NOVOTEST)

Таблиця 5.2 – Визначення сильних(S), слабких(W) та нейтральних(N) сторін проекту

Техніко-економічні характеристик и ідеї.	Товари конкурентів				Оцінка
	Стартап проект	УД3701	УД2303	УД2301	
Вага(гр)	+200	1100	500	300	S
Габарити(мм)	120-160* 60-80* 6-10*	250 150 50	165 90 50	162 80 38	S
Час безперервної роботи(год)	4-12*	Н/Д	8	4	N
Діагональ (дюйми)	5-7*	7	Н/Д	3.5	N
Дисплей	IPS/ AMOLED/ OLED/LCD*	TFT	Н/Д	TFT	S
Роздільна здатність (пікселі)	1280x720/ 1920x1080/ 2560x1440/ 3840x2160*	800x480	480x320	480x320	S
Сенсорний	Так	Так	Н/Д	Н/Д	S
Пам'ять(Гб)	32-512* Можливість передачі даних на сервер.	32	32	32	S
Вартість(грн)	2000/місяць + ціна датчика	96000	62400	54600	S

* - Залежить від смартфона користувача

Н/Д - Немає даних

Як видно з таблиці система значно перевершує конкурентів за ергономікою, мобільністю та ціною. Технічні параметри дефектоскопа залежать від датчика та не поступаються аналогам. В перспективі система буде

підтримувати широкий їх асортимент. До слабких сторін можна віднести можливі труднощі з сертифікацією. .

Складовими проекту є центр обробки даних, смартфон для їх передачі, датчик для вимірів та необхідний софт.

Оскільки смартфон сьогодні є невід’ємним елементом гардеробу людини, його придбання є майже обов’язковим та не залежить від спеціальних потреб вузької професійної спільноти. Тому смартфона можна вважати за належне, а витратами на нього знехтувати. Датчики наявні на ринку, один з тих що підтримує сервіс, клієнт придбає в залежності від своїх потреб та кишені. Широкий асортимент серверних рішень для організації хмарного сервісу у наш час доступний на ринку. Отже масового випуску фізичної продукції не потрібно. Залишається розробити софт та завантажити у інтернет магазин програму.

Таблиця 5.3 –Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту		Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
Система діагностики з віддаленою обробкою даних	Софт	Розробка софта самостійно	Наявна	Доступна
		Залучення сторонніх розробників	Наявна	Доступна*
		Опенсорс розробка	Наявна	Доступна
	Сервер	Придбання необхідного обладнання	Наявна	Доступна*
		Оренда необхідних обчислювальних потужностей	Наявна	Доступна*

* - Залежить від інвестицій.

Як видно з дослідження, систему можна створити за допомогою доступних на ринку технологій. Для розробки софта можна залучити професіоналів, отримавши інвестиції за допомогою краудфіндингу. А питання

оренди/придбання обчислювальних потужностей вирішувати в залежності від наявних фінансів та ситуації на ринку. Якщо така стратегія провалиться можна зацікавити професійну спільноту та спробувати реалізувати проект на основі опенсорс розробки. Хоча такий варіант значно підвищує можливі проблеми сертифікації системи.

5.2 Аналіз ринкових можливостей стартап проекту

Аналіз ринкових можливостей стартап проекту з урахуванням ситуації на ринку, потреб споживачів та наявних загроз/конкурентів.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

Параметр ринку	Значення
Кількість основних гравців	5
Загальний обсяг продаж (\$)	55000/міс
Динаміка ринку(якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Вимоги по сертифікації приладів.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Галузеві стандарти та вимоги обов'язкової сертифікації.
Норма рентабельності ринку(%)	60%

Неруйнівний контроль є невід'ємною частиною сучасної промисловості і цей ринок буде тільки рости по мірі впровадження новітніх технологій у виробництві. Банківські відсотки на вклади в Україні становлять 12.5-18% в залежності від банку(minfin.com.ua). У розвинутих країнах з сильною економікою(США, КНР, Південна Корея, Японія, Германія та ін) цей відсоток **значно** менше, а основний ринок НК буде саме там. Отже входження на ринок НК, а особливо за кордоном, має дуже високі перспективи і може принести великі прибутки.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

Ніша товару на ринку	Цільова аудиторія.	Відмінності у поведінці цільових клієнтів. різних груп	Вимоги до товару
Ультразвуковий контроль ФМХ металічних, неметалічних та композитних виробів з ПКМ, та виготовлених іншим чином. Виявлення неоднорідності структури та інших внутрішніх дефектів, визначення товщини покриттів.	ФОПи та інспектори, які проводять контроль на виїзді.	<ul style="list-style-type: none"> • Прагнення до мобільності, універсальності та комфорту. • Відсутність великих бюджетів, та прагнення до низької ціни. 	<ul style="list-style-type: none"> • Компактність та легкість. • Тривала робота без підзарядки. • Універсальність та модульність. • Доступна ціна.
	Малі та середні підприємства, що працюють з технологією 3D друку.	<ul style="list-style-type: none"> • Відсутність великих бюджетів, та прагнення до якості за доступною ціною. 	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість контролю виробів нестандартної, складної форми та внутрішньої структури. • Доступна ціна. • Універсальність.

Ринок 3D друку швидко розвивається, а устаткування для такого виробництва стає все доступнішим. Разом з тим зростає і кількість потенційних клієнтів, що потребують доступної та дешевої діагностики різних виробів. Хоча необхідна сертифікація продукту і відсутність репутації на ринку можуть чинити перепони на шляху до успіху проекту, відсутність прямих конкурентів у націленій ніші, доступність та переваги системи можуть сприяти приверненню уваги потенційних клієнтів.

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

Фактор	Загроза(зміст)	Можлива реакція компанії
Необхідність сертифікації	<ul style="list-style-type: none"> • Засоби НК повинні проходити обов'язкову сертифікацію, щоб була можливість ввести їх в експлуатацію 	<ul style="list-style-type: none"> • Подання системи на сертифікацію. • Некомерційне впровадження без сертифікації для привернення уваги та внесення змін у регулюванні.
Конкуренція	<ul style="list-style-type: none"> • Велика кількість компаній на ринку. • Відсутність репутації на ринку. • Наявність великих компаній зі значними ресурсами та підтверженою часом репутацією • Неринкові види конкуренції(корупція, демпінг, лобіювання законодавчих актів, картельна змова). 	<ul style="list-style-type: none"> • Рекламна компанія на профільних форумах. • Встановлення значно нижчої ціни. • Націленість на ту частину ринку, де переваги дорогого обладнання від великих брендів не будуть такими значними, а наші переваги розкриються у повній мірі.
Фінанси	<ul style="list-style-type: none"> • Створення компанії з необхідним штатом для розробки софту та його підтримки потребує грошей. • Харні сервіси потребують великих вкладів у обчислювальні потужності 	<ul style="list-style-type: none"> • Краудфандинг. • Пошук інвесторів. • Опенсорс розробка та некомерційне впровадження для привернення уваги клієнтів.
Технології	<ul style="list-style-type: none"> • Необхідність підтримки різних типів смартфонів та датчиків. 	<ul style="list-style-type: none"> • Створення штату розробників та тестувальників. • Впровадження зворотного зв'язку з клієнтами для пошуку та виправлення багів.

У цій таблиці були проаналізовані можливі загрози проекту та запропоновані способи їх вирішення. Тепер розглянемо можливості, які дає реалізація проекту.

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

Фактор	Можливість(зміст)	Можлива реакція компанії
Конкуренція	<ul style="list-style-type: none"> • Відсутність прямих конкурентів у обраній ніші ринку. • Надоступніша ціна на ринку завдяки системі оплати по підписці та мінімуму фізичних компонентів. • Інноваційний підхід. 	<ul style="list-style-type: none"> • Швидкий захід у обрану нішу дозволить легко охопити ринок та отримати клієнтів. • Встановлення лояльної до споживача цінової політики дозволить конкурувати з дорогими брендами та заробити репутацію на ринку. • Зосереджена на інноваціях рекламна компанія дозволить привернути увагу клієнтів
Технології	<ul style="list-style-type: none"> • Впровадження нових стандартів бездротового зв'язку. • Розвиток нейронних мереж та штучного інтелекту. • Активне впровадження адитивного виробництва. 	<ul style="list-style-type: none"> • Створення хмарного сервісу дозволить оперувати великим об'ємом даних без необхідності в фізичному зв'язку між пристроями у мережі. • Накопичення бази даних у хмарному середовищі створює великі перспективи для створення, навчання та використання штучного інтелекту.
Комфорт	<ul style="list-style-type: none"> • Людина прагне до зручності і простоти. • На рику майже не має пристроїв, що можуть конкурувати у ергономіці зі смартфоном. 	<ul style="list-style-type: none"> • Завдяки використанні звичного користувачу мобільного пристрою замість громіздкої спецапаратури ми отримуємо конкурентну перевагу.

Як бачимо з проведеного аналізу, незважаючи на насичений пропозиціями і конкурентами ринок, ми можемо легко зайняти на ньому вільну нішу, яка буде лише збільшуватись. Адже разом з розвитком технологій виробництва зростає і попит у на ринку НК.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Можливі дії компанії
Тип конкуренції: чиста	Ринок не монополізований.	Захоплення своєї ніші на ринку за рахунок конкурентних переваг.
За рівнем конкурентної боротьби: інтернаціональна	Конкурують компанії з усього світу.	Пошук клієнтів за кордоном.
За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Конкурують представники лише однієї галузі.	Вихід на ринок з позиції інноваційного підходу, та переваг що він дає.
Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Ціль виявлення дефекту досягається різними способами і методами.	Підтримка різних датчиків для ширшого охоплення ринку.
За характером конкурентних переваг: нецінова	Основні клієнти на ринку це юридичні особи, що мають гроші на дорогу апаратуру та звертають увагу перш за все на нецінові параметри.	Вибір цільової аудиторії, для якої перевага в ціні буде вагомим аргументом.
За інтенсивністю: немарочна	Клієнтам на ринку НК потрібен прилад що ефективно вирішить технічну проблему, а не модна марка.	Вдосконалення софту та колаборація з виробниками датчиків для покращення роботи системи.

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замітники
	GE Inspection Technologies, Olympus, Sonatest, Krautkrämer, NOVOTEST та інші компанії на ринку.	Хоча прямих аналогів на ринку немає, галузь активно розвивається і основні переваги системи незабаром можуть стати нормою на ринку.	Система майже не має фізичних деталей, а отже і постачальника.	Основні клієнти ФОПи, малі та середні компанії.	УД3701, УД2303, УД2301 та багато інших.
Висновки	Прямі конкуренти задовольняють ті самі потреби принципово іншими засобами, залишаючи відкриті ніші на ринку.	Потрібно швидко зайняти вільні ніші на ринку, за рахунок конкурентних переваг.	Клієнту потрібен лише датчик відповідно до його вимог та кишені.	Вихід на нішу ринку де клієнти не мають таких великих компаній дає можливість реалізувати переваги у ціні.	Товари замітники поки не можуть конкурувати у ергономіці, мобільності та ціні.

Завдяки впровадженню інноваційного підходу система діагностики з віддаленою обробкою даних може зайняти поки що вільну нішу ринку, сформовану ФОПами, малими та середніми компаніями у зв'язку з розвитком сучасних технологій виробництва. Конкуренти поки що не можуть виставити на ринок товар-замітник який зможе зрівнятись у ціні, мобільності на ергономічності з цією системою. А у обраній ніші саме ці параметри найважливіші.

Висновки щодо конкурентоспроможності проекту наведено у табл.5.10.

Таблиця 5.10 – Аналіз факторів конкурентоспроможності

Фактор	Обґрунтування
Доступність	Смартфон є у всіх, дані обробляються хмарним середовищем, клієнту потрібно лише придбати підтримуваний датчик та скачати програму, оплата якої розтягнута у часі(оплата по підписці). Це робить систему значно дешевше конкурентів.
Інноваційність	Прямої аналогів на ринку немає
Універсальність	Ультразвук може бути використаний для контролю багатьох параметрів ОК, виготовленого різними способами та з різних матеріалів.
Мобільність	Фізично система складається смартфона, який клієнт і так завжди носить з собою та легкого датчика.
Модульність	Підтримка різних датчиків дозволяє обрати саме той, що підходить задачі та кишені клієнта. У поломки замінити потрібно буде теж лише датчик, а не дорогий прилад.
Ергономічність	Інтуїтивно зрозуміле меню, та смартфон до якого клієнт звик, це саме те що потрібно для комфортного користування.

Отже система діагностики з віддаленою обробкою даних має ряд переваг над приладами конкурентів.

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту «Система діагностики віддаленою обробкою даних»

Фактор конкурентоспроможності	Бали (1-20)
Доступність	20
Інноваційність	18
Універсальність	19
Мобільність	20
Модульність	19
Ергономічність	20

Тепер на основі проведеного аналізу загроз та можливостей а також сильних та слабких сторін проекту складемо матрицю SWOT(Strength, Weak, Opportunities, Troubles) аналізу.

Таблиця 5.12 – SWOT аналіз стартап проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Доступність. • Ергономічність. • Мобільність. • Модульність. • Універсальність. • Інноваційність. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Відсутність репутації на ринку. • Відсутність фінансових ресурсів. • Необхідність підтримки різних типів датчиків. • Необхідність створення великих обчислювальних потужностей.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Швидке охоплення виявленої ніші ринку ціновій політиці та відсутності необхідності фізичного виробництва. • Створення бази даних для навчання штучного інтелекту. • Використання штучного інтелекту для обробки результатів вимірів. • Підтримка різних типів датчиків. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Розвиток технологій може призвести до втрати конкурентних переваг, які стануть нормою на ринку. • Можливі проблеми з сертифікацією.

З цього аналізу ми бачимо що слабкі сторони проекту є лише стартовими перепонами, які будуть подолані у процесі розвитку компанії. Натомість прямих конкурентів у обраній ніші ринку поки що немає, а наявні приладі значно поступаються за основними критеріями для потенційних клієнтів. А саме ціною, ергономічністю, модульністю та мобільністю. Система з діагностики з віддаленою обробкою даних має майже безмежний потенціал для розвитку, а основну загрозу становить розвиток концепцій та технологій у конкурентів. Тому реалізувати проект потрібно як найшвидше. Іншою загрозою впровадженню проекту є можливі проблеми сертифікації системи,

оскільки інноваційний підхід значно відрізняє її від звичних для галузі рішень та приладів.

Далі розглянемо альтернативи ринкового впровадження стартап проекту.

Таблиця 5.13 – Альтернатива ринкового впровадження стартап проекту

Альтернативна стратегія	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Розробка програмної частини самостійно	Низька	Довгострокова
Продаж концепції зацікавленим сторонам	Висока	Короткострокова
Опенсорс розробка	Середня	Довгострокова

Проаналізувавши варіанти альтернативних стратегій, можна зробити висновок що найбільш оптимальним є продаж концепції зацікавленим сторонам з отриманням фінансів одразу після укладення угоди.

5.3 Розроблення ринкової стратегії стартап проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів[16].

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів.	Готовність споживачів сприйняти продукт.	Орієнтований попит в межах цільової групи.	Інтенсивність конкуренції в сегменті.	Простота входу в сегмент.
ФОП	Висока	Високий	Середня	Висока
Малі підприємства	Висока	Високий	Середня	Висока
Середні підприємства	Середня	Середній	Середня	Середня
Великі компанії	Низька	Низький	Висока	Низька
Які цільові групи обрано: малі підприємства та ФОПи, за сприятливих обставин можна зайти у цільову групу середніх підприємств.				

Проаналізувавши цільові групи споживачів, ФОПів та малі підприємства обрано як цільову аудиторію, оскільки саме у цьому сегменті ринку переваги системи діагностики з віддаленою обробкою даних розкриють себе, а переваги конкурентів будуть нівельовані. За сприятливих умов можна поборотись за ринок середніх підприємств, оскільки тут переваги проекту все ще вагомі, а конкурентів не такі значні. Великі компанії мають великі фінансові можливості, тому для них ціна не грає ролі. Вони навряд чи підуть на експерименти з невідомою фірмою лише заради підвищення комфорту рядового персоналу.

А отже ми вибираємо стратегію диференційованого маркетингу.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні стратегії відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Продаж концепції зацікавленим сторонам	Диференційованого маркетингу	Швидке отримання прибутку без витрат та ризиків.	Стратегія диференціації

Стратегією охоплення ринку була обрана стратегія диференціації. Тому що система щомісячної оплати з однієї сторони робить систему найдешевшою на ринку, а з іншою потребує формування постійної бази клієнтів. Тому головною ціллю є захоплення ринку і формування клієнтської бази за рахунок конкурентних переваг, низької ціни та маркетингу заснованому на приверненні уваги клієнта до інновацій системи.

Тепер потрібно визначити стратегію конкурентної поведінки.

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

Чи є проект першопроходьцем на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента і як?	Стратегія конкурентної поведінки.
Так	Буде шукати нових та забирати існуючих	Ні	Стратегія зайняття конкурентної ніші

Основною стратегією поведінки на ринку було обрано стратегію зайняття конкурентної ніші. Оскільки конкурентні переваги проекту у обраній ніші дуже високі та актуальні, у той час, як продукти інших фірм на ринку не мають у конкурентних переваг у ній. У той час, як вихід з ніші обернеться, у кращому випадку, конкуренцію на рівних умовах, а у випадку великих підприємств – конкуренцію зі слабкої позиції.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування.

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентні переваги власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту.
<ul style="list-style-type: none"> • Компактність та легкість • Тривала робота без підзарядки. • Універсальність та модульність. • Доступна ціна. • Можливість контролю виробів нестандартної, складної форми та внутрішньої структури. 	Стратегія диференціації	<ul style="list-style-type: none"> • Низька ціна. • Мобільність • Ергономічність 	<ul style="list-style-type: none"> • Низька ціна. • Мобільність • Комфорт

Беручи до уваги базову стратегію розвитку, вимоги до товару цільової аудиторії, ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту та конкурентів визначено стратегію позиціонування проекту як інноваційне рішення для ультразвукової дефектоскопії, що має низьку ціну, високі мобільність і комфорт у використанні.

5.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару.

Маркетингова програма для стартап-проекту повинна бути комплексною та орієнтованою на цільову аудиторію. Вона включає визначення ключових переваг потенційного товару опис трьох рівнів моделі товару, визначення меж встановлення ціни та створення концепції маркетингових комунікацій.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг потенційного товару.

Потреба	Вигода, яку пропонує товар.	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити).
<ul style="list-style-type: none"> • Компактність та легкість. • Тривала робота без підзарядки. • Універсальність та модульність. • Доступна ціна. • Можливість контролю виробів нестандартної, складної форми та внутрішньої структури. 	<ul style="list-style-type: none"> • Доступність. • Ергономічність. • Мобільність. • Модульність. • Універсальність. • Інноваційність. 	<ul style="list-style-type: none"> • Найдоступніша ціна на ринку завдяки системі оплати по підписці та мінімуму фізичних компонентів. • Інноваційний підхід. • Використання штучного інтелекту для обробки результатів вимірів. • Підтримка різних типів датчиків.

Тепер необхідно розробити трирівневу маркетингову модель товару. Уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання.

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівень товару	Сутність та складові	
I. Товар за задумом.	<p>Ультразвуковий контроль ФМХ металічних, неметалічних та композитних виробів з ПКМ, та виготовлених іншим чином. Виявлення неоднорідності структури та інших внутрішніх дефектів, визначення товщини покриттів.</p> <p>Основні функціональні вигоди:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ціна на ринку завдяки системі оплати по підписці та мінімуму фізичних компонентів. • Інноваційний підхід. • Використання штучного інтелекту для обробки результатів вимірів. • Підтримка різних типів датчиків. 	
II. Товар у реальному виконанні.	Властивості/характеристики.	М/Нм
	<ul style="list-style-type: none"> • Доступність. • Ергономічність. • Мобільність. • Модульність. • Універсальність. • Інноваційність. 	Нм
	<p>Якість: Галузеві стандарти та сертифікація.</p> <p>Пакування: Відсутнє (Продається софт).</p>	
III. Товар із підкріпленням.	До продажу: Відсутнє.	
	Після продажу: Підтримка та оновлення програмного забезпечення.	
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок шифрування, відсутності коду у відкритому доступі та авторським правом.		

Після формування маркетингової моделі та визначення захисту від копіювання потрібно визначити цінові межі на потенційний товар.

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари замітники (грн)	Рівень цін на товари аналоги (грн)	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
54600-200000	Аналогів немає	>100000 грн/місяць	1000-2500 грн/місяць

Оскільки товар – програмне забезпечення, продаж буде здійснюватися через інтернет магазин на сайті компанії. Отже системою збуту можна знехтувати.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів[16].

Таблиця 5.21 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Цільові клієнти це технічні фахівці, ентузіасти та підприємці, які працюють або будують бізнес у сфері сучасних виробничих технологій. Як правило це доволі молоді люди які зацікавлені у своїй сфері зайнятості, і постійно тримають руку на пульсу нових розробок або навіть самі їх впроваджують.	Конференції, інтернет конференції, семінари, огляд професійної літератури, інтернет, різноманітні профільні видання.	Низька ціна. Мобільність Ергономічність.	Головною ціллю є захоплення ринка і формування клієнтської бази за рахунок конкурентних переваг, низької ціни та маркетингу заснованому на приверненні уваги клієнта до інновацій системи.	Четверта промислова революція – вже у твоєму смартфоні.

5.5 Бізнес-модель та реалізація стартап-проекту

Бізнес-модель - це концепція, яка описує, як ваша компанія створює, прибуток від своїх продуктів чи послуг. Вона описує основні елементи та стратегії, які дозволяють підприємству заробляти гроші, визначає, як ваш продукт чи послуга вирішує проблеми або задовольняє потреби клієнтів. Допомагає зрозуміти, яка саме цінність пропонується та для кого, вказує на джерела прибутку та стратегії монетизації продукту чи послуги.

Ефективна бізнес-модель може створювати конкурентні переваги, такі як ефективність виробництва, інновації, відмінне обслуговування клієнтів тощо. Допомагає використовувати людські, фінансові та матеріальні ресурси найбільш ефективно для досягнення мети компанії та допомагає розуміти, як можливі зміни вплинуть на фінансову стійкість та прибутковість компанії.

Отже, розробка та розуміння бізнес-моделі є ключовим етапом для успішного ведення бізнесу, оскільки вона визначає стратегію, яка дозволяє створювати цінність для клієнтів та отримувати прибуток для компанії.

Ринок 3D друку швидко розвивається, а устаткування для такого виробництва стає все доступнішим. Разом з тим зростає і кількість потенційних клієнтів, що потребують доступної та дешевої діагностики різних виробів, створюючи поки що вільну нішу ринку, сформовану ФОПами, малими та середніми компаніями.

Бізнес-модель стартап-проекту полягає у розробці системи ультразвукової діагностики з віддаленою обробкою даних на базу смартфона, яка може бути використана для ультразвукового контролю ФМХ металічних, неметалічних та композитних виробів з ПКМ, та виготовлених іншим чином. Виявлення неоднорідності структури та інших внутрішніх дефектів, визначення товщини покриттів. Система відрізняється від наявних на ринку інноваційним підходом, що робить її доступною та зручною у використанні без втрати якості діагностики.

Таблиця 5.22 – Бізнес-модель стартап-проекту

<p>КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ Компанії-виробники датчиків для НК.</p> <p>МОТИВАЦІЯ ДЛЯ ПАРТНЕРСТВА Продажі на неохопленому сегменті ринку.</p> <p>Зменшення витрат.</p> <p>Конкурентна перевага.</p>	<p>КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ Надання хмарного сервісу для ультразвукової діагностики.</p>	<p>ЦІННІСНА ПРОПОЗИЦІЯ Ультразвуковий контроль ФМХ металічних, неметалічних та композитних виробів з ПКМ, та виготовлених іншим чином. Виявлення неоднорідності структури та інших внутрішніх дефектів. Визначення товщини покриттів.</p>	<p>ВІДНОСИ З КЛІЄНТАМИ Оплата по підписці щомісяця.</p> <p>Завантаження програмного забезпечення з сайту компанії.</p> <p>Технічна підтримка та зворотній зв'язок.</p>	<p>СЕГМЕНТИ КОРИСТУВАЧІВ ФОП та інспектори, які проводять контроль на виїзді.</p> <p>Малий бізнес</p> <p>Середні компанії</p> <p>РИНОК Нішевий.</p>
<p>КЛЮЧОВІ РЕСУРСИ Інвестиції.</p> <p>Серверне обладнання.</p> <p>Фахівці з створення спеціалізованого програмного забезпечення для УЗНК, та хмарних сервісів.</p>	<p>ХАРАКТЕРИСТИКИ Низька ціна.</p> <p>Ергономічність</p> <p>Мобільність.</p> <p>Модульність.</p> <p>Універсальність.</p> <p>Інноваційність.</p>	<p>КАНАЛИ Інтернет магазин на сайті компанії.</p> <p>Контракти з підприємствами.</p> <p>КОНТАКТИ E-mail</p> <p>Месенджери</p> <p>Телефонні дзвінки</p> <p>Коментарі на сайті компанії</p>		
<p>СТРУКТУРА ВИТРАТ Основною статтею витрат є створення приватного хмарного сервісу. Також витрат потребує функціонування компанії(заробітна плата, необхідне устаткування ті інші.).</p> <p>СТРУКТУРА ВИТРАТ Керована витратами. Мінімізація витрат надає перевагу над конкурентами у вигляді доступного товару.</p>		<p>ДЖЕРЕЛА ДОХОДІВ Оплата за користування по підписці щомісяця складає 100% доходів компанії.</p>		

УЗНК – ультразвуковий неруйнівний контроль.

Оскільки основними критеріями для потенційних клієнтів є ціна, модульність, мобільність та ергономічність, система повинна мати мінімальну кількість фізичних компонентів. Оптимальним рішенням буде створення компанії для розробки та підтримки програмного забезпечення для ультразвукової діагностики ФМХ металічних, неметалічних та композитних виробів з ПКМ, та виготовлених іншим чином, яке клієнт буде використовувати через хмарне середовище. Діагностика буде проводитись за допомогою широкого асортименту датчиків з бездротовим підключенням до смартфона, наявних на ринку або замовлених для відкритого продажу у виробника. Один з тих що підтримує сервіс, клієнт придбає в залежності від своїх потреб та кишені. Для обміну даними буде використовуватись смартфон клієнта. Софт на самому смартфоні, який використовується для підключення датчиків і обміну даними з сервером розповсюджується по підписці за щомісячною оплатою. Таким чином майже все навантаження на обчислювальні потужності бере на себе сервер.

Тепер потрібно розробити календарний план реалізації проєкту.

Календарний план реалізації проєкту - це важлива умова для успішної організації та контролю за процесом його виконання. Ця стратегія допомагає розбити весь процес на конкретні етапи з чіткими термінами. Це спрощує планування та визначення часових рамок для завершення кожної фази. Такий підхід дозволяє контролювати прогрес, уникати затримок і ефективно розподіляти ресурси. Чіткі терміни допомагають управляти часом та бюджетом, а також організувати роботу команди відповідно до встановленого графіку.

Для цього розроблено графік, представлений у таблиці 5.23.

Таблиця 5.23 – Календарний план реалізації проекту

Зміст етапу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Собівартість реалізації
Оцінка ринку.	X												\$100
Виявлення потреб потенційних клієнтів.	X												\$100
Створення концепту проекту.	X	X											\$100
Розробка технічного завдання.		X	X										\$100
Оцінка потенційних витрат та пошук інвесторів.			X	X									\$100
Створення компанії та пошук персоналу.					X								\$10000
Розробка та тестування програмного забезпечення.						X	X	X					\$15000
Оптимізація та усунення недоліків.									X				\$5000
Сертифікація системи.										X			\$10000
Розширення асортименту підтримуваних датчиків.										X	X		\$10000
Створення серверних рішень для хмарного середовища										X	X		\$100000
Вихід на ринок та рекламна компанія.												X	\$10000

Початковий етап аналізу ринку, планування та пошук інвесторів можна пройти без залучення сторонніх спеціалістів та спец обладнання, тому витрати на нього символічні 500\$. Після отримання інвестицій, створення компанії, придбання необхідного обладнання та організації робочого процесу, на що виділено 10000\$ починається основний етап створення сервісу – розробка програмного забезпечення. На заробітну плату працівникам та інші витрати виділено 5000\$ в місяць. Сертифікація обладнання для НК може бути доволі витратним процесом, особливо з урахуванням нестандартного підходу проекту, тому на неї зарезервовано 10000\$. Основною статтею витрат є створення приватного хмарного сервісу, на початковому етапі роботи компанії на нього виділено 100000\$. Фінальною статтею витрат є вихід продукту на ринок, рекламна компанія - 5000\$ плюс витрати на функціонування фірми за 12ий місяць - 5000\$.

Загальні витрати за рік створення проекту становлять 160500\$. При оціночних стартових продажах у 1000 клієнтів за ціною 55\$(2091,69грн на 04.01.24) у місяць, витратах на функціонування компанії у 5000\$/місяць та податку на прибуток 18%(на 04.01.24) оціночний прибуток становить 41000\$/місяць. А отже, вже з 5ого місяця роботи сервіс покриє витрати і почне приносити прибуток. Що є прекрасним результатом, навіть якщо перші прибутки підуть на збільшення обчислювальних хмар, розширення штату компанії та вдосконалення сервісу.

Висновки до розділу 5

Неруйнівний контроль є невід’ємною частиною сучасної промисловості і цей ринок буде тільки рости по мірі впровадження новітніх технологій у виробництві. Банківські відсотки на вклади в Україні становлять 12.5-18% в залежності від банку(minfin.com.ua). У розвинутих країнах з сильною економікою(США, КНР, Південна Корея, Японія, Німеччина та ін.) цей

відсоток **значно** менше, а основний ринок НК буде саме там. Отже входження на ринок НК, а особливо за кордоном, має дуже високі перспективи і може принести великі прибутки. Можливість ринкової комерціалізації є.

Як видно з дослідження, систему можна створити за допомогою доступних на ринку технологій. Для розробки софта можна залучити професіоналів, отримавши інвестиції за допомогою краудфандингу. А питання оренди/придбання обчислювальних потужностей вирішувати в залежності від наявних фінансів та ситуації на ринку. Слабкі сторони проекту є лише стартовими перепонами, які будуть подолані у процесі розвитку компанії. Система з діагностики з віддаленою обробкою даних має майже безмежний потенціал для розвитку.

Конкурентні переваги проекту у обраній ніші дуже високі та актуальні, у той час, як продукти інших фірм на ринку не мають у конкурентних переваг у ній. А отже проект має потенціал для реалізації.

В якості альтернативи найбільш оптимальним є продаж концепції зацікавленим сторонам з отриманням фінансів одразу після укладення угоди.

Подальша імплементація проекту є доцільною.

ВИСНОВКИ

1. Було оглянуто порошкові конструкційні матеріали, особливості їх виготовлення та використання, розкрито їх роль у сучасному виробництві. Проаналізовано переваги та недоліки важливого сучасного методу виробництва – SLM(Selective laser melting), також відомого як адитивне виробництво або 3D-друк. Розглянуто переваги та недоліки використання різних видів НК у адитивному виробництві, обґрунтовано використання ультразвукового неруйнівного контролю.

2. Проведено аналіз ринку ультразвукових дефектоскопів, виявлено головні їх недоліки та запропоновано їх вирішення шляхом використання сучасних мобільних пристроїв і безпроводного зв'язку для передачі та віддаленої даних. Було показано, що прогрес цифрових технологій відкриває нові можливості для інспекторів ультразвукового НК. Такі досягнення створюють перспективну роль інспектора завдяки підвищенню простоти використання, зручному та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу користувача, вищій точності та ефективності завдяки зменшенню кількості помилок і переробок у робочих процесах, створенню відстежуваних процедур із меншими зусиллями, покращенню безперервності роботи та забезпечення безперешкодного обміну даними для забезпечення якості. Одним із ефектів є зменшення зусиль, витрачених на другорядні аспекти роботи інспектора з низькою доданою вартістю, такі як звітність, зберігання й керування даними.

3. Проведено огляд запропонованої системи, представлено її алгоритм роботи, структурну та функціональну схеми. Проведено розрахунки п'єзоелектричного перетворювача та акустичного тракту.

4. Експериментальним шляхом виявлено, що відносна похибка системи ультразвукової діагностики на базі смартфона з віддаленою обробкою даних відносно мікрометра становить 1.17%. Похибка дефектоскопу Einstein-II становить 1.17%. Таким чином, отримані результати показують, що

досліджувана система не поступається серійному аналогу, та навіть має ряд переваг над професійним обладнанням. А саме доступність та невелику вартість, можливість передачі отриманих даних безпосередньо до центру обробки інформації, який володіє потужним обладнанням або у хмарне сховище, що дозволить отримувати доступ до оперативної інформації для її вивчення та обробки будь-якому фахівцю з будь-якої точки світу. Отже, така система може бути використана для контролю якості виготовлення виробів з порошкових матеріалів.

5. Створено стартап-проект «Система діагностики з віддаленою обробкою даних». Розроблена маркетингова програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення. Спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки. Розроблено бізнес-проект та календарний план.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богдан Г. А. Вдосконалення ультразвукового методу контролю фізико-механічних характеристик порошкових матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : [спец.] 05.11.13 "Прилади і методи контролю та визначення складу речовин" / Богдан Галина Анатоліївна ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського". Київ, 2017. 24 с.

2. Галаган Р.М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

3. Петрик В. Ф. Бездротові технології в автоматизації неруйнівного контролю / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов, Р. М. Галаган, О. В. Муравйов, А. С. Момот // Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – Том 32 (71), № 5. – С. 25-29.

4. Петрик В.Ф. Розвиток технологій неруйнівного контролю / В.Ф.Петрик, А.Г.Протасов // Збірник тез доповідей ХІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 року, м. Київ / ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 143-144.

5. Петрик В.Ф. Розвиток технологій неруйнівного контролю. Ч2./ В.Ф.Петрик, А.Г.Протасов // Збірник тез доповідей ХХ Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», 18-19 травня 2021 року, м. Київ / ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С. 162-163.

6. Петрик В.Ф. Мобильный вихретоковый дефектоскоп с беспроводной системой передачи данных / В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин, В. В. Карпинський, Кустановский А.Л., Ю. Ю. Лисенко // Журнал «Научни Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни на безразрушителния контрол 2016», г. Созополь, 2016 г. – Созополь, 2016. – № 1(187) – С. 43–45.

7.Протасов А.Г. Вихрострумовий дефектоскоп з телеметричним каналом зв'язку / А. Г. Протасов, К. М. Серий, О. Л. Дугін, В. Ф. Петрик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – 2014. – № 19 (1062). – С. 132–139.

8.Протасов А. Г. Телеметрический вихретоковый дефектоскоп / А. Г. Протасов, В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин // Журнал «Научни Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни НК 2014», г. Созополь, 09-18 июня, 2014 г. – Созополь, 2014. – № 1(150) – С. 34 – 36.

9.Куц Ю.В. Исследование импульсной вихретоковой системы контроля диэлектрических покрытий / Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, О. Л. Дугин, Ю. Ю. Лисенко // Журнал «Научни Известия НТСМ»: материалы международной конференции «Дни НК 2014», 09-18 червня, 2014 р. – Созополь, 2014. – № 150 – С. 28–30.

10.Менеджмент стартап-проектів [Електронний ресурс]: навчальний наочний посібник для студентів спеціальностей 051 «Економіка», 073 «Менеджмент», 075 «Маркетинг» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, М. О. Кравченко, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 435 с.

11.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.

12.Петрик В.Ф. Використання серійних мобільних пристроїв при проектуванні портативних дефектоскопів / Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Серий К.Н., Повшенко А.А. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2019. - Том 30 (69), Ч. 2, № 6. - С.12-16.

13.Петрик В.Ф. Использование беспроводных технологий в дефектоскопии / В. Ф. Петрик, Г. М. Ковтун, Д. М. Топиха // Ж-л «Научни

Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни НК 2014». – Созополь, 2014. – № 150 – С. 486 – 488.

14. Галаган Р. М. Тестування нейромережєвих модулів системи теплової дефектометрії за допомогою імітаційного моделювання / Р. М. Галаган, А. С. Момот, А. Г. Протасов, В. Ф. Петрик, Г. А. Богдан // Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. - 2021. - Том 32 (71), № 6. - С. 49-55.

15. Петрик В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.

16. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.

17. Rehbein J. 3D - Visualization of ultrasonic NDT data using mixed reality / J. Rehbein, S.J. Lorenz, J. Holtmannspötter, B. Valeske // Saarbrücken, Germany Contact International Conference on NDE 4.0. – 2022.

18. Siang T.W. A Past, Present, and Prospective Review on Microwave Nondestructive Evaluation of Composite Coatings / T.W. Siang, M. F. Akbar , G. N. Jawad, T.S. Yee, M. I. S. M. Sazali // State-of-the-Art on Coatings Research in Asia. – 30 July 2021.

19. Özdemir A.T. Developing an iPhone smartphone based fall detection algorithm / A. T. Özdemir, A. Orman // Proc. 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). – Malatya, Turkey. 16-19 May, 2015. – pp. 2456-9.

20. Gül S. Smartphone Controlled Ultrasonic Nondestructive Testing System Design / S. Gül, A. T. Ozdemir // International Conference on Engineering Technologies – 7-9 December, Konya, TURKEY, 2017.

21.Udell C. Improving the productivity of ultrasonic inspections with digital and mobile technologies / C. Udell, M. V. Felice, I. Heng, I. Tsalicoglou // Singapore International NDT Conference & Exhibition – 4-5 Dec 2019 – Vol. 25(4).

22.Intelligent Automated Eddy Current System for Monitoring the Aircraft Structure Condition / I. Lysenko, V. Uchanin, V. Petryk, Y. Kuts, A. Protasov, A. Alexiev // 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). - 2022. - P. 1-5.

23. Saniie J. Analysis of order statistic filters applied to ultrasonic flaw detection using split-spectrum processing / J. Saniie, D. T. Nagle, K. D. Donohue // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control – Mar. 1991 – vol. 38, no. 2, pp. 133-140.

24.Kren A.P., Delendyk M.N., Ivanov V.P. Industry 4.0: Transformations in Non-Destructive Testing. Science and innovation. 2019. No. 2 (192). P. 28–32.

25.Brook M. V. Ultrasonic Inspection Technology Development and Search Unit Design: Examples of Practical Applications / M. V. Brook // IEEE press – 2012.

26.Meier J, Tsalicoglou I., Mennicke R. The future of NDT with wireless sensors, A.I. and IoT. Proceedings 15th Asia Pacific Conference for Non-Destructive Testing, Singapore, November 13–17, 2017. P. 1–11.

27.Petryk V. Ultrasound Flaw Detector Based on a Mobile Phone / Valentyn Petryk, Anatolii Protasov // CUTTING-EDGE SCIENCE – 2019 : materials of the International XV scientific and practical conference, Sheffield, April 30–May 7, 2019. – Sheffield : «Science and aducation» LTD, 2019. – Volume 14. – P. 64–66.

28.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.

29.Udell C. The future of ultrasonic NDT with IoT / C. Udell, I. Tsalicoglou, R. Mennicke // 12th European Conference on Non-Destructive Testing – Gothenburg 2018, June 11-15 – Vol. 23(8).

30.Smoqi Z. Ultrasonic nondestructive evaluation of additively manufactured wear coatings / Z. Smoqi, L. D. Sotelo, A. Gaikwad, T. A. Turner, P. Rao // NDT & E International – January 2023 – Volume 133, 102754

31.Using The Pulsed Eddy Current Techniques For Monitoring The Aircraft Structure Condition / I. Lysenko, Y. Kuts, V. Uchanin, A. Protasov, V. Petryk, A. Alexiev // Transactions on Aerospace Research. - Institute of Aviation : Poland, 2023. - Vol. 1 (270). - P. 22-31.

32.Yi W. J. Mobile ultrasonic signal processing system using android smartphone / W. J. Yi, S. Gilliland, J. Saniie // IEEE 56th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS) – 2013 – pp. 1271-1274.

33.Preintner S. Non-Destructive Testing of Additively Manufactured Parts / S. Preintner // Confluence-System des Digitalverbunds Bayern – summer semester 2020.

34.Патент України на корисну модель UA 119536 U, G01N 29/00,G01N 29/34 (2006.01), G01N 29/26 (2006.01), H04W 88/04 (2009.01). Мобільний ультразвуковий дефектоскоп / В.Ф. Петрик, А.Г.Протасов, К.М.Серий, С.С.Українець. – № u201703958; заявл. 21.04.2017; опубл. 25.09.2017. – Бюл. № 18/2017.

35.Патент України на корисну модель UA 121451 U, G01N 29/00, G01N 29/34 (2006.01), G01N 29/26 (2006.01), H04W 88/04 (2009.01). Телеметричний вихрострумовий дефектоскоп / В.Ф. Петрик, А.Г.Протасов, К.М.Серий, С.С.Українець. – № u201704998; заявл. 23.05.2017; опубл. 11.12.2017. – Бюл. № 23/2017.

36.Патент України на корисну модель UA 50632 U, G01N 29/00. Ультразвуковий безпровідний дефектоскоп / О.Л. Кустовський, В.Ф. Петрик. – № u201005265; заявл. 29.04.2010; опубл. 10.06.2010. – Бюл. № 11/2010.

37.Патент України на корисну модель UA 50968 U, G01N 29/24. Спосіб неруйнівного контролю об'єктів та речовин / О.Л. Кустовський, В.Ф. Петрик. – № u201000374; заявл. 15.01.2010; опубл. 25.06.2010. – Бюл. № 12/2010.

38. Патент України на корисну модель UA 76830 U, G01N 27/00.
Вихрострумний дефектоскоп / О.Л. Кустовський, О.Л. Дугін, В.Ф. Петрик. –
№ u201212788; заявл. 09.11.2012; опубл. 10.01.2013. – Бюл. № 1/2013.