

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 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: «Автоматизація процесів ультразвукового контролю зварних
з'єднань»**

Виконала:

студент II курсу, групи ПК-21мп

Явдошук Даниїл Петрович _____

Науковий керівник:

доцент, к.т.н., доцент,

Лисенко Юлія Юріївна _____

Консультант з розробки стартап-проекту:

завідувач кафедри економічної кібернетики,

доктор економічних наук, професор,

Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент: _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

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

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 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

Явдошуку Даниїлу Петровичу

1. Тема дисертації «Автоматизація процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань», керівник дисертації Лисенко Юлія Юріївна, к.т.н., доцент затверджені наказом по університету від «08» листопада 2023 р. № 5188-с.
2. Термін подання студентом дисертації: 11.01.2024 р.
3. Об'єкт дослідження: процес ультразвукового контролю зварних швів, типові дефекти, що виникають при зварюванні елементів та в процесі їх експлуатації
4. Вихідні дані: робоча частота перетворювача - 5 МГц, тип перетворювачів - похилий, тип хвилі в ОК - поперечна, вірогідність контролю 95 %.
5. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд, визначення проблеми, загальний огляд методів контролю зварних з'єднань, особливості ультразвукового контролю зварних з'єднань, використання нейромереж в автоматизації процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань, розрахункова частина (вибір робочої частоти, обчислення первинного перетворювача, еквівалентна схема акустичного тракту, опис структурної та

функціональної схем), конструкторсько-технологічна частина, розробка стартап проекту, висновки.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Складальний кресленик (A2), деталювання (A3, A3), структурна схема (A2), функціональна схема (A2), електрична принципова схема (A1), плакат з алгоритмом роботи (A1), універсальний плакат (A1)

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Складальний кресленик	Богдан Г. А., ст. викладач, к.т.н., доцент		
Електрична схема	Баженов В.Г., доц., к.т.н., доц.		

8. Дата видачі завдання: «01» вересня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів дисертації	Примітка
1	Аналіз останніх досягнень в області роботизованого контролю	01.09.2023-16.09.2023	
2	Обґрунтування вибору комбінованого методу контролю	19.09.2023-23.09.2023	
3	Постановка завдання	26.09.2023-30.09.2023	
4	Розрахункова частина	03.10.2023-21.10.2023	
5	Розробка структурної та функціональної схеми	24.10.2023-28.10.2023	
6	Підбір основних елементів принципової схеми	31.10.2023-11.11.2023	
7	Виконання ілюстративного матеріалу	14.11.2023-02.12.2023	
8	Розробка стартап проекту	21.12.2023-01.01.2024	
9	Оформлення дипломного проекту	01.01.2024-06.01.2024	

Студент

Даниїл ЯВДОЩУК

Керівник

Юлія ЛИСЕНКО

АНОТАЦІЯ

Автоматизація процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань є актуальною та важливою темою в сучасній індустрії. Ультразвуковий контроль використовується для виявлення дефектів у зварних з'єднаннях, таких як тріщини, пузири та інші неправильності, що можуть впливати на міцність та надійність конструкцій. Автоматизація цього процесу включає в себе використання спеціалізованого обладнання та програмного забезпечення для автоматичного проведення ультразвукового сканування та аналізу результатів. Це дозволяє збільшити швидкість і точність контролю, зменшити вплив людського фактору та підвищити загальну ефективність процесу. Важливими етапами автоматизації є розробка алгоритмів обробки ультразвукової інформації, інтеграція зі зварювальним обладнанням, створення інтерфейсів для взаємодії з операторами та забезпечення системи моніторингу та звітності. Застосування автоматизованого ультразвукового контролю зварних з'єднань веде до покращення якості виробництва, зменшення ризиків виникнення дефектів та підвищення надійності та безпеки в експлуатації структур і машин.

Магістерська дисертація являє собою вирішення задачі автоматизації процесу ультразвукового контролю зварних з'єднань. Завданням даного проекту є вирішення проблематики у автоматичному знаходженні дефектів у зварних швах.

Мета роботи: полягає у розробці пристрою для ефективного моніторингу якості зварних з'єднань з метою виявлення всіх можливих недоліків.

Об'єкт дослідження: процес ультразвукового контролю зварних швів, типові дефекти, що виникають при зварюванні елементів та в процесі їх експлуатації.

Предмет дослідження: процеси, що характеризують розсіювання акустичних хвиль у твердому ізотропному середовищі та їх відгук у сигналі перетворювача, його послідуєчому аналізуванні з метою формування рішення системою щодо подальших дій.

Ключові слова: автоматизація процесів, ультразвук, зварні шви, ультразвуковий контроль.

ABSTRACT

Automation of ultrasonic inspection processes for welded joints is a relevant and crucial topic in modern industry. Ultrasonic inspection is employed to detect defects in welded joints, such as cracks, bubbles, and other irregularities that may affect the strength and reliability of structures. The automation of this process involves the use of specialized equipment and software for the automatic execution of ultrasonic scanning and analysis of results. This enhances the speed and accuracy of inspections, reduces the impact of human factors, and improves overall process efficiency. Key stages of automation include the development of algorithms for processing ultrasonic information, integration with welding equipment, creation of interfaces for operator interaction, and the establishment of monitoring and reporting systems. The application of automated ultrasonic inspection of welded joints leads to improved manufacturing quality, reduced risks of defects, and increased reliability and safety in the operation of structures and machinery.

The master's thesis addresses the task of automating the ultrasonic inspection process of welded joints. The project aims to address issues related to the automatic detection of defects in welded seams.

Research Objective: The goal is to develop a device for effective monitoring of the quality of welded joints to detect all possible imperfections.

Research Object: The ultrasonic inspection process of welded seams, typical defects arising during the welding of elements, and in the course of their operation.

Research Subject: Processes characterizing the dispersion of acoustic waves in a solid isotropic medium and their response in the signal transducer, followed by analysis to formulate a decision system for further actions.

Keywords: process automation, ultrasonics, welded joints, ultrasonic inspection.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	10
1.1. Визначення проблеми	10
1.2. Загальний огляд методів контролю зварних з'єднань	11
1.3. Особливості ультразвукового контролю зварних з'єднань	15
1.4. Використання нейромереж в автоматизації процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань	18
1.5. Особливості зварювальних з'єднань	20
1.6. Огляд стану автоматизації процесів контролю зварних з'єднань	22
Висновки до розділу	24
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	27
2.1. Вибір робочої частоти	27
2.2. Розроблення та обчислення первинного перетворювача	28
2.3. Розрахунок еквівалентної схеми акустичного тракту	34
2.4. Розрахунок напруги випромінювання	39
2.5. Розробка та опис структурної схеми	40
2.6. Розробка та опис функціональної електричної схеми	42
Висновки до розділу	44
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	45
3.1 Огляд конструкцій перетворювачів	45
3.2. Розробка конструкції перетворювача	48

3.3 Підбір вузлів пристрою сканування.....	49
Висновки до розділу	51
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ»...	52
4.1 Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту.....	52
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	56
4.3. Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проекту.....	64
4.4. Планування реалізації стартап-проекту.....	72
4.5. Висновки до розділу	75
ВИСНОВОК.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	78

ВСТУП

Актуальність автоматизації процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань обумовлена необхідністю підвищення якості виробництва та безпеки експлуатації в еру високих технологій. Зварні з'єднання є важливими компонентами в багатьох галузях промисловості, і удосконалення процесів їх контролю стає критично важливим аспектом для забезпечення безпеки і надійності продукції. Ультразвуковий контроль зварних з'єднань є важливим етапом в процесі контролю якості та надійності зварювальних робіт у різних галузях промисловості. Він використовується для виявлення різних типів дефектів, а також для підтвердження відповідності зварних з'єднань встановленим стандартам і нормативам.

Метою даної магістерської роботи є ґрунтовне дослідження можливостей автоматизації процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань для підвищення точності, ефективності та швидкості діагностики. Завдання дослідження включають:

- аналіз сучасних методів ультразвукового контролю та ідентифікацію їхніх обмежень;
- вивчення можливостей використання роботів і автоматизованих систем для ультразвукового контролю;
- дослідження впливу використання спеціального програмного забезпечення та опрацювання даних за допомогою штучного інтелекту на результати контролю;
- визначення практичних переваг від впровадження автоматизації ультразвукового контролю.

Дослідження у цій області має потенціал змінити підхід до контролю якості зварних з'єднань та покращити процеси виробництва в промисловості, сприяючи збереженню природних ресурсів і забезпеченню сталого розвитку.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Визначення проблеми

Сучасна промисловість стикається із зростаючим попитом на вироби високої якості та збільшується важливість забезпечення надійності та безпеки виробництва. Одним із ключових компонентів якості виробів є зварні з'єднання, які використовуються в різних сферах, включаючи автомобільну, нафтову, аерокосмічну та інші галузі. Навіть мінімальні дефекти в таких з'єднаннях можуть призвести до серйозних аварій та великих збитків. Відповідно, якість зварних з'єднань є фактором, який визначає тривалість служби та безпеку об'єктів [1, 2, 3].

В той же час, процес ультразвукового контролю цих з'єднань є складним та ресурсозатратним, тому автоматизація цього процесу може значно поліпшити його результативність та ефективність. Одним з прогресивних розвитків в цій області є застосування штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН).

Завдяки ШІ і МН можна розробити систему автоматизованого контролю зварних з'єднань, яка здатна точно виявляти потенційні дефекти та недоліки. Ця система використовує ультразвукові датчики для сканування зварних з'єднань та аналізує отримані дані з використанням алгоритмів ШІ та МН [4, 5].

Переваги автоматизованої системи контролю включають швидкість, точність та надійність. Вона забезпечує більш ефективний контроль процесу зварювання і дозволяє операторам швидко виявляти потенційні проблеми. Крім того, ця система може зберігати дані про зварні з'єднання для подальшого аналізу та статистичного спостереження, що дає можливість виявляти тенденції та робити вдосконалення у процесі виробництва.

Автоматизація ультразвукового контролю зварних з'єднань завдяки штучному інтелекту та машинному навчанню виявляється як перспективний

напрямок розвитку, що сприяє поліпшенню якості продукції та забезпеченню безпеки у промисловості. Це дозволяє забезпечити більш ефективне використання ресурсів, знизити витрати та підвищити конкурентоспроможність підприємств [6, 7, 8].

1.2. Загальний огляд методів контролю зварних з'єднань

Діагностика зварних з'єднань включає в себе використання різноманітних методів і приладів для виявлення дефектів і оцінки якості зварювальних робіт. Ось деякі з основних методів та приладів, що використовуються для діагностики зварних з'єднань:

Ультразвуковий контроль (УЗК): Ультразвуковий контроль використовує високочастотні звукохвилі для виявлення дефектів, таких як тріщини, пухирі, неповні проникнення та інші. Для цього використовуються ультразвукові прилади, які надсилають звукові хвилі через зварне з'єднання і реєструють їхні відбиття від дефектів [9].

Ультразвуковий контроль є одним з найпоширеніших методів контролю зварних з'єднань. Він має ряд переваг, зокрема:

- 1) Висока чутливість до дефектів різного типу та розміру
- 2) Можливість контролювати великі площі зварних з'єднань
- 3) Можливість контролювати складні зварювальні з'єднання
- 4) Можливість контролювати зварювальні з'єднання в важкодоступних місцях
- 5) Можливість контролювати зварювальні з'єднання в режимі реального часу

Однак ультразвуковий контроль має і деякі недоліки, зокрема:

- 1) Необхідність кваліфікованих операторів
- 2) Вартість обладнання

Магнітний контроль (МК): Магнітний контроль використовує магнітне поле для виявлення дефектів, які впливають на магнітні властивості матеріалу. Дефекти, такі як тріщини та вміст магнітної частки, можуть бути виявлені за допомогою магнітного контролю.

Магнітний контроль має ряд переваг, зокрема:

- 1) Простота використання
- 2) Низька вартість обладнання
- 3) Можливість контролювати зварювальні з'єднання в складних умовах

Однак магнітний контроль має і деякі недоліки, зокрема:

1) Неможливість контролювати зварювальні з'єднання з немагнітними матеріалами

2) Неможливість контролювати зварювальні з'єднання з дефектами, які не впливають на магнітні властивості матеріалу

Візуальний контроль: Візуальний контроль є одним із найпростіших методів контролю зварних з'єднань. Він включає в себе огляд зварювальних з'єднань за допомогою окулярів, ендоскопів, відеокамер і т. д. Візуальний контроль дозволяє виявляти відкриті дефекти, такі як тріщини, неправильні зварювальні шви, а також оцінювати зовнішній вигляд та розміри з'єднання.

Візуальний контроль має ряд переваг, зокрема:

- 1) Простота використання
- 2) Низька вартість обладнання
- 3) Можливість контролювати зварювальні з'єднання в будь-яких умовах

Однак візуальний контроль має і деякі недоліки, зокрема:

- 1) Неможливість виявлення внутрішніх дефектів
- 2) Необхідність кваліфікованих операторів

Рентгенівський контроль: Рентгенівський контроль використовує рентгенівські промені для виявлення внутрішніх дефектів, таких як тріщини, порожнистість та інші. Рентгенівські промені проникають в матеріал

зварного з'єднання і поглинаються дефектами. Ця різниця в поглинанні використовується для створення зображень дефектів.

Рентгенівський контроль має ряд переваг, зокрема:

- 1) Висока чутливість
- 2) Можливість виявлення внутрішніх дефектів
- 3) Можливість контролювати зварювальні з'єднання з будь-якими матеріалами

Однак рентгенівський контроль має і деякі недоліки, зокрема:

- 1) Вартість обладнання
- 2) Необхідність захисту від рентгенівського випромінювання
- 3) Неможливість контролювати зварювальні з'єднання в складних умовах.

Теплові методи: Теплові методи використовуються для виявлення аномалій в температурному режимі зварювання. Дефекти, такі як неповні проникнення або нерівномірне нагрівання, можуть бути виявлені за допомогою цих методів.

Теплові методи мають ряд переваг, зокрема:

- 1) Можливість виявлення дефектів, які неможливо виявити за допомогою інших методів
- 2) Простота використання
- 3) Низька вартість обладнання

Однак теплові методи мають і деякі недоліки, зокрема:

- 1) Неможливість виявлення внутрішніх дефектів
- 2) Неможливість контролювати зварювальні з'єднання в складних умовах

Акустичний контроль: Акустичний контроль використовує звукові хвилі, щоб виявити аномалії акустичного випромінювання, які виникають внаслідок дефектів. Цей метод дозволяє виявляти дефекти в реальному часі під час зварювання.

Акустичний контроль має ряд переваг, зокрема:

- 1) Можливість виявлення дефектів в реальному часі
- 2) Можливість контролювати зварювальні з'єднання в складних умовах

Однак акустичний контроль має і деякі недоліки, зокрема:

- 1) Неможливість виявлення внутрішніх дефектів
- 2) Неможливість контролювати зварювальні з'єднання з неметалевими

матеріалами

Електромагнітний контроль (ЕМК): Електромагнітний контроль використовує електромагнітні поля для виявлення дефектів в сталевих і сплавних матеріалах. Цей метод особливо корисний для виявлення тріщин та інших магнітних дефектів.

ЕМК має ряд переваг, зокрема:

- 1) Висока чутливість
- 2) Можливість виявлення дефектів в сталевих і сплавних матеріалах
- 3) Простота використання

Однак ЕМК має і деякі недоліки, зокрема:

1) Неможливість контролювати зварювальні з'єднання з немагнітними матеріалами

2) Неможливість контролювати зварювальні з'єднання з дефектами, які не впливають на магнітні властивості

Вибір методу контролю залежить від конкретних умов, матеріалу та типу зварного з'єднання, яке потрібно діагностувати. Зазвичай використовується комбінація цих методів для більш повного та надійного контролю якості зварювальних робіт.

1.3. Особливості ультразвукового контролю зварних з'єднань

Зварні з'єднання відіграють важливу роль у багатьох галузях промисловості, і удосконалення та автоматизація процесів їх контролю стає критично важливим аспектом для забезпечення безпеки та надійності виробів. Ультразвуковий контроль зварних з'єднань є ключовим етапом в системі контролю якості та надійності зварювальних робіт у різних галузях промисловості. Він здатен надійно виявити різноманітні типи дефектів, такі як тріщини, порожнистість, некоректне зварювання тощо. Ультразвуковий контроль також дозволяє перевірити відповідність зварних з'єднань вимогам встановлених стандартів і нормативів.

Однією з головних переваг ультразвукового контролю це збереження цілісності деталей (об'єктів), що дуже часто надає можливість на виправлення критичних дефектів на стадії виробництва і таким чином підвищити якість продукції, або є на стадії експлуатації виправити дефекти без дороговартісної заміни усього блоку чи деталі. Крім того, ультразвуковий контроль дозволяє проводити діагностику на великій швидкості та дистанції, забезпечуючи швидке та ефективне виявлення дефектів. Цей метод також дуже чутливий і може виявити навіть мінімальні відхилення в якості зварювання.

На сьогодні ультразвуковий контроль зварних з'єднань є надійним та високоефективним інструментом для забезпечення якості та надійності виробів у промисловому виробництві.

Основні цілі ультразвукового контролю включають:

- виявлення внутрішніх дефектів: ультразвуковий контроль може виявити дефекти, які розташовані всередині зварних з'єднань, такі як тріщини, неповні проникнення, пухирі та інші аномалії. Це важливо, оскільки такі дефекти можуть призвести до виходу з ладу та аварій функціонування конструкції;

- контроль глибини проникнення: ультразвуковий контроль дозволяє вимірювати глибину проникнення зварювального матеріалу. Це важливо для визначення якості зварювальної роботи та відповідності стандартам;

- визначення розміру дефектів: за допомогою ультразвукового контролю можна визначити розмір та глибину дефектів, що допомагає в оцінці серйозності проблеми та розробці стратегій виправлення;

- підтвердження відповідності стандартам: у багатьох галузях існують стандарти та нормативи, які регулюють якість та процедури зварювання. Ультразвуковий контроль дозволяє перевірити відповідність цим вимогам і підтвердити відповідність зварних з'єднань нормативам.

Типи дефектів, які можуть бути виявлені за допомогою ультразвукового контролю, включають:

- тріщини: ультразвуковий контроль дозволяє виявити навіть мікротріщини, які можуть стати джерелом руйнування зварного з'єднання;

- пухирі та пори: дефекти, пов'язані з неправильним видаленням газів під час зварювання, можуть бути виявлені за допомогою ультразвукового контролю;

- неповне проникнення: ультразвуковий контроль може виявити недоліки в проникненні зварювального матеріалу;

- відокремлення шарів: якщо шари матеріалу не належним чином зварені, то це може бути виявлено ультразвуковим методом;

- пошкодження корозією: ультразвуковий контроль може виявити пошкодження структури матеріалу, викликані корозією або іншими агресивними факторами.

Важливість своєчасного виявлення дефектів зварних з'єднань

Дефекти зварних з'єднань можуть виникати внаслідок різних причин, таких як неякісне зварювання, неправильна підготовка поверхні, використання невідповідних матеріалів та технологій. Деякі дефекти можуть бути виявлені

візуальним оглядом, але більшість дефектів вимагають використання неруйнівних методів контролю, таких як ультразвуковий контроль.

Своєчасне виявлення дефектів зварних з'єднань є важливим для забезпечення безпеки та надійності виробів. Дефекти, виявлені на ранніх стадіях, можуть бути легко виправлені, не пошкоджуючи конструкцію. Дефекти, виявлені на пізніх стадіях, можуть призвести до виходу з ладу конструкції та аварій.

Обмеження ручного ультразвукового контролю

Ручний ультразвуковий контроль є поширеним методом, але він має ряд обмежень. Ручний контроль вимагає значної кількості часу та зусиль, і він може бути ненадійний, особливо при контролі складних зварних з'єднань.

Деякі з обмежень ручного ультразвукового контролю включають:

- 1) Необхідність кваліфікованих операторів
- 2) Відносно низька продуктивність
- 3) Неможливість контролю складних зварних з'єднань
- 4) Відсутність можливості автоматизації

Переваги автоматизованого ультразвукового контролю

Автоматизований ультразвуковий контроль може значно підвищити ефективність та точність ультразвукового контролю зварних з'єднань. Автоматизовані системи можуть контролювати великі площі зварних з'єднань за короткий час, і вони можуть бути більш точними, ніж ручний контроль.

Деякі з переваг автоматизованого ультразвукового контролю включають:

- 1) Підвищення продуктивності
- 2) Покращення точності
- 3) Можливість контролю складних зварних з'єднань
- 4) Можливість автоматизації

Ультразвуковий контроль є важливим методом для забезпечення якості та надійності зварних з'єднань. Ручний ультразвуковий контроль має ряд обмежень, які можуть бути усунуті за допомогою автоматизованих систем. Автоматизований ультразвуковий контроль може значно підвищити ефективність та точність ультразвукового контролю зварних з'єднань.

Додатково можна додати, що автоматизований ультразвуковий контроль може бути особливо корисним у наступних випадках:

Контроль складних зварних з'єднань

Контроль великих зварних конструкцій

Контроль зварних з'єднань у важкодоступних місцях

Контроль зварних з'єднань у режимі реального часу

Автоматизований ультразвуковий контроль є перспективним напрямком розвитку технологій контролю якості зварних з'єднань. Застосування автоматизованих систем дозволяє підвищити ефективність та точність ультразвукового контролю, що сприяє забезпеченню безпеки та надійності виробів [10, 11].

1.4. Використання неймереж в автоматизації процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань

Це є актуальною та перспективною темою дослідження. Неймережі, а саме глибокі нейронні мережі, можуть бути ефективним інструментом для автоматизації аналізу результатів ультразвукового контролю зварних з'єднань.

Ультразвуковий контроль зварних з'єднань використовується для виявлення дефектів, таких як тріщини, пори, недостатнє зварне з'єднання тощо. Традиційні методи аналізу ультразвукових зображень вимагають

значного зусилля та експертних знань. Використання нейромереж може полегшити цей процес та покращити точність виявлення дефектів [12, 13].

Одна з можливостей використання нейромереж - це автоматичне виявлення дефектів у зображеннях ультразвукового контролю. Нейромережі можуть бути навчені розпізнавати характерні ознаки дефектів на зображеннях та автоматично класифікувати їх. Навчання нейромережі може здійснюватися на великому наборі зображень, які були попередньо викладені великими командами фахівців для визначення дефектів. Це дозволяє змінити ручну роботу фахівців на автоматичний процес, що значно прискорює та поліпшує аналіз результатів контролю [14].

Іншим можливим використанням нейромереж є покращення якості ультразвукових зображень та дефектоскопічних даних. З використанням глибоких нейронних мереж можна розробляти алгоритми для автоматичного підвищення чіткості, покращення контрастності та шумозаглушення ультразвукових зображень. Це дозволить отримувати більш якісну інформацію про зварні з'єднання та допоможе фахівцям зробити точніші висновки щодо наявності дефектів.

Нейромережі також можуть бути використані для автоматизації процесу вибору та налаштування параметрів ультразвукового контролю. Це означає, що нейромережі можуть бути навчені визначати оптимальні параметри сканування та аналізу на основі вхідних даних, таких як тип і розмір зварного з'єднання, матеріал, очікувані дефекти тощо. Це спрощує налаштування обладнання та забезпечує більш стабільний та ефективний процес ультразвукового контролю.

Загалом, використання нейромереж в автоматизації процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань може покращити швидкість, точність та надійність цього процесу. Вона допоможе зменшити залежність від людського фактору та забезпечить більш об'єктивний аналіз результатів контролю. Водночас, варто враховувати, що використання нейромереж вимагає

належної підготовки даних та інженерної розробки для досягнення оптимальних результатів і забезпечення надійного функціонування системи [15].

1.5. Особливості зварювальних з'єднань

Невідповідність продукції до вимог, встановлених у нормативній документації, визначається як дефект. У сфері зварювання розрізняють дефекти підготовки та складання виробів для зварювання та зварювальні дефекти. Останні поділяються на

1. зовнішні (дефекти форми швів),
2. поверхневі
3. внутрішні.

Внутрішніми є дефекти нещільності (макроскопічні дефекти) або дефекти структури.

Макроскопічні дефекти - це порушення структури матеріалу, які можна спостерігати без допомоги мікроскопа. Вони можуть бути видимими неозброєним оком і включають такі дефекти, як тріщини, пори та інше. До макроскопічних дефектів належать: Дефекти, що виникають при відливанні металу: пористість (дірчастість) структури, сторонні включення. Дефекти в результаті плющення: тріщинуватість і розшарування різного роду, текстура металу, як порушення ізотропії. Дефекти термічної обробки (гартування). Ці дефекти можуть впливати на функціональні характеристики матеріалу і його придатність для певних застосувань [16].

Зварювальні з'єднання є одним із найбільш поширених методів з'єднання деталей у машинобудуванні. Вони характеризуються високою міцністю, надійністю та економічністю. Проте, зварювальні шви можуть мати дефекти, які можуть призвести до аварій та травм. Тому контроль якості зварних з'єднань є обов'язковим.

Зварний шов - це безперервне з'єднання двох або більше деталей, яке виконується шляхом зварювання. Зона термічного впливу - це частина основного металу, яка нагрівається під час процесу зварювання. Виділяють наступні типи зварних з'єднань: внапуск, стикове, таврове, кутове (рис. 1.1). Вони позначаються першими буквами – С, Н, У, Т і Тр.

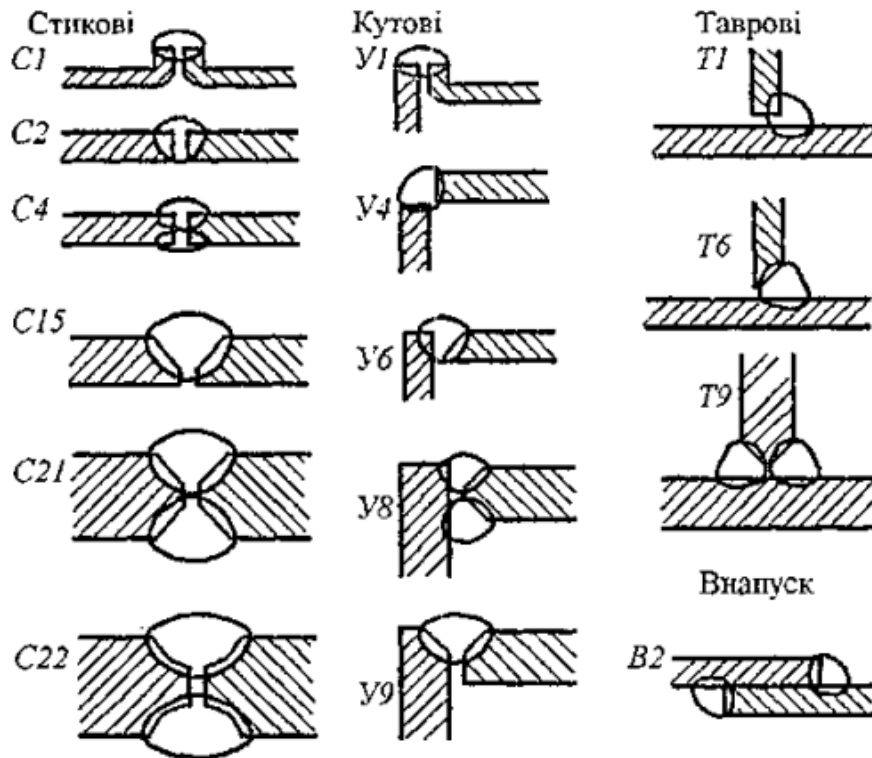


Рис. 1.1 – Типи зварних з'єднань

Дефекти зварних швів

Дефекти зварних швів - це порушення цілості з'єднань, які можуть призводити до погіршення їх міцності, надійності та герметичності.

Дефекти класифікуються за такими критеріями (рис. 1.2):

За типом:

1. Несплошності (тріщини, непроварки, непровари, пори, шлакові раковини);
2. Неправильна форма і розміри шва;
3. Нерівномірність поверхні шва;

4. Невідповідність хімічного складу металу шва до вимог стандарту.

За місцем розташування:

1. Поверхневі дефекти;
2. Внутрішні дефекти.

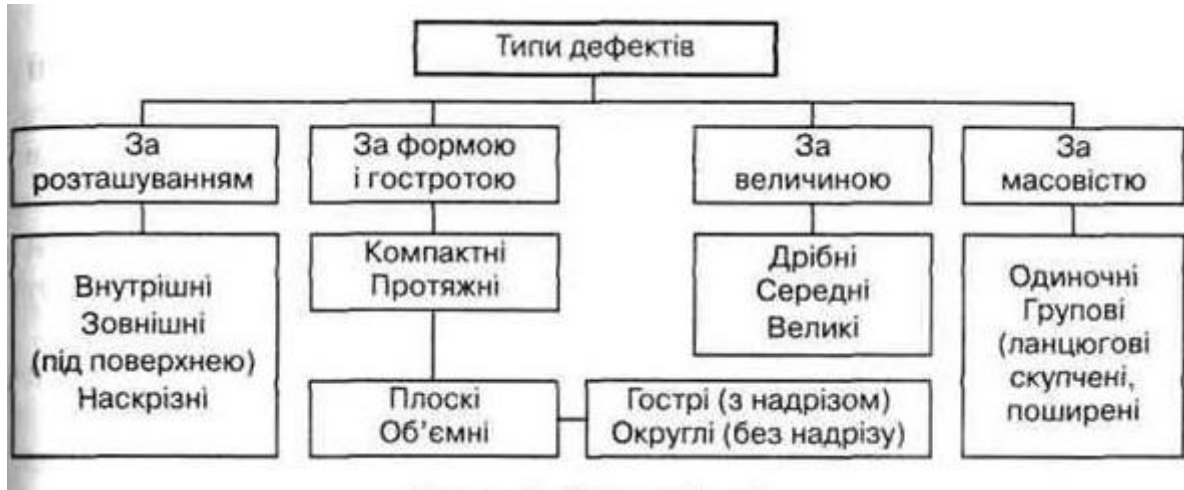


Рис 1.2. Класифікація дефектів

Виникнення дефектів може бути обумовлене кількома причинами. По-перше, можуть виникнути дефекти внаслідок порушення технології зварювання. По-друге, можуть виникнути дефекти, які пов'язані з порушенням якості основного металу. По-третє, інші причини також можуть призводити до виникнення дефектів.

1.6. Огляд стану автоматизації процесів контролю зварних з'єднань

Автоматизація – це невід'ємна складова індустріального та технологічного розвитку сучасного світу. Вона охоплює широкий спектр сфер, від виробництва та енергетики до транспорту та інформаційних технологій. В даному магістерському дослідженні ми розглянемо різні методи та технології, які використовуються для автоматизації процесів та систем. Автоматизація зварювання швів є важливим етапом у виробництві та

має на меті підвищення якості зварних з'єднань, зниження витрат та підвищення продуктивності [17, 18].

Існує кілька методів автоматизації зварювання, які широко застосовуються в промисловому середовищі. Давайте розглянемо деякі з них:

Роботизоване зварювання: Використання роботів для виконання зварювальних операцій. Роботи оснащені спеціальними зварювальними пристроями, які дозволяють працювати з високою точністю і повторюваністю. Програми керування роботами розробляються для виконання певного шаблону зварювання і можуть бути змінені для різних типів з'єднань.

Автоматизоване зварювання з використанням маніпуляторів: Маніпулятори - це рухомі механічні системи, які використовуються для маніпулювання деталями під час зварювання. Вони можуть мати аж шість вільних ступенів свободи і включати рухи вздовж трьох осей і обертання навколо трьох осей. Маніпулятори забезпечують точне позиціонування зварювальних горелок під час роботи.

Зварювання за допомогою промислових роботів: Застосування промислових роботів для зварювання швів. Промислові роботи мають велику маніпуляційну гнучкість, швидкість і повторюваність. Вони можуть бути програмовані для виконання складних шаблонів зварювання і забезпечувати високу продуктивність та якість [19].

Автоматизоване зварювання з використанням CNC-машин: CNC-машини (комп'ютерно-числове керування) використовуються для автоматизованого зварювання швів. Вони можуть бути програмовані за допомогою спеціального коду, що визначає шлях руху зварювального горелки. CNC-машини забезпечують високу точність, повторюваність та швидкість зварювання.

Автоматичне зварювання під флюсом: Цей метод використовує рідкі флюси для захисту зварювального шва від оксидів і повітряних впливів.

Зварювальні дроти автоматично подаються крізь флюс і створюють шов безпосередньо на металевій деталі. Цей метод ефективний для зварювання великих і товстих заготовок.

Плазмове зварювання: Плазмове зварювання використовує високотемпературний плазмовий стовп для зварювання металу. Воно забезпечує швидкість зварювання, високу якість з'єднання та можливість зварювання різних матеріалів.

Ці методи автоматизації зварювання допомагають забезпечити високу якість з'єднання, підвищують продуктивність та знижують витрати праці та матеріалів. Вибір конкретного методу залежить від типу зварювання, матеріалів, розмірів і вимог до якості зварювального шва.

Висновки до розділу

Ультразвуковий контроль є одним з найефективніших методів контролю зварних з'єднань. Він володіє рядом переваг, які дозволяють виявити широкий спектр дефектів, не пошкоджуючи зварне з'єднання. Діагностика зварних з'єднань є важливим етапом забезпечення якості та надійності зварних з'єднань. Вона дозволяє виявити дефекти, які можуть призвести до виходу з ладу зварної конструкції.

Визначено, що у рамках дослідження необхідно розглянути практичні аспекти ультразвукового контролю зварних з'єднань, а також методи підвищення ефективності та точності цього методу. Крім того, можна виділити наступні аспекти, які є важливими для подальших досліджень в області ультразвукового контролю зварних з'єднань:

Вплив умов експлуатації зварних з'єднань на ефективність ультразвукового контролю. Умови експлуатації зварних з'єднань, такі як температура, тиск, вібрація, можуть впливати на ефективність

ультразвукового контролю. Наприклад, висока температура може призводити до зменшення швидкості поширення ультразвукових хвиль, що може ускладнити виявлення дефектів.

Вплив складності геометричної форми зварних з'єднань на ефективність ультразвукового контролю. Складна геометрична форма зварних з'єднань може ускладнити доступ до дефектів і, відповідно, зменшити ефективність ультразвукового контролю.

Вплив корозії на ефективність ультразвукового контролю. Корозія може призводити до зменшення амплітуди ультразвукових хвиль, що може ускладнити виявлення дефектів.

Розгляд цих аспектів дозволить розробити більш ефективні методи ультразвукового контролю зварних з'єднань, які будуть враховувати вплив умов експлуатації, геометричної форми зварних з'єднань і корозії.

На основі вищевикладеного можна сформулювати наступні рекомендації для подальших досліджень в області ультразвукового контролю зварних з'єднань:

Розробка нових методів автоматизованого ультразвукового контролю зварних з'єднань, які будуть враховувати вплив умов експлуатації, геометричної форми зварних з'єднань і корозії.

Вивчення впливу частоти ультразвукових хвиль на чутливість і ефективність ультразвукового контролю зварних з'єднань в умовах експлуатації.

Розробка нових типів звукових головок для ультразвукового контролю зварних з'єднань, які будуть більш чутливими до дефектів в умовах експлуатації.

Розробка нових методів комп'ютерної обробки сигналів для ультразвукового контролю зварних з'єднань, які будуть більш точними в умовах експлуатації.

Виконання цих рекомендацій дозволить розробити більш ефективні методи ультразвукового контролю зварних з'єднань, які будуть забезпечувати більш високу якість і надійність зварних конструкцій.

Крім ультразвукового методу, для контролю зварних з'єднань використовуються і інші методи, такі як: візуальний, магнітний та рентгенівський методи контролю.

Візуальний контроль є найпростішим і найпоширенішим методом контролю зварних з'єднань. Він дозволяє виявити відкриті дефекти, такі як тріщини, нерівності, неповні проникнення та інші.

Магнітний контроль використовується для виявлення тріщин у феромагнітних матеріалах.

Рентгенівський контроль використовується для виявлення внутрішніх дефектів у зварних з'єднаннях.

Зважаючи на проведений літературний огляд та загальні рекомендації щодо систем контролю якості зварних з'єднань, в процесі вибору методу контролю необхідно враховувати такі фактори: тип дефекту, який потрібно виявити, товщина об'єкту, який підлягає контролю, можливості доступу до зварного з'єднання.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Розрахункова частина ультразвукового контролю зварних з'єднань включає в себе проведення огляду та аналізу отриманих результатів. У даному методі контролю використовуються властивості ультразвуку, який подається на зварний шов. Ультразвукові хвилі, легко відбиваючись від країв тріщин, надають можливість виявити дефекти. Якщо ультразвук зіткнеться з дефектом на своєму шляху, він спотворюється і відбивається в іншому напрямі. Важливо враховувати, що різні типи дефектів спотворюють ультразвук по-різному, що дозволяє визначити їхні типи. Розрахункова частина включає в себе визначення параметрів, таких як розмір та глибина дефекту, використовуючи алгоритми та методи аналізу отриманих відгуків від ультразвукового контролю.

2.1. Вибір робочої частоти

Для ультразвукового контролю зварювальних з'єднань використовують похилі п'єзоелектричні перетворювачі (ПЕП). Зазвичай ці ПЕП доступні в частотному діапазоні від 500 КГц до 10 МГц, але при контролі зварювальних з'єднань часто вибирають частоту у межах 2-5 МГц. Обрання конкретної частоти має велике значення для досягнення оптимальних результатів контролю. Низькі частоти забезпечують кращу проникність вздовж довгих шляхів ультразвуку або в матеріалах із великим зерном, тоді як високі частоти оптимізують роздільну здатність для виявлення дрібних дефектів [20, 21].

У випадку, якщо стандартом не визначено інше, найбільш підходящою для контролю якості є частота 4-5 МГц. Однак для нашого конкретного випадку, де

проводиться контроль зварного стикового з'єднання з товщиною стінки 20 мм, для початкових розрахунків обрано частоту 5 МГц. В процесі розрахунку це значення може бути уточнене через вплив на інші параметри ПЕП. Цей вибір обумовлений необхідністю оптимізації проникності ультразвука для прокладання шляху через велику товщину матеріалу, а також досягнення необхідної роздільної здатності для виявлення потенційних дефектів.

2.2. Розроблення та обчислення первинного перетворювача

Електроакустичні трансдуктори, також відомі як перетворювачі, виконують процес конвертації між акустичною та електричною енергією. Вони складаються з активного п'єзоелемента, оболонки та електричних з'єднувачів. Значущим параметром для передачі звукових хвиль є характеристичний акустичний імпеданс, також відомий як акустичний опір.

Цей показник залежить від щільності середовища та швидкості звуку. Різниця між акустичними імпедансами двох середовищ визначає, наскільки ефективно звукові хвилі можуть переходити з одного середовища в інше. При значній різниці в імпедансах відбувається відбиття звуку, що ускладнює передачу.

Поведінку п'єзоелектричного елемента, який збуджується до коливань, можна подати у вигляді електричної еквівалентної схеми (рис. 2.1). Ємність C_0 відображає діелектричні властивості, а послідовно з'єднані компоненти C_1 , L_1 і R_1 описують зміну механічних характеристик, таких як пружна деформація, ефективна маса та механічні втрати через внутрішнє тертя [22].

Проте цей опис резонансного контуру застосовується тільки до частот, близьких до власного резонансу механіки. Більшість параметрів п'єзоелектричного матеріалу визначаються експериментальним вимірюванням імпедансу на спеціальних тестових стендах при резонансі.

Імпеданс Z , відомий також як видимий опір, представляє собою складний опір змінного струму, де реальна частина вказує на опір, а уявна частина відображає реактивний опір. Імпеданс описується комплексним вектором та фазовим кутом, що визначає його величину та фазовий зсув.

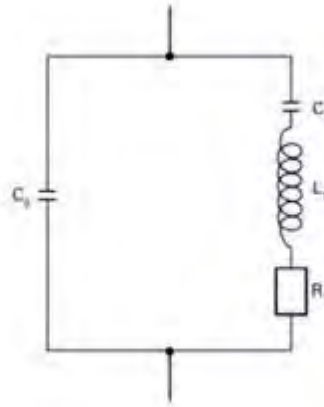


Рис 2.1. Еквівалентна схема п'єзоперетворювача

Для оцінки характеристик п'єзоелектричних матеріалів застосовуються вимірювання послідовних і паралельних резонансів, які відповідають, відповідно, мінімальному значенню f_m та максимальному значенню f_n імпедансу. Вимір імпедансу використовується як стандартний метод під час перевірки якості п'єзокомпонентів та з'єднань. З аналізу форми та динаміки імпедансної кривої можна зробити висновки, наприклад, щодо дефектів у п'єзокомпонентах або якості адгезивних шарів [23, 24].

Оцінка ефективності та пропускну здатності перетворювача представляє собою важливе завдання. Деякі з таких пристроїв спеціально адаптовані для оптимального використання у ролі передавача, в той час як інші демонструють кращу ефективність у якості приймача. Важливо враховувати, що успішність перетворювача в одному сценарії не завжди гарантує його вдалий виклик у інших ситуаціях. Наприклад, чутливість до невеликих дефектів пропорційна продуктивності перетворювача, як передавача і приймача. Роздільна здатність, що визначає можливість

локалізації дефектів, вимагає використання перетворювача з високим рівнем затухання [25].

Необхідно також усвідомлювати поняття пропускнуої здатності або діапазону частот, пов'язаних з перетворювачем. Частота, вказана на датчику, є центральною частотою і визначається, головним чином, матеріалом підкладки. Перетворювачі з високим затуханням реагують на частоти вище і нижче центральної частоти, що розширює їхні можливості. Широкий діапазон частот забезпечує перетворювач з високою роздільною здатністю.

Перетворювачі з меншим затуханням характеризуються вузьким діапазоном частот, меншою роздільною здатністю, але вищою проникністю. Центральна частота визначає характеристики перетворювача, наприклад, більші низькі частоти забезпечують більше енергії та проникнення в матеріал, тоді як високочастотні кристали забезпечують зменшене проникнення, але більшу чутливість до невеликих дефектів. Використання високочастотних перетворювачів, при використанні відповідної техніки, може значно підвищити роздільну здатність та проникнення [26, 27]. На ринку доступні широкосмугові перетворювачі з частотами до 150 МГц.

Датчики розроблені для того, щоб витримувати конкретні впливи, але їх слід обережно обробляти. Некоректне використання, наприклад, падіння, може призвести до пошкодження стійкої до зносу пластини, елемента або матеріалу підкладки. Пошкодження датчика часто можна виявити під час аналізу А-скану, де воно відображається як збільшення початкового імпульсу.

Зазвичай контроль поперечних ехопультів (ПЕП) виконується під стандартними кутами 70, 60 або 45 градусів, іноді з використанням призми з різним нахилом 90 і 30 градусів (для поверхневих хвиль). У більшості випадків призма з великим кутом нахилу (70 і 60 градусів) використовуються для товщини металу менше 25 мм, тоді як менший кут (45 градусів) застосовується при товщині більше 50 мм. Один тест може включати

використання двох або трьох різних кутів, залежно від геометрії виробу та потрібної роздільної здатності. Загальні стандарти контролю надають додаткову інформацію.

Для розрахунку кута введення ультразвукових коливань в об'єкт контролю слід звернутися до визнаних стандартів контролю та враховувати геометрію виробу і вимоги до дозволу.

Ми же будемо використовувати стандартний кут введення 60°

$$\frac{\sin\beta_1}{c_{l1}} = \frac{\sin\alpha_1}{c_{l2}} \Rightarrow \frac{\sin(60^\circ)}{5900} = \frac{\sin\beta_1}{2690} \Rightarrow \arcsin \frac{0.566 * 2690}{5900} = 24.6^\circ$$

Тепер же знайдемо кут розхилу головної пелюстки

$$\theta = \arcsin \left(\frac{1.22 * \lambda_{ok}}{2a} \right) = \arcsin \left(\frac{1.22 * 1.88 * 10^{-3}}{2 * 2 * 10^{-3}} \right) = 23.09^\circ$$

Виходячи з цього:

$$2\theta = 46.18^\circ$$

Схематично розраховані кути показано на рис. 2.2.

Нехай кут призми буде знаходитися великим, щоб сигнал з першого відрізка зміг досягти кореня зварного шва на поверхні виробу, не зазнаючи перешкод від верхівки звареного шва. Під час контролю нашого об'єкта контролю (ОК), ми маємо на меті, щоб акустичні осі перетиналися на $2/3$ висоти ОК, забезпечуючи повний охоплення всієї товщини ОК (див. рис. 2.3). Відповідно до стандартних вимог ми обрали кут, який дорівнює 60° .

Тепер визначимо габарити п'єзоелектричного перетворювача і п'єзопластини. Товщину п'єзопластини можна визначити потрібно визначити за формулою:

$$h_{\text{ПЕП}} = \frac{C_{\text{ПЕП}}}{2f}$$

де $C_{\text{ПЕП}}$ швидкість ультразвуку, f - частота випромінювання.

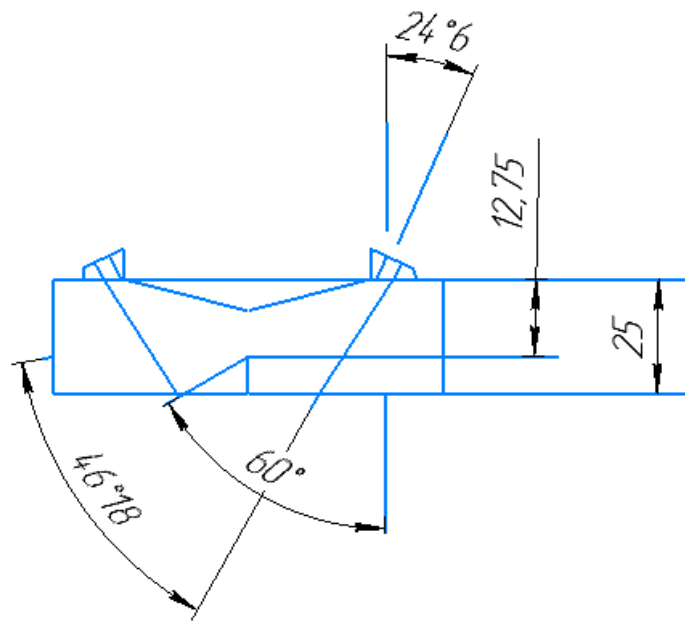


Рис 2.2. Кути заломлення

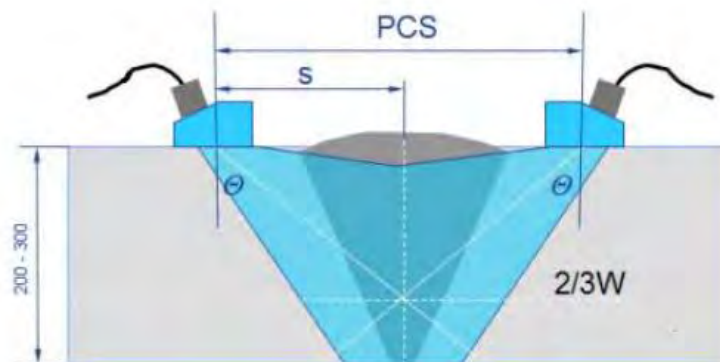


Рис. 2.3. Вибір розташування ПЕП

Тепер підставимо значення та отримаємо:

$$h_{\text{ПЕП}} = \frac{C_{\text{ПЕП}}}{2f} = \frac{3300 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 * 5 * 10^6 \text{Гц}} = 0.33 * 10^{-3} (\text{м})$$

Похилі перетворювачі та призми доступні в різноманітних формах і розмірах, включаючи круглі, квадратні та прямокутні елементи. У Північній Америці, за винятком випадків, які регулюються стандартами AWS, найчастіше використовують круглі елементи, тоді як в Європі вподобані квадратні чи прямокутні.

Стандартні розміри елементів включають діаметри круглих елементів 0,25; 0,5 та 1 дюйм, а також розміри квадратних/прямокутних елементів 8x9 мм, 14x14 мм та 20x22 мм. Наявні також інші стандартні розміри. Маленькі елементи дозволяють виявляти дрібні дефекти, а компактні призми ідеально підходять для контролю кривих поверхонь.

Великі елементи забезпечують більше охоплення поверхні, що призводить до швидшого сканування та зменшення розсіювання променя на великих відстанях. Вибір оптимального перетворювача для конкретного використання повинен бути здійснений оператором з урахуванням усіх перерахованих факторів, базуючись на власних знаннях і досвіді.

Для забезпечення широкого кута введення УЗ променя вибрали перетворювач з діаметром диску 2 мм, частотою 5 МГц та кутом введення 60°. Рекомендується використовувати C543-SM від компанії Olympus з параметрами: частота - 5 МГц та діаметр кристалу 2 мм (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Перетворювач C543-SM

2.3. Розрахунок еквівалентної схеми акустичного тракту

Для початку проведемо розрахунок ближньої зони п'єзоелектричного перетворювача :

$$r_{\text{бл}} = \frac{r^2}{\lambda},$$

де r – радіус п'єзоелектричного перетворювача він становить 2мм, λ -довжина хвилі в об'єкті контролю.

Тепер визначимо довжину хвилі λ :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{5900 \frac{m}{c}}{5 * 10^6 \text{Гц}} = 1.18 * 10^{-3} \text{м},$$

де c – швидкість ультразвуку в сталі, f – частота випромінювання.

З рівнянь вище ми отримуємо що :

$$r_{\text{бл}} = \frac{r^2}{\lambda} = \frac{9 * 10^{-6} \text{м}}{1.18 * 10^{-3} \text{м}} = 3.389 * 10^{-3} \text{м}$$

Схематично представити шлях акустичного променя у випадку похилого введення в об'єкт можна за допомогою рис. 2.5.

Тепер потрібно визначити еквівалентний шлях в оргсклі

$$h'_{\text{орг}} = h_{\text{орг}} \frac{c_{l1} * \cos\alpha_1}{c_{l2} * \cos\beta_1} = 3.3 * 10^{-3} * \frac{2690}{5900} * \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)} = 2.689 * 10^{-3} \text{ м}$$

Коефіцієнт акустичного тракту для подібного нахилу введення хвиль буде представлений наступним чином:

$$K_{\text{а.м.}} = \frac{S \frac{\cos\alpha_1}{\cos\beta_1}}{\lambda^2 (h'_{\text{орг}} + h)^2} T_{I1} T_{I2} R_p R(\theta) e^{-2(h_{\text{орг}} \alpha_{p(\text{орг})} + h_{\text{см}} \alpha_{p(\text{см})})}$$

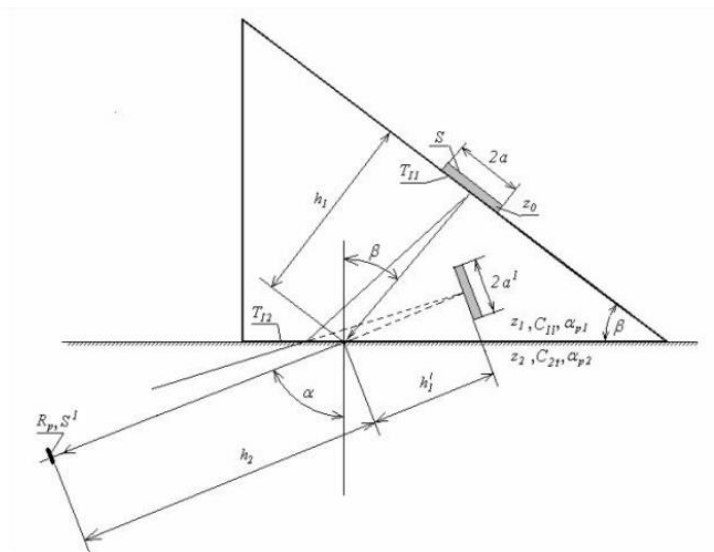


Рис.2.5. Схематичне зображення акустичного тракту у разі похилого введення хвиль

Визначимо коефіцієнт передачі за інтенсивністю:

$$T_{I1} = \frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)^2}$$

де z_1 та z_2 - це імпеданси кожного середовища для ПЕП та матеріалу призми відповідно.

$$z_1 = C_{\text{цтс}} * p_{\text{цтс}} = 3300 * 7470 = 2.458 * 10^7 \left[\frac{\text{Па} * \text{с}}{\text{м}} \right]$$

$$z_2 = C_{\text{орг}} * p_{\text{орг}} = 2690 * 1180 = 3.174 * 10^6 \left[\frac{\text{Па} * \text{с}}{\text{м}} \right]$$

$$T_{l1} = \frac{4 * 2.458 * 10^7 * 3.174 * 10^6}{(2.458 * 10^7 + 3.174 * 10^6)^2} = 0.404$$

Враховуючи графік залежності коефіцієнта проходження від кута падіння (рис. 2.6), встановлюємо значення $T_{l2} = 0.18$.

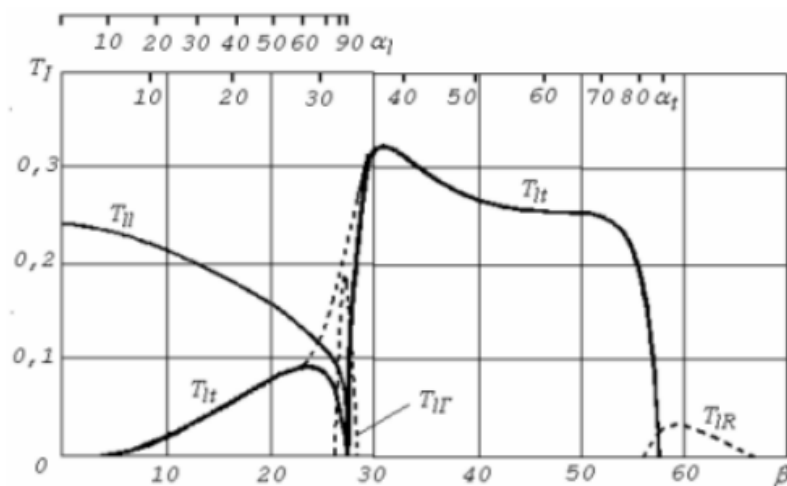


Рис. 2.6. Графік залежності коефіцієнта проходження від кута падіння

Виконаємо розрахунок еквівалентної площі ПЕП:

$$S = \frac{\pi(2a')^2}{4} = \frac{3.14 * (3.42 * 10^{-3})^2}{4} = 9.18 * 10^{-6} \text{ м}^2$$

Оскільки хвиля повністю відбивається від плоскодонної поверхні, коефіцієнт відбиття $R_p = 1$.

Коефіцієнти a_p для сталі та оргскла є табличними значеннями і мають наступні значення (для частоти 5 МГц):

$$a_{p \text{ сталі}} = 10 \frac{\text{Нп}}{\text{м}}$$

$$a_{p\text{оргскла}} = 60 \frac{\text{Нп}}{\text{м}}$$

Оскільки відбивач знаходиться в межах головної пелюстки, приймаємо, що коефіцієнт відбиття $R(\theta) = 0.5$. З використанням цих коефіцієнтів ми маємо провести розрахунок акустичного тракту до донної поверхні оргскла.

$$K_{a.t} = \frac{9.18 * 10^{-6} * \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)}}{(1.18 * 10^{-3})^2 * (2.689 * 10^{-3} + 39.96 * 10^{-3})^2} * 0.405 * 0.25 * 0.5$$

$$* e^{-2(3.3 * 10^{-3} * 60 + 39.96 * 10^{-3} * 10)} = 1.386 * 10^{-3}$$

Виконаємо обчислення коефіцієнтів акустичних трактів для ситуації дифракції ультразвукових хвиль від країв тріщини. Зазначимо, що довжина хвилі в органічному склі становить:

$$\lambda = 1.18 * 10^{-3} \text{ м}$$

Виходічи з цього робимо висновок, що мінімальний діаметр дефекту який ми маємо можливість виявити це :

$$d_{\text{деф}} = 2 * 10^{-3}$$

сигнал на краях тріщин буде дорівнювати :

$$d_{\text{тріщини}} = 0.1 * d_{\text{деф}} = 2 * 10^{-4}$$

Тепер же розрахуємо саму площу дефекта:

$$S_{\text{деф}} = \frac{\pi * (d_{\text{тріщини}})^2}{4} = \frac{3.14 * (0.1 * 2 * 10^{-3})^2}{4} = 3.14 * 10^{-6}$$

Тепер проведемо розрахунок коефіцієнта акустичного тракту для того випадку дифракції хвиль на краях тріщини

$$K_{a.m} = \frac{S_{\text{деф}} * S * \frac{\cos \alpha_1}{\cos \beta_1}}{\lambda^2 * (h + h_{cm})^2} * T_{I1} T_{I2} e^{-2(h_{\text{опр}} \alpha_{p(\text{опр})} + h_{cm} \alpha_{p(cm)})}$$

Припустимо, що дефект розташований на відстані 25 мм від перетворювача на акустичній осі. Здійснимо розрахунок акустичного тракту для низу та вершу дефекту.

$$K_{a.m} \text{ диф верх} = \frac{3.14 * 10^{-6} * 9.18 * 10^{-6} * \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)}}{(1.18 * 10^{-3})^2 * (2.689 * 10^{-3} + 25 * 10^{-3})^2} * 0.405 * 0.18 * e^{-2(3.3 * 10^{-3} * 60 + 25 * 10^{-3} * 10)} = 6.781 * 10^{-5}$$

$$K_{a.m} \text{ диф низ} = \frac{3.14 * 10^{-6} * 9.18 * 10^{-6} * \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)}}{(1.18 * 10^{-3})^2 * (2.689 * 10^{-3} + 27 * 10^{-3})^2} * 0.405 * 0.18 * e^{-2(3.3 * 10^{-3} * 60 + 27 * 10^{-3} * 10)} = 5.781 * 10^{-5}$$

Оскільки можливості акустичного тракту для підповерхневих хвиль відсутні, ми звернемося до тракту для поверхневих хвиль, що також відомі як хвилі Релея.

$$K_{A.T} \approx \pi \frac{ab}{L \lambda_R} T_{I1} T_{I2} R_p e^{-2(H_1 \delta_{p1} + L_2 \beta_{p2})}$$

λ_R - глибина тріщини

ab – ширина тріщини

$T_{I1} T_{I2}$ - значення які беруться з довідникової літератури

R_p – коефіцієнт віддзеркалення по тиску на межі ОК-дефект

δp_1 – коефіцієнт згасання звуку по тиску поздовжньої хвилі в призмі

δp_2 – коефіцієнт згасання звуку по тиску поперечної хвилі в ОК.

У попередній формулі величину L знаходять за наступною формулою:

$$L = L_2 + H_1 * \frac{C_{l1}}{C_R} \sin\beta$$

$$K_{a.T \text{ Релея}} = 3.14 * \frac{2 * 10^{-3} * 1.5 * 10^{-3}}{(1.18 * 10^{-3})^2 * 63.3 * 10^{-3}} * 0.405 * 0.18 \\ * e^{(3.3 * 10^{-3} * 50 + 50 * 10^{-3} * 10)} = 1.025 * 10^{-3}$$

2.4. Розрахунок напруги випромінювання

Однією з ключових складових у процесі створення перетворювача є напруга випромінювання, позначена як U_B . Важливо, щоб ця напруга була належного рівня, щоб не заважати чіткості контрольного сигналу, при цьому уникати перешкод від напруги шуму $U_{ш}$.

$$U_B = \frac{U_{\Pi}}{K_{AT} * K_{\Pi\Pi}}$$

де

$$U_{\Pi} = U_B * K_{AT} * K_{\Pi\Pi}$$

де U_{Π} - напруга прийнятого сигналу;

$K_{\Pi\Pi}$ - коефіцієнт подвійного перетворення, задається в межах 0.2 – 0.4

$U_{ш} = 50 - 100$ мкВ – напруга шуму.

Виходячи з даних вище, можемо обрати ЦТС-19, для якого: $K_{П.П.} = 0,3$ та $U_{Ш} = 100\text{мкВ}$.

Амплітуда прийнятого сигналу, рівна $U_{П} = 1\text{ мВ}$, є достатньою для обробки в електронних блоках і трактах дефектоскопу. Припустимо, що амплітуда прийнятого сигналу перевищує амплітуду шуму в 100 разів, тоді:

$$U_{П} = 100 * U_{Ш} = 100 * 100\text{мкВ} = 10\text{мВ}$$

Виходячи з цього мінімальна напруга випромінювання буде дорівнювати

$$U_{ВХ} = \frac{U_{П}}{K_{АТ} * K_{ПП}} = \frac{10 * 10^{-3}}{1.386 * 10^{-3} * 0.4} = 18,03752\text{ В}$$

Приймаємо напругу випромінювання $U_{В} = 10\text{В}$.

З знаходимо напругу прийнятого сигналу, при напрузі випромінювання 10В:

$$U_{П} = K_{АТ} \cdot K_{П.П.} \cdot U_{В} = 1.386 * 10^{-3} \cdot 0.4 \cdot 10 = 0.5\text{ (В)} \approx 500\text{(мВ)}$$

Важливо відзначити, що ця напруга є максимальною, оскільки вона розрахована при умові, що сигнал відбивається від найдальшої поверхні відбивача, при цьому коефіцієнт відбиття $K_{(а.т)}$ приймає мінімальне значення. Варто зауважити, що зі зменшенням відстані між відбивачем і перетворювачем амплітуда прийнятого сигналу буде збільшуватись, за незмінної амплітуди випроміненого сигналу.

2.5. Розробка та опис структурної схеми

З метою реалізації автоматизованого пристрою ультразвукового контролю зварних з'єднань розроблено структурну схему (рис. 2.7). До складу пристрою сходять наступні елементи: генератор зондуючих імпульсів

(ГЗІ); випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП1); приймаючий п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП2); підсилювач (П); фільтр низьких частот (ФНЧ); аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП); дисплей.

Система ультразвукового контролю складається з мікроконтролера, який керує процесом контролю, готує дані для відправки на комп'ютер і взаємодіє з комп'ютером. Генератор тестових імпульсів (ГЗІ) генерує високочастотний ($f = 5$ МГц) електричний сигнал, який збуджує ультразвукові коливання перетворювача ПЕП1 (2).

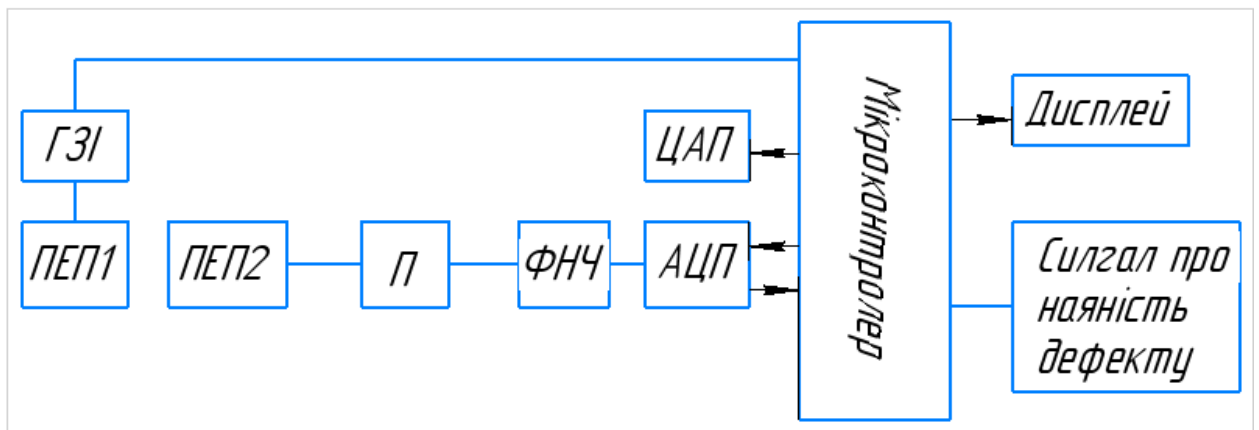


Рис. 2.7. Структурна схема автоматизованого пристрою ультразвукового контролю зварних з'єднань

Завдяки зворотному п'єзоелектричному ефекту перетворювач ПЕП2 перетворює високочастотні коливання електричної напруги в механічні коливання, які при наявності акустичного контакту вводяться в об'єкт контролю (ОК) ПЕП2 працює в режимі випромінювання, а ПЕП1 - в режимі прийому акустичних коливань.

Оскільки п'єзоелемент є частиною коливального контуру, резонансна частота контуру вибирається рівною антирезонансній частоті п'єзопластини. Опір резистора визначається добротністю контуру. Амплітуда імпульсу збудження обмежена електричною міцністю п'єзопластини, яка для СТС-19 становить приблизно 3000 В/мм.

Акустичні коливання п'єзопластини, викликані відлунням акустичних хвиль, випромінюваних від межі з чужорідним тілом (дефектом), перетворюються в електричний сигнал і подаються на підсилювач.

Шлях проходження акустичної хвилі від випромінювача до приймача, включаючи всі межі поділу і пов'язані з ними хвильові втрати, оцінюється попередньо розрахованим коефіцієнтом загасання акустичного шляху. Відношення напруги на приймальному перетворювачі після відбиття ультразвукового імпульсу від дефекту до відповідної напруги на випромінювачі під час зондування оцінюється коефіцієнтом загасання електроакустичного тракту.

Підсилювач використовується для посилення і детектування сигналу, отриманого від датчика. Потім сигнал надходить на низькочастотний фільтр. Цей фільтр пропускає низькі частоти і послаблює частоти вище частоти зрізу фільтра.

Інформативний сигнал подається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), де аналоговий сигнал перетворюється у цифровий. Усі дані, які надходять з АЦП на мікроконтролер, піддаються програмній оцінці наявності дефектів. Інформація записується і через інтерфейс виводиться на дисплей для подальшої обробки.

2.6. Розробка та опис функціональної електричної схеми

Враховуючи запропоновану структурну схему (рис. 2.7), було розроблено функціональну схему, яка приведена на рис. 2.8.

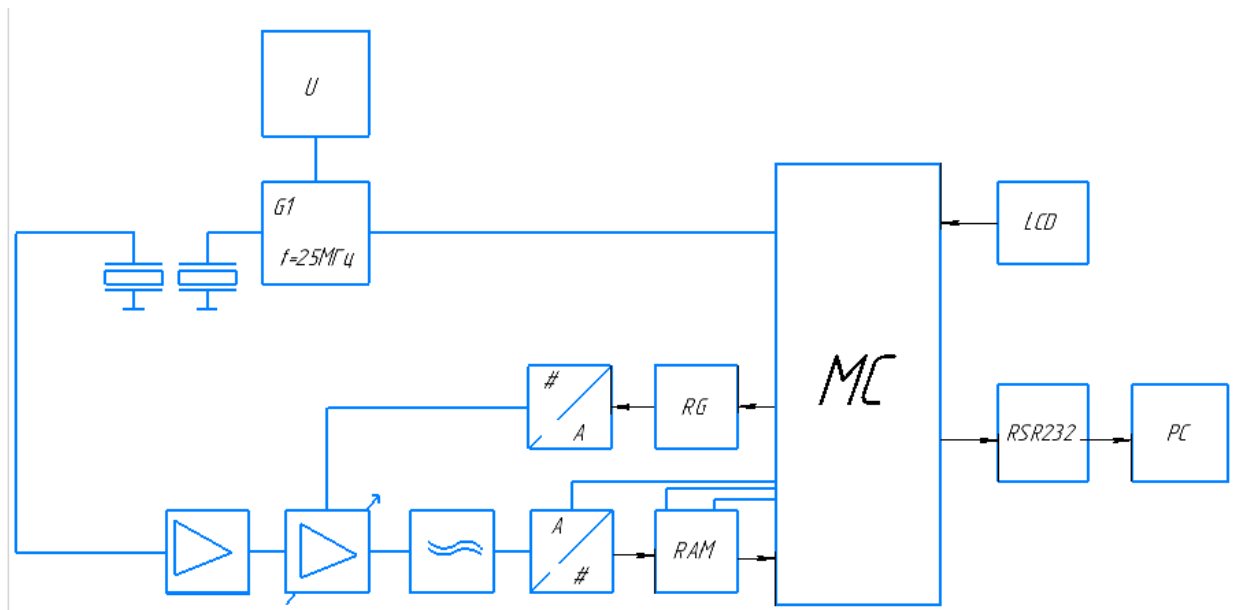


Рис. 2.8. Функціональна схема

Функціональна електрична схема системи ультразвукової дефектоскопії включає мікроконтролер ATmega32, який відповідає за управління процесом роботи системи. Початковий етап роботи включає самотестування, перевірку та налаштування робочих параметрів.

З мікроконтролера надходить сигнал на генератор зондуючих імпульсів, що формує високочастотні ($f=5$ МГц) електричні сигнали для збудження ультразвукових коливань у перетворювачі. П'єзоелектричний перетворювач, за допомогою зворотного п'єзо ефекту, перетворює високочастотні електричні коливання напруги в механічні.

Акустичні коливання п'єзопластини, спричинені відлунням випромінюваних акустичних хвиль від меж з дефектом, перетворюються в електричний сигнал і подаються на приймально-підсилювальний тракт. Цей тракт включає обмежувач амплітуди, підсилювач високої частоти та схему ЧРЧ. Підсилювач взаємодіє з приймальним перетворювачем для узгодження їх роботи.

Схема часового регулювання чутливості відповідає за генерацію регульованого сигналу для компенсації ослаблення луноімпульсів через дифракційну розбіжність променя та згасання звуку. Ця система також

дозволяє зменшити час відновлення підсилювального тракту після перевантаження зондувальним імпульсом.

Всі важливі параметри зручно відображаються на екрані. Фактичний час поширення ультразвукового імпульсу конвертується в відстань, враховуючи швидкість в об'єкті контролю та імерсійній рідині, і відображається на моніторі. Сигнал з виходу приймально-підсилювального тракту піддається аналого-цифровому перетворенню. Далі виконується цифрова обробка сигналів для підвищення точності та стійкості до завад. За допомогою комп'ютера можлива подальша обробка, перетворення та зберігання отриманої інформації.

Висновки до розділу

Даний розділ присвячено розрахунковим аспектам магістерської дисертації, а саме обґрунтуванню вибору робочої частоти, розробленню та обчисленню первинного перетворювача, розрахунку напруги для випромінювального перетворювача тощо. Для автоматизованого пристрою ультразвукового контролю була розроблена структурна схема, яка включає генератор зондуючих імпульсів, п'єзоелектричні перетворювачі, підсилювач, фільтр низьких частот, аналогово-цифровий та цифро-аналоговий перетворювачі, а також дисплей. Система контролю містить мікроконтролер, який управляє процесом контролю та взаємодіє з комп'ютером. Генератор тестових імпульсів використовується для збудження ультразвукових коливань, а акустичні сигнали від дефектів виявляються та аналізуються. Функціональна схема включає мікроконтролер, генератор зондуючих імпульсів, п'єзоелектричні перетворювачі, підсилювач та інші компоненти, що забезпечують ефективність системи ультразвукової дефектоскопії.

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Огляд конструкцій перетворювачів

П'єзопластина — це основна частина ультразвукового перетворювача. Вона виготовляється з п'єзоелектричного матеріалу, такого як титанат барію або цирконат титану. Товщина п'єзопластини зазвичай дорівнює половині довжини хвилі ультразвуку в п'єзоматеріалі на робочій частоті. На протилежних поверхнях п'єзопластини розташовуються металеві електроди. Форма електродів визначає робочі ділянки п'єзопластини. Щоб уникнути пробую по краях пластини, часто залишають неметалізовану смужку. Приєднана маса металевих електродів зміщує резонансну частоту п'єзопластини, що особливо помітно на високих частотах (20—30 МГц).

Демпфер — це елемент ультразвукового перетворювача, який служить для гасіння вільних коливань п'єзопластини. Це необхідно для одержання коротких імпульсів ультразвуку, а також для попередження механічних ушкоджень п'єзопластин, особливо тонких. Склад і форма демпфера повинні забезпечити повне загасання і відвід коливань, випромєнених п'єзопластиною у матеріал демпфера без багаторазових відображень. У деяких перетворювачах (наприклад, у більшості похилих) демпфер відсутній. Існує кілька різновидів демпферів, які використовуються в ультразвукових перетворювачах. Найпоширеніші з них:

Акустичні демпфери. Вони виготовляються з матеріалів, які мають велике акустичне загасання, наприклад, з гуми, поліуретану або еластомерних композицій.

Механіко-акустичні демпфери. Вони виготовляються з матеріалів, які мають і акустичне, і механічне загасання, наприклад, з матеріалів на основі силіконової гуми.

Електромагнітні демпфери. Вони використовують магнітне поле для гасіння коливань п'єзопластини. Вибір типу демпфера залежить від частоти ультразвуку, потужності випромінюваного сигналу і інших факторів.

На рис. 3.1 приведено схему приладу для вимірювання прискорення та вібрацій, в основу якого покладено п'єзоелектричний чутливий елемент. В момент прискорення виникає сила інерції, що рухає масу 3 відносно корпусу 1, закріпленого на досліджуваному об'єкті. П'єзопакет 4, що знаходиться між масою 3 і підставкою 5, що прикріплена до корпусу 1, піддається стиску під дією інерційної маси 3 за допомогою мембрани 2. Величина п'єзоелектричних зарядів, що в результаті йдуть через провідник 6, буде пропорційна до величини прискорення.

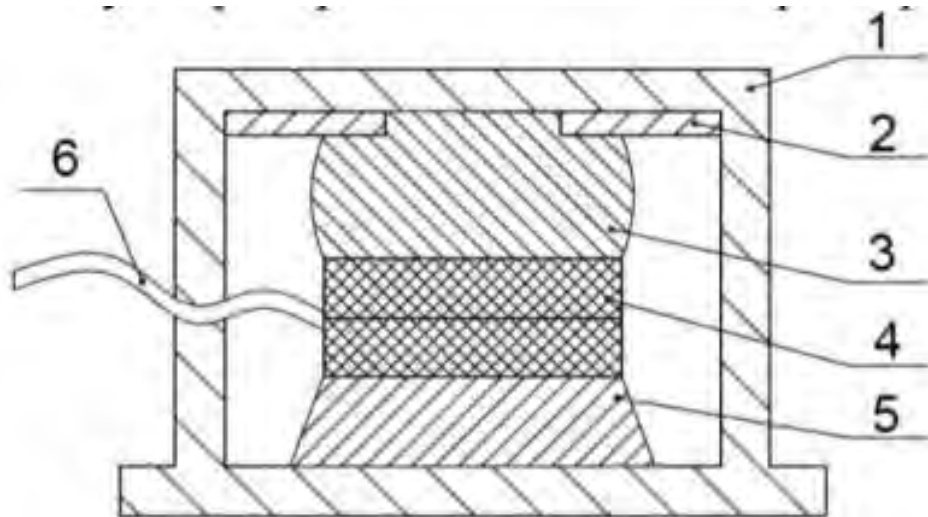


Рис. 3.1. Типова конструкція п'єзоперетворювача

Гасіння коливань п'єзопластини є важливим параметром, який впливає на ефективність роботи ультразвукового перетворювача. Чим краще гасіння коливань, тим менше енергії втрачається на вібрації п'єзопластини, і тим більше енергії передається на ультразвуковий пучок.

Гасіння коливань п'єзопластини залежить від декількох факторів, включаючи:

- Матеріал п'єзопластини. П'єзопластини з більшим акустичним опором мають більш ефективне гасіння коливань.

- Конструкція перетворювача. Присутність демпфера або інших елементів, які поглинають енергію коливань, також сприяє гасінню коливань.

- Режим роботи перетворювача. При роботі на високих частотах гасіння коливань п'єзопластини збільшується.

Для підвищення ефективності гасіння коливань п'єзопластини застосовують різні методи, включаючи:

- Використання демпфера. Демпфер - це елемент, який поглинає енергію коливань п'єзопластини. Демпфери можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи гуму, поліуретан, силікон і інші.

- Формування поверхні п'єзопластини. На поверхні п'єзопластини можуть бути нанесені ребра, канавки або інші елементи, які сприяють гасінню коливань.

- Застосування змінного резонансного частоти. При роботі на змінній частоті гасіння коливань п'єзопластини збільшується.

Протектор - це елемент, який захищає п'єзопластину від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища. Протектори можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи метали, пластмаси, скло та інші.

Призма - це елемент, який дозволяє фокусувати ультразвуковий пучок або змінювати його напрямок. Призми можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи оргскло, полістирол, полікарбонат та інші.

Корпус - це елемент, який захищає перетворювач від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища. Корпуси можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи метали, пластмаси та інші. Електричні контакти забезпечують з'єднання перетворювача з електронним блоком приладу. Електричні контакти повинні бути міцними і надійно проводити електричний струм. Кабелі з'єднують перетворювач з електронним блоком приладу. Кабелі повинні мати мінімальну ємність і забезпечувати надійне передавання сигналу. Індуктивність резонансного контуру генератора і підсилювача впливає на частоту резонансу

перетворювача. Індуктивність може бути вбудована в корпус перетворювача або підключатися до нього у вигляді змінного елемента.

3.2. Розробка конструкції перетворювача

На рис. 3.2. приведено розроблену конструкцію перетворювача з урахуванням рекомендації щодо типових конструкцій перетворювачів та сучасних інженерних рішень. Особливістю даної конструкції є використання пилообразної поверхні призми, яка здатна утворювати акустичну пастку для хвиль, які не є інформативними та можуть спотворити результат.

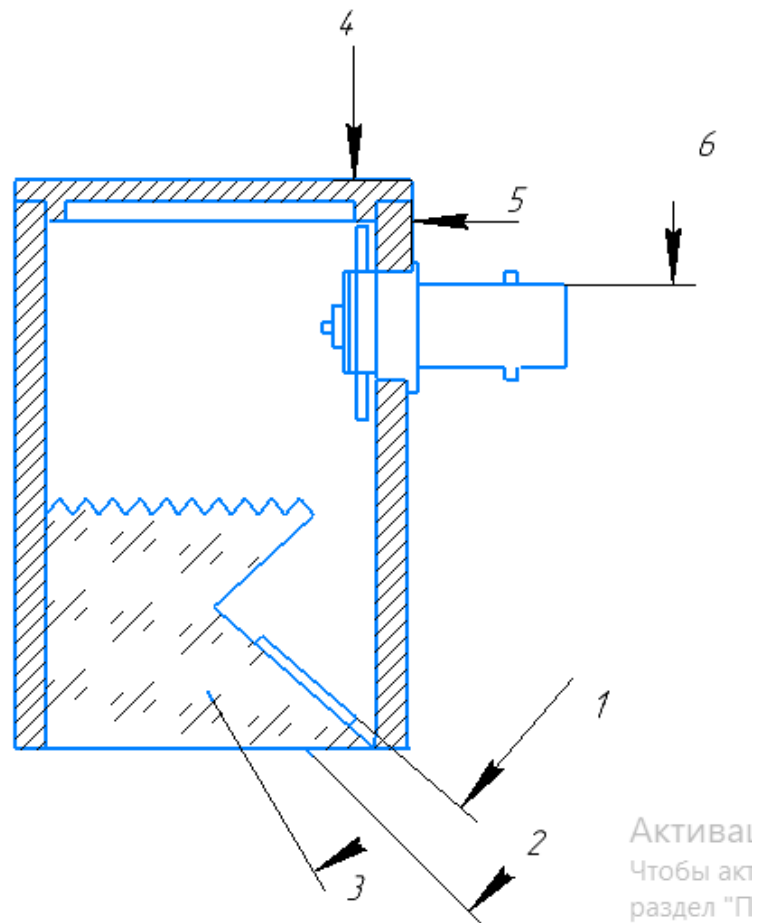


Рис. 3.2. Конструкція перетворювача: 1 - п'єзоелемент; 2 – протектор; 3 – призма; 4 – кришка; 5 – корпус; 6 - роз'єм BNC

Перед тим, як розпочати створення перетворювача, спочатку приклеюємо п'єзоелемент до призми, використовуючи клей на основі епоксидної смоли. Важливо, щоб поверхні були чистими та без жирів перед нанесенням клею. Після розподілення клею, поверхні обтискаються для видалення повітряних бульбашок, а потім утримуються під тиском протягом щонайменше доби для фіксації.

Після цього п'єзоелемент і призма поміщаються у корпус, і 2/3 об'єму корпусу заповнюються рідиною на основі епоксидної суміші з затвердівачем, так званим компаудом. Мікропроводи виводяться, і як захисне покриття використовується магнієве покриття, товщина якого не перевищує довжину хвилі.

Виводи прямо припаюються до основного двожильного проводу, який кріпиться до кришки за допомогою резинової прокладки. Кришку потім фіксують до корпусу, застосовуючи клей БФ-4. Для пайки виводів використовують низькотемпературні припої ПОС-61, тримаючи їх протягом 3–5 секунд.

3.3 Підбір вузлів пристрою сканування

Відштовхуючись від спроектованих розмірів нашого пристрою сканування (діаметр колеса 70 мм, діаметр вала 8 мм) та оптимальної швидкості руху пристрою сканування (20 м/год) був підібраний двигун моделі

Параметри двигуна:

захисні характеристики: водонепроникний;

швидкість мах - 450 об/хв мін - 5 об/хв

обертний момент: мін 1 Кг. См , мах — 60

Для передачі крутного моменту з двигуна на вал використовується зубчата конічна передача.

Генератор зондуючих імпульсів

Призначений для створення коротких імпульсів без постійної періодичності. Можна скористатися схемою для генерації цих імпульсів, яка приведена на рис. 3.3.

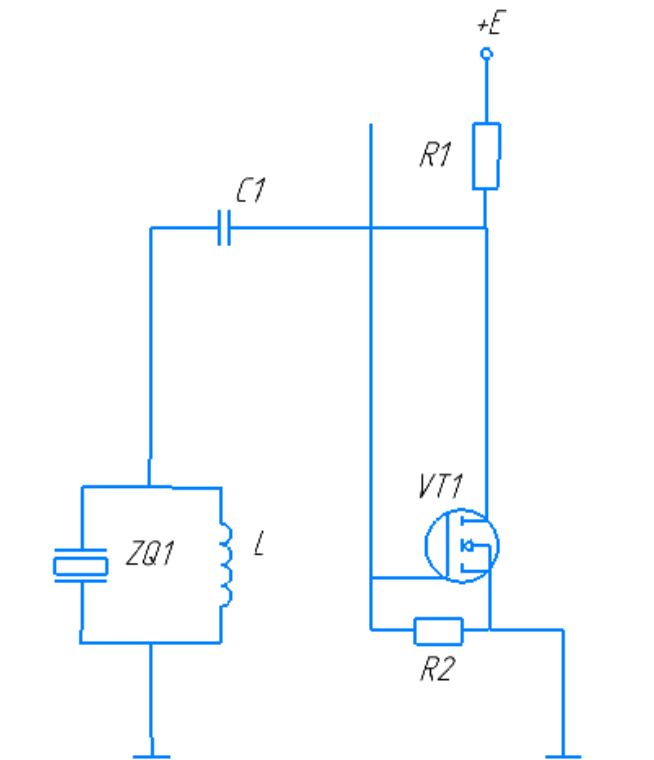


Рис. 3.3. Генератор зондуючих імпульсів

П'єзоелектричні перетворювачі мають велику ємність, що призводить до використання генераторів із вдарним збудженням контуру для ініціювання ультразвукових коливань. У цих генераторах п'єзоелектрична пластинка виступає у ролі ємності.

Висновки до розділу

У розділі оглянуто конструкції ультразвукових перетворювачів, зокрема розглянуто основні елементи, такі як п'єзопластина, демпфер, протектор, призма, корпус, індуктивність резонансного контуру та проведено аналіз їхніх функцій та впливу на характеристики перетворювача. Враховано, що вибір типу демпфера залежить від частоти ультразвуку, потужності сигналу та інших факторів.

Також в розділі описано процес розробки конструкції ультразвукового перетворювача з врахуванням рекомендацій щодо типових конструкцій та використання сучасних інженерних рішень. Висвітлено важливі етапи виготовлення перетворювача, такі як приклеювання п'єзоелемента до призми, використання демпфера та протектора для захисту від механічних пошкоджень, а також використання призми для фокусування ультразвукового пучка. Крім того, розглянуто процес підбору вузлів пристрою сканування, включаючи вибір двигуна та передачі крутного моменту. Зазначено параметри та характеристики обраного двигуна, враховуючи особливості пристрою сканування.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ»

4.1 Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту

Неруйнівний автоматичний контроль зварних з'єднань є актуальною темою для розробки стартап-проекту, оскільки він має потенціал для вирішення кількох важливих проблем.

По-перше, автоматизація ультразвукового контролю зварних з'єднань може призвести до підвищення ефективності виробничих процесів. В даний час ультразвуковий контроль виконується вручну, що вимагає значних витрат часу та людських ресурсів. Автоматизація цього процесу може дозволити значно скоротити час, необхідний для контролю якості зварних з'єднань.

По-друге, автоматизація ультразвукового контролю зварних з'єднань може призвести до підвищення точності контролю. В даний час людський фактор є однією з основних причин помилок при виконанні ультразвукового контролю. Автоматизація цього процесу може допомогти усунути людський фактор і підвищити точність контролю.

По-третє, автоматизація ультразвукового контролю зварних з'єднань може призвести до підвищення безпеки зварних робіт. В даний час ультразвуковий контроль виконується в небезпечних умовах, таких як високий рівень шуму та радіації. Автоматизація цього процесу може дозволити зменшити ризик для здоров'я та безпеки працівників.

Опис змісту стартап-проекту зазначено у таблиці 4.1. Як видно з даних таблиці вище, розробка стартап-проекту на дану тему є актуальною. Така система надає змогу виключити вплив людського фактору у дефектоскопії зварних швів. Автоматичний неруйнівний контроль зварних швів надає змогу швидко та на ранніх стадіях знаходити майже всі види дефектів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка автоматизованої системи ультразвукового контролю зварних з'єднань	Автоматизоване знаходження дефектів при автоматичному зварюванні	Автоматизація
		Зручність та швидкість контролю
		Висока точність виявлення дефектів

Розглянемо докладніше переваги автоматизованого контролю зварних швів. Зручність та швидкість контролю. Автоматизована система ультразвукового контролю зварних з'єднань може виконувати контроль без участі людини. Це дозволяє значно скоротити час, необхідний для проведення контролю, і підвищити його ефективність. Висока точність виявлення дефектів. Автоматизована система ультразвукового контролю зварних з'єднань може використовувати більш складні алгоритми обробки та аналізу ультразвукових сигналів, ніж людина. Це дозволяє підвищити точність виявлення дефектів, особливо дрібних і прихованих.

Виключення впливу людського фактора. Автоматизована система ультразвукового контролю зварних з'єднань не залежить від людського фактора. Це дозволяє підвищити надійність та безпеку контролю.

У цілому, автоматизований контроль зварних швів має ряд переваг, які роблять його перспективним напрямком для розробки стартап-проектів.

Інформаційна картка стартап-проекту наведена нижче, у таблиці 4.2.

Після цього зробимо аналіз потенційних техніко-економічних властивостей моєї ідеї, які вигідно відрізняють її від конкурентів .

- Перш за все визначимо коло конкурентів або схожих товарів які вже існують чи розроблюються на ринку, проведемо збір інформації щодо технічних та економічних показників.

- Проведемо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні

(N, нейтрльні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.3) .

Таблиця 4.2 Інформаційна карта стартап-проекту

Назва стартап-проекту	AutoInspect Welds
Проблематика, яку вирішує стартап-проект	Пошук неприпустимих дефектів зварних швів у машинобудуванні
Головні цілі та завдання проекту	Спроекувати роботичний маніпулятор, який зможе автоматично знаходити дефекти зварних швів.
Головні цільові групи, на які спрямований проект	Підприємства, що займаються створення машин , літаків, кораблів.
Необхідні ресурси	Фінансові ресурси, інтелектуальні
Загальні очікувані результати	Працююча автоматизована система контролю зварних швів

Таблиця 4.3. Порівняльний аналіз показників

Техніко-економічні характеристики-ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Перший Конкерент ООО «УкрПрибор»	Другий конкурент PCE Instruments			
Метод	Ультразвук				-	
Загальна вартість (орієнтовно)	645 тис грн	756 000 грн	2580174		+	
Програмне забезпечення	+	-	+		+	

У таблиці 4.3. здійснено визначення ключових техніко-економічних властивостей та характеристик концепції. Також вивчено передварійне поле конкуренції, визначивши наявних у ринковому середовищі учасників, і визначено міцні, нейтральні та слабкі сторони самої ідеї даного стартап-проекту. В Україні та сусідніх країнах на даний момент не існує аналогів автоматизованому пристрою знаходження дефектів у зварних швах .

Орієнтована ціна мого проєкту є нижчою від європейського продукту завдяки тому що потрібно тільки вдосконалити існуючі пристрої та написання під нього правильного програмного забезпечення . Слабкою стороною проєкту є важкість знаходження кадрів які візьмуться за цей проєкт.

Проведемо аудит технологій, за рахунок яких є змога розробити та реалізувати ідею стартап-проєкту.

Виконаємо аудит технологій, які забезпечують можливість розробки та втілення концепції стартап-проєкту.

Технологічна впровадженість ідеї проєкту включає в себе визначення технології, якою буде реалізовано та розроблено концепцію, а також наявність вже існуючої технології чи потребу у створенні та можливість доступу до неї. У таблиці 4.4 міститься аналіз даних з компонентів.

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Системи автоматизованого контролю зварних з'єднань	Замовлення компонентів	Наявна	Доступна
		Виготовлення на підприємстві	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: в якості оптимальної технології реалізації проєкту обрано замовлення необхідних перетворювачів та витратних матеріалів для системи дефектоскопії, і подальша його збірка із встановленням на ОК.				

За допомогою таблиці можна зробити висновок, що технічна реалізація проєкту можлива. Вважаю за доцільним робити замовлення компонентів в Україні , це зменшить ціну виготовлення установки.

4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для початку розглянемо ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту, а також загрози, які можуть виникнути і вплинути на його реалізацію. Такий аналіз надає можливість стратегічно спланувати напрямок розвитку, а також врахувати потреби потенційних клієнтів та конкурентів.

Перша ринкова можливість полягає в відсутності повноцінних автоматизованих систем ультразвукового контролю зварних з'єднань на ринку. Це відкриває значний потенціал для розвитку нового проекту і забезпечення його конкурентоспроможності.

Друга можливість полягає в наявності великого і зростаючого ринку для автоматизованого ультразвукового контролю зварних з'єднань. Це свідчить про великий потенціал для зростання продажів і отримання прибутку. Збільшений попит на безпеку та надійність зварних з'єднань також створює додатковий стимул для використання автоматизованих систем контролю.

Однак на шляху до успіху проекту можуть виникнути деякі загрози. Конкуренція з боку інших стартапів, які працюють у схожому напрямку, може ускладнити введення на ринок та вимагати додаткових стратегічних зусиль.

Крім того, складність і тривалість розробки та впровадження автоматизованої системи ультразвукового контролю зварних з'єднань може призвести до збільшення витрат і ризиків. Також нестабільність економічної ситуації в Україні може негативно вплинути на попит на автоматизовані системи контролю.

Загальний аналіз цих факторів дозволяє сформулювати комплексну ринкову стратегію, спрямовану на оптимальне використання можливостей і управління загрозами для досягнення успіху в бізнесі.

Перш за все проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміку розвитку ринку (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	4
	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	15 00 000
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патент на проєкт
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка системи для підтвердження працездатності в умовах реальних приміщень
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	92%

З аналізу таблиці 4.5 видно, що ринок відзначається зростаючою динамікою, особливо з урахуванням обмеженої кількості конкурентів. Це свідчить про те, що вихід на цей ринок є не лише можливим, але й доцільним, оскільки існує потенціал для успішного конкурування та розвитку.

Надалі, з огляду на вищезазначений ринковий потенціал, вважаю за доцільне провести аналіз та визначити потенційні групи клієнтів. Цей аналіз передбачає визначення характеристик кожної групи та формування орієнтованого переліку вимог до товару для кожної з цих груп, як це відображено в таблиці 4.6. Це стратегічне визначення допоможе адаптувати товар до потреб різних сегментів ринку, що, в свою чергу, сприятиме більш ефективному впровадженню та забезпеченню задоволення потреб споживачів.

Таблиця 4.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Автоматизована та швидка система пошуку дефектів	Підприємства, приватні та державні компанії	Орієнтація деяких цільових груп може потребувати більш складні та точні системи	- Низька ціна, - Висока швидкість, - Ефективність - Наявність програмного забезпечення.

Коли ми визначили цільову аудиторію та охарактеризували вимоги потенційних клієнтів, можна зробити висновок, що стартап має змогу закрити всі потреби та запити споживачів.

При застосуванні даної технології існує певна кількість загроз.(табл.4.7). Для цього потрібно провести аналіз факторів ризику та провести відповідні контрміри для того щоб була можливість уникнути ці загрози.

Таблиця 4.7. Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Технічний фактор	Загроза не встигнути знайти партнерів для розробки ПЗ та/або непрацююче ПЗ	Провести тендер на пошук відповідної компанії, скласти перелік потенційних підрядників. Скласти детальне ТЗ.
Технічний фактор 2	Збої в роботі перетворювачів/вимірів	Наявність технічної підтримки, отримання гарантії на датчики.
Технічний фактор 3	Неможливість провести достатньо тестів для перевірки/калібровки системи	Співпраця з державними компаніями для проведення тестів. Заздалегідь скласти контракт.
Кваліфікація клієнтів	Відсутність кваліфікації при роботі з новим обладнанням у споживачів	Підготувати ряд тренінгів, щоб провести працівникам їх. Забезпечити споживачів технічними матеріалами
Конкуренція	Неможливість отримання закордонних контрактів	Запропонувати знижку при обслуговуванні, постійно вдосконалювати систему.

В таблиці 4.7 було визначено можливі фактори загроз, найбільш критичні зв'язані з технічною стороною проекту. На цьому етапі важливим заздалегідь впровадити контр-міри для своєчасного завершення проекту.

Також розглянемо ряд певних, пов'язаних з проектом (таблиця 4.8).

В таблиці 4.8 були розписані фактори можливостей, а саме: ринок збуту, технічний фактор та простота використання. Вони будуть сприяти ринковому впровадженню даного проекту.

Таблиця 4.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Ринок збуту	Можливість виходу на європейський ринок	Модернізуючи систему можна запропонувати аналог європейським дефектоскопам за нижчу ціну
2.	Технічний фактор	Співпрацюючи з державними установами, є можливість модернізувати систему, отримуючи фідбек від користувача	Постійна співпраця та зв'язок з користувачами
3.	Простота використання	Розробити ПЗ для якомога легшого інтерпретування інформації	Обрати досвідчених підрядників
4.	Економічний	Із розширенням попиту, з'явиться можливість розширити виробництво (створення нових робочих місць)	Залучення інвесторів
5.	Участь в виставках	Можливість демонстрації продукту на технічних виставках	Реклама, залучення стейкхолдерів

Далі проведемо аналіз ринку для знаходження загальних рис конкуренції, наявних на ринку та можливості подальшого формування стратегії.

В таблиці 4.9 було проаналізовано та зроблений аналіз ризиків конкуренції на ринку, як бачимо фактори які-б не дозволили вийти нашому продукту на ринок, не наявні.

Після того як поверхнево проаналізували ринок конкуренції зробимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції: Олігополія	Існує декілька схожих систем	Доступна ціна, модернізоване обладнання
2. За рівнем конкурентної боротьби: Міжнародний	Представники в багатьох країнах	Вихід продукції на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	В межах декількох галузей	Зниження цін
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Пропонуються товари одного виду	Швидкість контролю, реклама
5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Вибір оптимального варіанту ціна/якість комплектуючих елементів
6. За інтенсивністю: Немарочна	Існуючі виробники володіють аудиторією і відомістю в цій галузі	Отримання держзамовлень і розширення ринку

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізи	УкрПрибор PLR	Можливість створення аналогу продукту відомими компаніями	Постачальники не мають ніякого впливу на ринок	Контроль якості	Відсутні
Висновки:	Невелика конкуренція	Постійне вдосконалення системи, зниження ціни на товар	Постачальники не мають ніякого впливу на ринок	Клієнти вимагають якісної та доступної за ціною системи	Конкуренція наявна

Після детального аналізу таблиць, які були наведені вище, можна зробити висновок, що для успішного виходу на ринок необхідно надавати точну та якісну систему контролю з власним програмним забезпеченням, при цьому маючи конкурентоспроможну цінову пропозицію в порівнянні з конкурентами.

На ринку систем контролю якості основними гравцями є УкрПрибор та PLR. Обидві компанії пропонують різноманітні продукти та послуги, включаючи обладнання, програмне забезпечення та навчання. УкрПрибор відзначається значним досвідом та репутацією, в той час як PLR, хоч і є новачком, прискорено розвивається та набирає популярності.

Зазначена можливість створення аналогів продукту від великих компаній, таких як Siemens, ABB та Emerson, становить серйозну загрозу для будь-якого гравця на ринку систем контролю якості. Ці компанії мають значні ресурси та досвід, які можуть використовувати для розробки конкурентоспроможних продуктів.

У таблиці 4.11 буде зазначено обґрунтування факторів конкурентоспроможності, засноване на аналізі конкурентної обстановки, а також характеристики ідеї проекту, вимог споживачів та факторів маркетингового середовища. Планується визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності для ефективної позиціонування проекту на ринку.

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціновий	Середня вартість
2	Якість та швидкість	Прилад надає точні результати
3	Сервісне обслуговування	Якісне обслуговування, наявність допоміжної технічної літератури
4	Наявність сертифікатів та патенту	Дозволяє продукту конкурувати з дорогими аналогами
5.	Кількість конкурентів	Конкурентів з аналогічною системою в Україні не існує

За попередньо визначеними факторами конкурентоспроможності проведемо аналіз слабких та сильних сторін проекту.

Таблиця 4.12 Обґрунтування фактору конкурентоспроможності

	Фактор		Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні
--	--------	--	--

п/п	конкурентоспроможності	Бали 1-20	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	20							+
2	Точність	17						+	
3	Швидка система	20							+
4	Наявність патентів	12	+						
5	Сервісне обслуговування	15					+		

SWOT-аналіз, який складається з матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (таблиця 4.13), є ключовим етапом для остаточної оцінки перспектив впровадження автоматичної системи контролю. З цього аналізу випливають стратегічні напрямки, які можна використовувати для максимізації переваг та зменшення ризиків.

З таблиці 4.13 виходить, що основні сильні сторони проекту - висока якість продукту, швидкість аналізу системи та конкурентноспроможна ціна. Ці чинники надають проекту конкурентну перевагу на ринку.

Серед слабких сторін можна виділити складність і тривалість розробки та впровадження системи, а також загрозу конкуренції від великих гравців на ринку.

З урахуванням можливостей ринку, таких як відсутність повноцінних автоматизованих систем ультразвукового контролю та зростаючий попит на безпеку та надійність зварних з'єднань, проект може знайти підтримку та успішно впроваджуватися на ринку.

З іншого боку, загроза конкуренції від великих компаній та складність розробки можуть бути визначені як потенційні загрози. SWOT-аналіз служить важливим інструментом для розробки стратегії, яка дозволяє врахувати внутрішні та зовнішні фактори, щоб досягти успіху на ринку.

Стратегічний SWOT-аналіз є одним із найважливіших інструментів для оцінки конкурентоспроможності стартап-проекту. Він дозволяє чітко визначити сильні та слабкі сторони проекту, а також можливості та загрози, які існують на ринку. На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи

ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 4.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вартість 2. Мала кількість конкурентів 3. Автоматизація 4. Сервісне обслуговування 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Не розроблене ПЗ 2. Залежність ціни від комплектуючих системи
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Постійне вдосконалення 2. Простота використання 3. Вихід на міжнародний ринок 4. Можливість держзакупок 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Недостатня кваліфікація клієнта 2. Збої в роботі перетворювачів та нейромережі 3. Не працююче ПЗ 4. Конкуренція

Визначимо альтернативи ринкової поведінки та проаналізуємо їх на предмет ймовірності отримання ресурсів та строків реалізації (таблиця 4.14).

Таблиця 4.14. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	3-5 місяці
2	Отримання держзамовлень	Висока	4місяців
3	Пошук інвестицій	Висока	8 місяців

Після огляду можливостей ринкового впровадження стартапу можна зробити певні висновки а саме що основною альтернативою є нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу. А саме низька вартість продукту та наявність автоматизованого контролю з використанням нейронної мережі.

Наступним кроком буде опрацювання питань для удосконалення продукту (табл. 4.15)

4.3. Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проекту

Першочерговим кроком у розробці ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку. Це визначає напрямок, в якому компанія буде позиціонуватися на ринку та як буде взаємодіяти зі своїми потенційними споживачами. Два основних типи стратегій охоплення ринку - концентрована та диференційована - надають компаніям різні шляхи досягнення успіху.

Концентрована стратегія: Компанія, що обирає концентровану стратегію, фокусується на певному сегменті ринку. Вона намагається стати лідером у цьому сегменті, пропонуючи продукти та послуги, які відповідають особливим потребам цільової аудиторії. Доцільність цього вибору може бути обумовлена унікальними характеристиками цільової групи, які можуть визначати конкурентну перевагу.

Диференційована стратегія: Диференційована стратегія передбачає створення продуктів та послуг, які відрізняються від конкурентів. Компанія намагається завоювати клієнтів, пропонуючи їм щось унікальне, що важливо для цільової аудиторії. Диференціація може бути здійснена за допомогою інновацій, якості, дизайну чи інших унікальних аспектів продукту.

Для розробки ефективної ринкової стратегії, необхідно провести детальний опис цільових груп та потенційних споживачів. Це включає в себе аналіз їхніх потреб, побажань, характеристик та поведінки, що дозволяє визначити, яким чином продукт може найкраще задовольняти їхні очікування.

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Висока	80%	10%	Середня
2	Приватні підприємства	Середня	50%	80%	Середня
Які цільові групи обрано: Виконавчі директора та головні інженери в державних та приватних підприємствах					

Розуміючи важливість аналізу цільових груп користувачів, який було проведено (табл. 4.15), стає очевидним, що державні та приватні підприємства, що займаються зварювальними роботами, є ключовими сегментами для нашої системи автоматизованого контролю якості зварних швів.

Таблиця 4.15 може підтвердити важливість цих сегментів на ринку, можливо, з огляду на їхній обсяг робіт, частоту потреби у контролі якості, або інші фактори, які вказують на високий попит на наші послуги та продукти серед цих підприємств.

З урахуванням цього, наступним кроком буде розробка базової стратегії розвитку, яка буде описана в таблиці 4.16. Ця стратегія визначить ключові напрямки діяльності, підходи до взаємодії з цільовими підприємствами, а також плани щодо маркетингу, продажів та підтримки клієнтів в цьому сегменті ринку.

Важливо підкреслити, що формування такої стратегії є критичним етапом для ефективного входу та успішної діяльності на ринку. Це дозволить нашій компанії не лише задовольняти потреби цільових клієнтів, а й стати лідером у цьому специфічному сегменті зварювальної індустрії.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Модернізація	Диференційний маркетинг	Функціонал, точність, потенціал	Стратегія диференціації

За основну стратегію було обрано стратегію диференціації.

Наступне що потрібно зробити це вибрати стратегію конкурентної поведінки (табл 4.17).

Таблиця 4.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	На українському – так; на європейському – ні	Компанія буде шукати нових та пропонувати співпрацю споживачам конкурентів	Компанія буде співпрацювати з європейськими конкурентами для обміну досвідом та копіювання кращих практик	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці яка приведена вище було показано базову стратегію конкурентної поведінки, така стратегія передбачає монополію на рідному ринку та співпрацю з європейськими компаніями.

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

Для того, щоб розробити ефективну стратегію позиціонування, ми повинні зрозуміти, які потреби і вимоги мають споживачі з обраного сегменту до продукту. Це можна зробити за допомогою дослідження ринку.

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Ціна, надійність, швидкість, якість обслуговування	Стратегія диференціації	Ціна, точність, автоматизація, унікальність	Якість. Ціна. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є вибір цільових груп, визначення стратегії розвитку, визначення базової стратегії конкурентної поведінки, а також визначення стратегії позиціонування. Під час етапу розробки маркетингової кампанії, першоважним завданням розробка концепції товару, спрямованої на залучення споживача. У таблиці 3.19 ми систематизуємо та узагальнимо результати проведеного аналізу конкурентоспроможності даного товару на ринковому сегменті. Цей крок є важливим для подальшого формування стратегії маркетингу, враховуючи конкурентні переваги та унікальні характеристики продукту. Аналіз конкурентної ситуації дозволить визначити ключові аспекти, які визначатимуть успіх товару на ринку та його відмінність від інших пропозицій

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Автоматизація контролю	Автоматизована система, що зводить до мінімуму людський фактор	Унікальність на вітчизняному ринку. Вдосконалення ПЗ для повної автоматизації всього процесу контролю зварних швів
2	Якісне обслуговування	Швидке і якісне обслуговування	Постійне і якісне обслуговування, надання додаткової літератури
3	Низька ціна	Порівняно невисока вартість	Використання вітчизняних елементів системи, що є дешевшим від європейських

Після завершення аналізу були виявлені та чітко сформульовані основні переваги, якими володіє потенційний продукт у порівнянні з аналогами, що пропонуються конкурентами на ринку. Додатково розроблено стратегію ідентифікації та вирішення ключових аспектів, які можуть впливати на конкурентоспроможність продукту. Важливим етапом є концептуальне визначення кроків, які необхідно вжити для подальшого удосконалення та підвищення конкурентоспроможності, що включає в себе план покращення програмного забезпечення з метою досягнення повної автоматизації. Окрім того, розглянуто можливості систематичного оновлення програмних продуктів для забезпечення актуальності та відповідності сучасним вимогам та стандартам.

Паралельно з цим, визначено стратегічні напрями щодо розробки додаткової технічної літератури, спрямованої на ефективне використання та експлуатацію системи автоматичного контролю зварних швів. Ця ініціатива покликана покращити користувацький досвід, забезпечити операторів необхідною інформацією та ресурсами для оптимального використання продукту, що, в свою чергу, позитивно впливає на загальну конкурентоспроможність.

Знизу буде приведена таблиця трирівневої маркетингової моделі товару: уточнюється ідея продукту та послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл 4.20).

Ми впровадили трирівневу модель з метою забезпечення максимального відповідності характеристик товару вимогам та потребам споживачів. Наш підхід включає докладний опис сутності товару, чітке визначення його ключових характеристик та параметрів, а також узгоджений підхід до його пакування та захисту від недозволеного копіювання і плагіату, оформленого патентом.

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Системи автоматизованого контролю зварних швів		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Автоматизація контролю	М	Вр
	2. Точність	М	Вр
	3. Швидкість контролю	М	Вр
	4. Наявність обслуговування	Нм	Ор
5. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх	
Якість: тестування в реальних умовах			
Пакування: Пінопласт коробка			
Марка: назва організації розробника			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Демонстрація можливостей системи		
	Після продажу: після продажна підтримка та обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патент, свідоцтво на авторське право.			

У процесі формування стратегії ціноутворення для потенційного товару, ми акцентуємо увагу на визначенні цільових меж, які слід враховувати під час встановлення цін. Це включає в себе аналіз ринкових цін на аналогічні товари конкурентів, а також урахування доходів та можливостей споживачів продукту. З метою більш детального аналізу, ми використовуємо таблицю 4.21, що дозволяє систематизувати та порівнювати дані щодо цін на ринку та економічного становища цільової аудиторії. Цей підхід надає нам можливість розробляти стратегії ціноутворення, спрямовані на досягнення конкурентних переваг та максимізацію задоволення потреб споживачів.

Таблиця 4.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	≈600000	≈600000	200000-1000000	400000-750000

В таблиці вище приведено аналіз ринкової ціни на товари аналоги та замітники , а також приблизний рівень доходів споживачів. Також було обрано середню цінову категорію, оскільки занадто висока ціна може не сподобатись клієнтам. Ми застосували трирівневу модель для забезпечення найбільшої відповідності споживчих властивостей товару потребам і потребам людей.

На першому рівні моделі ми визначили потреби і потреби людей, які можна задовольнити за допомогою нашого товару. Для цього ми провели пошук в інтернеті потенційних споживачів, в якому з'ясували їхні основні потреби та очікування від товару.

На основі результатів ми визначили, що наш товар повинен відповідати наступним потребам і потребам людей:

- Задовольняти базові потреби в комфорті та безпеки.
- Забезпечувати високу продуктивність праці.
- Зменшувати витрати на виробництво.

Технічні характеристики товару повинні забезпечувати його високу якість та функціональність. Дизайн товару повинен бути сучасним та привабливим. Упаковка товару повинна бути зручною для зберігання та транспортування.

Система збуту нашого проекту має наступний вигляд (табл. 4.22).

Таблиця 4.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	По одиночні замовлення Держзамовлення	Прямий продаж, оформлення та відправлення замовлення. Установка та налаштування системи	Висока	Оптовий продаж продукції

В таблиці 4.22 було розглянуто варіант комунікації між виробниками та споживачами. В нашому випадку ця робота проходить напряду через прямий продаж.

Тепер час розробити концепцію маркетингової комунікації, яка буде опиратися на основу яка була обрана для позиціонування, обрану специфікацію поведінки користувачів (табл. 4.23).

Таблиця 4.23. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Проведення тендерів, пошук через спеціальні ресурси, технічні виставки	Публікації, Прямий зв'язок з виробником, Виставки	Автоматизація Ціна Швидкість	Акцентувати увагу на новизні і ціні	Ціна-якість, простота, автоматизація

У результаті вказаного вище підпункту виникає ринкова програма, що охоплює такі аспекти, як концепція збуту, аналіз та просування. Усе це визначається врахуванням цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваг ідеї, стану ринку, на якому базується проект на даний момент, його динаміки та відповідної альтернативи поведінки на ринку.

Враховуючи ці фактори, формується комплексна ринкова стратегія, спрямована на оптимальне використання можливостей та досягнення успіху в бізнесі.

4.4. Планування реалізації стартап-проєкту

Для отримання завдання та формування команди для стартапу, спочатку потрібно прояснити деякі питання (табл. 4.24).

Таблиця 4.24. Питання, що потребують відповідей до початку формування команди стартапу

Питання	Пояснення
В які терміни команда повинна бути сформована?	Команду потрібно сформувати за два місяця
Хто ключові фігурри в створюваній початковій команді (тобто такі люди, без яких первинна робота неможлива або неефективна)?	Інженер-технолог, інженер-конструктор, ПЗ – розробник, тестувальник
Чи існує можливість використовувати для пошуку персоналу сторонні джерела?	Так, можна звертатись в кадрове агентство або до рекрутера-фрілансера
Яка має бути роль у кожного члена команди?	Інженери відповідають за розробку та налаштування приладу, вносячи необхідні корективи при потребі, і приймають участь у великосерійному виробництві пристрою. Це включає взаємодію з постачальниками матеріалів для компанії. Тестувальники проводять перевірку виготовлених приладів, виконують сертифікацію та надають інформацію про необхідність вдосконалення.
Як чином потрібно мотивувати членів команди?	Можливість отримувати регулярну щомісячну оплату і бонуси за успішне виконання завдань, а також можливість набуття досвіду у проектуванні та розробці власного продукту.

В таблиці вище розглянуті питання та відповіді на які потрібно надати відповідь до початку старту команди. В наступній табл. 4.25 буде представлена мінімальна команда стартап проєкту.

Таблиця надає уявлення про повну команду розробників системи, що являється мінімально життєздатною командою, така команда без малого може повністю представляти інтереси стартап-проєкту.

Тепер складемо календарний план-графік підготовки стартапу (табл. 4.26).

Таблиця 4.25. Команда стартап проекту

Розвиток команди	Учасники	Завдання учасників	Освіта	Досвід роботи	Спеціалізовані знання	Витрати, тис.грн.
Мінімальна команда	Явдошук Даниїл Петрович	Керівник розробки	Бакалавр	Інженер, ІТ-спеціаліст	Наявні часткові знання в розробці дефектоскопів, мінімальні знання електроніки, та знання в теорії програмування та тестування приладів	20000
Разом:	30000					

Таблиця 4.26. Календарний план-графік підготовки стартапу

Стадія стартапу	Період запуску (за місяцями з початку підготовки проекту)					Вартість стадії, грн
	1	2	3	4	5	
Передпосівна (Розробка ідеї)	01.01.24 01.02.24					0
Посівна (Дослідження ринку, опитування потенційних покупців)		01.02.24 01.03.24				0
Прототипування			01.03.24 15.06.24			20000
Закрита бета-версія (Створити готовий, життєздатний продукт)				20.06.24 01.09.24		80000
Ведення бізнесу					01.09.24	20000
Разом						120000

Як видно за таблиці на реалізацію проекту знадобиться 9 місяців та 120000 тис.грн. Як видно за таблиці найдорожчим етапом є закрите бета_версія а саме через дороговизну компонентів та створення програмного забезпечення.

Зараз розглянемо потреби в промислово-виробничому персоналі та витрати на них (табл. 4.27).

Таблиця 4.27. Потреби в промислово-виробничому персоналі .

№	Посада/виконувані завдання	Чисельність	Витрати на персонал, тис. грн.
1.	Керівник	1	20000
2.	Бухгалтер	1	10000
3.	Інженер	1	15000
4.	Тестувальник	1	15000
5.	Програміст	1	15000
6.	Маркетолог	1	10000
7.	Робітники на виробництво	2	10000
8.	Разом:	8	105 000

На початку створення проекту послуги бухгалтера , програміста , маркетолога не потрібні. Коли почнеться масштабування виробництва, за необхідністю буде найматися більша кількість людей.

Зараз визначимо першочергові витрати які нам необхідні для старту проекту (табл. 4.28).

Таблиця 4.28. План витрат на запуск виробництва продукції

№	Найменування	Характеристика	Вартість, тис. грн.
1.	Оренда приміщення		180 000 / 9 міс
2.	Закупівля обладнання та устаткування	Витрати на придбання обладнання	50000
3.	Основні комплектуючі товару	Вартість сировини та матеріалів для забезпечення технологічного процесу	80 000/н а один виріб
4.	Оплата праці персоналу	Витрати на заробітну плату	105000
5.	Освоєння та запуск виробництва	Витрати на пускові роботи, запуск виробництва	20000
	Разом		435000

Проаналізувавши таблицю, бачимо, що для плану витрат і запуску

виробництва необхідно 435000 грн.

В наступній таблиці визначимо загальний обсяг інвестицій (табл. 4.29).

Таблиця 4.29. Обсяги інвестицій

№	Вид інвестицій	Сума, грн
1.	Першо-початкові інвестиції	600000
2.	Інвестиції на стадії виробництва	50000
3.	Інвестиції на просування стартапу	40000
Разом:		690000

Вище було визначено загальні обсяги інвестицій які необхідні для початку запуску стартапу , в таблицю входять ціни на сировину , матеріали , комплектуючі та заробітня плата працівникам, просування та першо-чергові інвестиції.

4.5. Висновки до розділу

Глибокий аналіз стартап-проекту "Автоматизація процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань" виявляє можливості його успіху на ринку. Після технологічного аудиту та аналізу ринкових можливостей стає зрозумілим, що ринок розвивається позитивно, а технічні перешкоди відсутні. В українському сегменті ринку відсутні аналоги ідеї автоматизації ультразвукового контролю зварювальних з'єднань. За допомогою автоматизації та програмного забезпечення продукт може здобути успіх як в Україні, так і за кордоном. Постійне вдосконалення та модернізація продукту забезпечуються через співпрацю та зворотний зв'язок від користувачів.

Початкова реалізація проекту планується здійснювати у співпраці з українськими державними підприємствами, а майбутні плани передбачають вивід продукту на міжнародний ринок. Звісно, існують потенційні загрози, проте для їх уникнення розроблено відповідний план. Вчасне застосування контрмір зменшить ризики виникнення непередбачуваних ситуацій. Розроблено також варіанти комунікації між споживачами та виробниками.

Проект передбачає захист приладу та програмного забезпечення за допомогою патенту. Після успішного введення продукту на український ринок передбачається співпраця з міжнародними компаніями.

ВИСНОВОК

У магістерській дисертації детально розглянуті практичні аспекти ультразвукового контролю зварних з'єднань, а також методи підвищення ефективності та точності цього методу. Визначено, що дослідження повинно охоплювати розгляд впливу умов експлуатації, геометричної форми з'єднань і корозії на результати ультразвукового контролю. Здійснено літературний аналіз, а його результати покладено в основу розробленого автоматизованого пристрою, який враховує сучасні інженерні рішення та методи автоматизованого ультразвукового контролю. Особливу увагу прилідено впливу частоти ультразвукових хвиль на основні блоки пристрої та його параметри.

У розділі, присвяченому розрахункам параметрів пристрою, спроектовано структурну та функціональні схеми. У контексті стартап-проекту "Автоматизація процесів ультразвукового контролю зварних з'єднань" визначено його перспективи, зокрема, невелику присутність аналогів на ринку та перспективи виведення продукту на міжнародний ринок. Розроблено плани для початкової реалізації спільно з українськими підприємствами та подальшої експансії за кордон.

Загалом магістерська дисертація підкреслює важливу роль ультразвукового контролю для задач діагностики зварних з'єднань та вказує на перспективи його застосування в подальші роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Обладнання і технологія зварювальних робіт [Електронний ресурс] // Обладнання і технологія зварювальних робіт. – Режим доступу: <https://tvpursit1muzyka.blogspot.com/2020/03/13.html> – Назва зі сторінки Інтернету.

2. Удод, В. О. Дослідження можливостей автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій / В. О. Удод, О. В. Лашко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 410–413.

3. Стешенко, Я. В. Використання високомобільних роботів в задачах неруйнівного контролю / Я. В. Стешенко // XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 243-246.

4. Нероз'ємні з'єднання [Електронний ресурс] // Технічна механіка. – Режим доступу: https://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Page/Metodrobota/EP%20Техмеханіка%20НМЦ/Dokument/Lekzia/3%20розділ/3.14.htm#:~:text=Зварні%20з%27єднання%20є%20найдосконалішими,машинобудуванні%20використовують%20різні%20способи%20зварювання. – Назва зі сторінки Інтернету.

5. Галаган, Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології» / Р. М. Галаган, Г. А. Богдан ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,15 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 145 с.

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

7. Гурвич А. К., Єрмолов И. Н. Ультразвукова дефектоскопія зварних швів — Київ: Техніка, 1972, 460 с

8. Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.

9. Stubbs T. The role of NDE in the life management of Steam Turbine Rotor. - Swindon (England): RWE Innogy, 2004.

10. 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.

11. Ulbrich D, Psuj G, Wypych A, Bartkowski D, Bartkowska A, Stachowiak A, Kowalczyk J. Inspection of Spot Welded Joints with the Use of the Ultrasonic Surface Wave. *Materials*. 2023; 16(21):7029.

12. Common types of welding for manufacturers [Електронний ресурс] // Katana. – Режим доступу: <https://katanamrp.com/blog/types-of-welding/> – Назва зі сторінки Інтернету.

13. Пат. 86818 України, МПК H01L 41/18, G01N 29/24. П'єзоелектричний перетворювач / Найденко А.Г., Девін Л.М., Німченко Т.В.. – опублік. 25.05.2009, Бюл. № 10. – 4 с.

14. Безвесільна, О. М. Перетворювачі фізичних величин. Технічні засоби автоматизації / Підручник з грифом ЖДТУ. НПО «Пріорітети»: К. 2019 – 809 с.

15. Куц, Ю. В. Новітні системи та технології. Частина I. Загальні питання побудови та опрацювання даних в комп'ютерно-інтегрованих системах НКТД

[Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с

16. Баженов В. Г. Електроніка. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.

17. Малько В. П. Метод ультразвукової фазової двокоординатної реєстрації інформації для систем автоматизованого неруйнівного контролю / Малько В. П., Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю., Щербак Л. М. // Вісник КПІ. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ, Вип. 65(1), 2023. С. 89 – 96

18. 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.

19. Lysenko, I. Automated Eddy Current System for Aircraft Structure Inspection / I. Lysenko, Y. Kuts, V. Petryk, V. Malko, A. Melnyk // Transactions on Aerospace Research. - Institute of Aviation : Poland, 2023. - Volume 4/2023 (273). - P. 33-40.

20. Uchanin, V., Lysenko, I., Kuts, Y., Mirchev, Y., Alexiev, A. (2023). Problems of Using Eddy Current Arrays NDT. In: Pawelczyk, M., Bismor, D., Ogonowski, S., Kasprzyk, J. (eds) Advanced, Contemporary Control. PCC 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 708.

21. 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.

22. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами [Електронний ресурс] : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря

Сікорського ; уклад.: Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко. – Електронні текстові данні (1 файл 2,52 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. – 115 с.

23. Стислий україно-англійський тлумачний словник термінів з вихрострумового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] : додатковий матеріал / Ю. В. Куц, В. М. Учанін, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 942 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 63 с.

24. Галаган Р.М., Андреев С.М., Петрик В.Ф., Баженов В.Г., Лисенко Ю.Ю. Виявлення дефектів бетонних конструкцій на основі аналізу зображень за допомогою згорткових нейронних мереж. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023. Том 34 (73), № 2. с. 138-144.

25. Lysenko, I. Advantages of Using Eddy Current Array for Detection and Evaluation of Defects in Aviation Components / Lysenko I., Mirchev Y., Levchenko O., Kuts Y., Uchanin V. // International Journal “NDT Days”. – BSNDT: Bulgaria, 2023. – Volume 6, Issue 2. – P. 84-88.

26. Using the Red Pitaya platform in automated eddy current testing / Levchenko O., Aleksiev A., Kuts Y., Lysenko I. // International Journal “NDT Days”. - BSNDT: Bulgaria, 2023. - Volume 6, Issue 4. - P. 194-201

27. Eddy Current Array Testing of Steel Tube Profiles / Y. Mirchev, I. Lysenko, Ts. Borisov, V. Kovtun, P. Chukachev // International Journal “NDT Days”. - BSNDT: Bulgaria, 2023. - Volume 6, Issue 3. - P. 137-147.

ДОДАТКИ

надаються за запитом до авторів