

**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: «Автоматизована вихрострумова система контролю поршневих пальців в процесі відновлювального ремонту»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ПК-21мп  
Шкіндер Іван Сергійович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

Професор кафедри АСНК, доктор технічних наук, професор  
Куц Юрій Васильович \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап-проекту:

Завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., професор  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент каф. ІВТ, кандидат технічних наук, доцент  
Мокійчук Валентин Михайлович \_\_\_\_\_

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

Київ – 2024 року

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

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 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**  
**Шкіндеру Івану Сергійовичу**

1. Тема дисертації «Автоматизована вихрострумова система контролю поршневих пальців в процесі відновлювального ремонту», науковий керівник дисертації Куц Юрій Васильович, професор кафедри АСНК, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «08» листопада 2023р. № 5188-с.
2. Термін подання студентом дисертації 25 грудня
3. Об'єктом дослідження є процес автоматизованого контролю поршневих пальців в процесі відновлюваного ремонту.
4. Метою дослідження є розроблення проекту автоматизованої вихрострумової системи контролю поршневих пальців в процесі відновлювального ремонту.
5. Предметом дослідження є автоматизована вихрострумова система контролю поршневих пальців у відновлювальному процесі.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація (12 слайдів)

## 7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проєкту	Завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., професор Бояринова Катерина Олександрівна		

8. Дата видачі завдання 1 вересня 2023 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Формування завдання магістерської дисертації	01.03.2023	Виконано
2.	Аналітичний огляд теоретичного матеріалу	01.04.2023	Виконано
3.	Розрахунок ВСП накладного типу в режимі визначення поверхневих тріщин	01.05.2023	Виконано
4.	Розрахунок ВСП накладного типу в режимі визначення зазору між перетворювачем і поверхнею ОК	01.06.2023	Виконано
5.	Розроблення автоматизованої системи ВСК поршневих пальців у відновлювальному ремонті	01.07.2023	Виконано
6.	Створення та опис структурної схеми	01.08.2023	Виконано
7.	Розрахунок механічної частини системи	01.09.2023	Виконано
8.	Вибір елементної бази для складання електрично-принципальної схеми системи ВСК	01.10.2023	Виконано
9.	Розроблення методика калібрування системи	01.11.2023	Виконано
10.	Розроблення стартап-проєкту	01.01.2024	Виконано

Студент

Іван ШКІНДЕР

Науковий керівник

Юрій КУЦ

## РЕФЕРАТ

### **Актуальність теми:**

У контексті сучасних технічних вимог та високої конкурентоспроможності промислових підприємств, неруйнівний контроль відіграє важливу роль у забезпеченні якості та надійності виробів. Особливо це стосується відновлювальних робіт, де керування дефектами та відповідність вимогам є вирішальними факторами. Одним із ключових аспектів у відновлювальному ремонті є контроль поршневих пальців, які працюють в умовах великого навантаження та високих температур .

Автоматизовані системи неруйнівного контролю, зокрема вихрострумові, виявляються найбільш перспективними у відновлювальних процесах. Вони дозволяють точно та надійно виявляти навіть найменші дефекти поршневих пальців, забезпечуючи високу швидкість та точність вимірювань. Автоматизація цього процесу дозволить значно збільшити продуктивність та якість відновлювальних робіт, знижуючи ймовірність виникнення аварійних ситуацій та підвищуючи довговічність виробів.

Ця технологія має ключове значення у підтриманні стабільності виробництва та конкурентоспроможності підприємств у сучасних умовах глобального ринку.

### **Мета дослідження:**

Мета дослідження полягає у розробці проєкту автоматизованої вихрострумової системи для контролю поршневих пальців під час відновлювального ремонту.

Об'єкт дослідження включає в себе процес автоматизованого контролю поршневих пальців під час відновлюваного ремонту.

Предмет дослідження - це автоматизована вихрострумова система контролю поршневих пальців, використовувана в процесі відновлювального ремонту.

Методи дослідження включають в себе теоретичні основи вихрострумових методів контролю, принципи електроніки та мікропроцесорної техніки, інформаційно-вимірювальні технології та методи проведення комп'ютерно-моделюючих експериментів.

**Практичне значення отриманих результатів:**

1. Проєкт вихрострумової системи контролю поршневих пальців розроблено з урахуванням їх відновлювального ремонту.
2. Розроблене програмне забезпечення в середовищі MatLab, яке дає змогу виконувати опрацювання інформаційних сигналів вихрострумових перетворювачів і визначати їх інформаційні характеристики – обвідну і фазу, в автоматичному режимі. Програмне забезпечення може бути використане в інших ВСК як окремих програмний модуль

**ABSTRACT**

**Relevance of the topic:**

In the context of modern technical requirements and the high competitiveness of industrial enterprises, non-destructive testing plays an important role in ensuring the quality and reliability of products. This is especially true in remanufacturing, where defect management and compliance are crucial factors. One of the key aspects of remanufacturing is the inspection of piston pins, which operate under high stress and high temperatures.

Automated non-destructive testing systems, in particular eddy current systems, are proving to be the most promising in remanufacturing processes. They can accurately and reliably detect even the smallest defects in piston pins, providing high speed and accuracy of measurements. Automation of this process will significantly increase the productivity and quality of the restoration work, reducing the likelihood of accidents and increasing the durability of products.

This technology is key to maintaining production stability and the competitiveness of enterprises in today's global marketplace.

### **Objective of the study:**

The study aims to develop a design of an automated eddy current system for controlling piston pins during restorative repair.

The object of study includes the process of automated control of piston pins during a refurbishment.

The subject of the study is an automated eddy current system for controlling piston pins used in the process of restorative repair.

The research methods include the theoretical foundations of eddy current control methods, principles of electronics and microprocessor technology, information and measurement technologies, and methods of computer modeling experiments.

### **The practical significance of the results:**

1. The design of the eddy current system for controlling piston pins was developed taking into account their restorative repair.

2. Software in the MatLab environment was developed that allows processing information signals of eddy current transducers and determining their information characteristics - envelope and phase - in automatic mode. The software can be used in other VSCs as a separate program module.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень: .....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1. Аналіз поршневого пальця як об'єкту НК .....	12
1.2. Технології відновлювального ремонту деталей .....	16
1.3. Огляд методів НК придатних до контролю поршневих пальців .....	18
1.4. Обґрунтування використання ВСК у відновлювальному ремонті деталей .....	24
1.5. Постановка завдань магістерської дисертації.....	27
Висновки до першого розділу .....	30
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ОК – ПЕРЕТВОРЮВАЧ.....	31
2.1. Розрахунок ВСП накладного типу в режимі визначення поверхневих тріщин .....	31
2.2. Розрахунок ВСП накладного типу в режимі визначення зазору між перетворювачем і поверхнею ОК.....	37
2.3. Визначення діаметру ОК.....	41
Висновки до другого розділу.....	42
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВСК ПОРШНЕВИХ ПАЛЬЦІВ У ВІДНОВЛЮВАЛЬНОМУ РЕМОНТІ.....	44
3.1. Опис структурної схеми.....	44
3.2. Структурний розрахунок системи ВСК .....	48
3.2.1. Розрахунок механічної частини системи .....	48
3.2.2. Розрахунок електричної частини системи .....	51
3.2.3. Вибір елементної бази для складання електрично- принципальної схеми системи ВСК .....	54
3.3. Розроблення алгоритму роботи системи ВСК поршневих пальців....	57
3.4. Методика калібрування системи.....	59
Висновки до третього розділу .....	61

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....	62
4.1. Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проєкту .....	62
4.2. Розроблення стратегії та маркетингової програми стартап-проєкту..	68
4.3. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	80
4.4. Організація реалізації стартап-проєкту .....	86
Висновки до четвертого розділу .....	88
ВИСНОВКИ .....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	91
ДОДАТКИ .....	95



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВСК – вихрострумний контроль,  
ВСП – вихрострумний перетворювач,  
НК – неруйнівний контроль,  
ОК – об’єкт контролю,  
Г – генератор сигналів,  
ДП – диференціальний підсилювач,  
СФ – смуговий фільтр,  
ПОВ – повторювач напруги,  
КОМ – компаратор,  
ДОН – джерело опорної напруги,  
АД – амплітудний детектор,  
БАОС – блок аналогової обробки сигналу,  
ЦІ – цифровий інтерфейс,  
ПК – персональний комп’ютер,  
ДК – двигун кроковий,  
СУ – схема управління двигуном,  
ОП – оптопара,  
СД – світлодіод,  
ФД – фотодіод,  
СУО – схема управління оптопарою,  
ОУ – об’єкт управління,  
АС – автоматизована система,  
ПЗ – програмне забезпечення

## ВСТУП

У сучасному машино-будівництві є високий попит на ефективні, надійні методи неруйнівного контролю. Методи неруйнівного контролю [4] стали незамінними інструментами для забезпечення структурної цілісності різних компонентів механізмів, не задаючи їм жодних пошкоджень. Серед цих методів вихрострумівий контроль виділяється як метод контролю якості, складу і цілісності електропровідних матеріалів та виробів з них.

Вихрострумівий контроль ґрунтується на принципі електромагнітної індукції, коли у електропровідному об'єкті, розташованому у змінному електромагнітному полі, виникають вихрові струми. Будь-які аномалії або дефекти в структурі матеріалу, геометричні розміри виробів, товщина захисних покриттів та інші характеристики об'єктів викликають зміну інтенсивності вихрових струмів і, відповідно, зміну електромагнітного поля створеного цими струмами. Реєстрація характеристик поля вихрових струмів дає змогу оцінювати переліченні вище характеристики та параметри ОК.

В даному проєкті розроблено автоматизовану систему вихрострумівого контролю поршневих пальців в процесі їх відновлюваного ремонту. Ці об'єкти під час експлуатації зазнають дії значних механічних сил та температур в наслідок чого відбувається втрата металу в місцях тертя пальця з підшипником та можливе утворення поверхневих та підповерхневих тріщин. Розроблена система дає змогу контролювати діаметр поршневих пальців та наявність тріщин як до так і після відновлювального ремонту.

**Об'єктом дослідження** є процес автоматизованого контролю поршневих пальців в процесі відновлюваного ремонту.

**Предметом дослідження** є автоматизована вихрострумівова система контролю поршневих пальців у відновлювальному процесі.

**Метою дослідження** є розроблення проєкту автоматизованої вихрострумівової системи контролю поршневих пальців в процесі відновлювального ремонту.

**Методами дослідження** є теоретичні основи вихрострумів методів контролю, основи електроніки та мікро-процесорної техніки, інформаційно - вимірювальні технології, методи проведення комп'ютерно-моделюючих експериментів.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

Запропонована двопараметровий контроль поршневих пальців з одночасним визначенням діаметра пальців та виявленням поверхневих тріщин в автоматичному режимі, що забезпечує 100% контроль всієї поверхні виробу.

**Практичне значення отриманих результатів:**

1. Розроблено проєкт вихрострумової системи контролю поршневих пальців, який орієнтований на використання в технологічному процесі відновлювального ремонту
2. Розроблене програмне забезпечення в середовищі MatLab, яке дає змогу виконувати опрацювання інформаційних сигналів вихрострумів перетворювачів і визначати їх інформаційні характеристики – обвідну і фазу, в автоматичному режимі.

## 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1. Аналіз поршневого пальця як об'єкту НК

Поршневий палець [1] є важливим компонентом двигуна внутрішнього згоряння в зборі з колінчастого валу, поршнів і шатунів, а функція поршневого пальця полягає в забезпеченні шарнірного з'єднання малого кінця шатуна з поршнем. Поршневий палець передає сили, що діють на поршень відпрацьованими газами в камері згоряння двигуна, а також сили інерції у вузлі колінчастого валу, поршнів і шатунів. Слід зазначити, що поршневий палець працює у важких умовах, які складаються з високої робочої температури, високого тиску згоряння і високих навантажень з періодично змінним характером. Ці умови є наслідком фаз експлуатації вузла колінчастого валу, поршнів і шатунів, а також обмеженого змащування. Приклад зображення корозійних уражень на рис. 1.1.

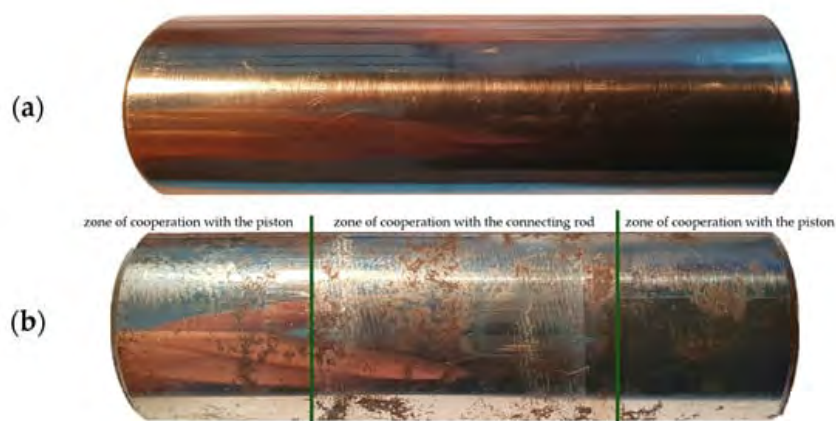


Рис. 1.1. Корозійне ураження поршневих пальців

Основною групою факторів руйнування є умови роботи пальця в поршневій зоні двигуна, тобто висока температура, змінна вологість, домішки та відсутність безперервності змащування, вплив мастильного середовища на фретинг-зношування поверхонь елементів із сплавів CuNiAl та 42CrMo4 в контактні площина-площина (рис. 1.2).

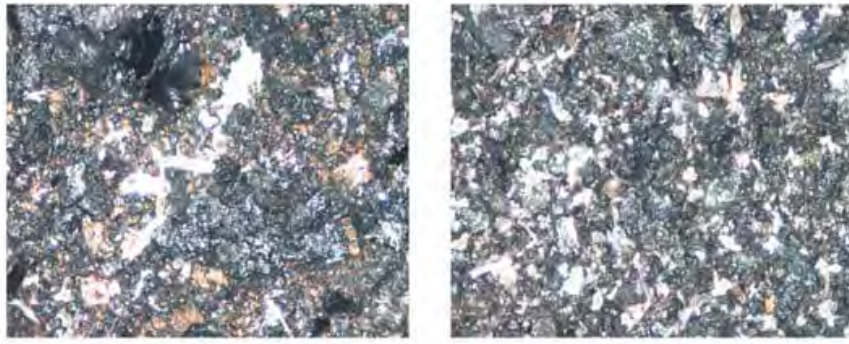


Рис. 1.2. Мікроскопічне зображення (збільшення 200х, відбите світло) відкладень на поршневому пальці в зоні руйнування з'єднання з малим кінцем шатуна

У зв'язку з необхідністю обмежити масу деталей вузла колінчастого валу, поршнів і шатунів, що рухаються у зворотно-поступальному русі, і з метою досягнення збалансованих умов, робляться спроби зменшити масу поршневого пальця. Тому поршневі пальці мають форму товстостінної труби з діаметром і товщиною стінки, що відповідають стандартам. Такі трубки виготовляються методом розточування з дотриманням принципів визначення розмірів [2], тобто довжина пальця дорівнює 0,8-0,9 діаметра поршня, а зовнішній діаметр дорівнює 0,3-0,4 діаметра поршня. Таке співвідношення розмірів дозволяє звести до мінімуму тиск на бобишку поршня. Крім відповідних масогабаритних показників, поршневі пальці повинні відрізнятися низькими параметрами шорсткості поверхні, що дозволяє знизити схильність деталей, що сполучаються, до зносу.

Контролюючі поршневі пальці [10] двигунів виготовлені з легованої сталі 20MnCr5 (20HG), підданої цементації на глибину 0,7-1,0 мм і загартованої до 63 HRC.

Поршневі пальці, також відомі як шатунні, є критично важливими компонентами в двигунах внутрішнього згорання. Дефекти поршневих пальців можуть призвести до проблем з роботою двигуна і потенційних відмов. Ось деякі поширені дефекти або проблеми, які можуть виникнути з поршневими пальцями:

**Зношення:** З часом поршневі пальці можуть зношуватися через постійні зворотно-поступальні рухи в двигуні. Надмірний знос може призвести до збільшення зазорів між поршнем або шатуном, що впливає на продуктивність двигуна.

**Задири:** Задири виникають при надмірному терті між поршневим пальцем і його оточуючими компонентами (поршнем і шатуном). Це може призвести до задирів або пошкодження поверхні поршневого пальця. Див. рис 1.3.

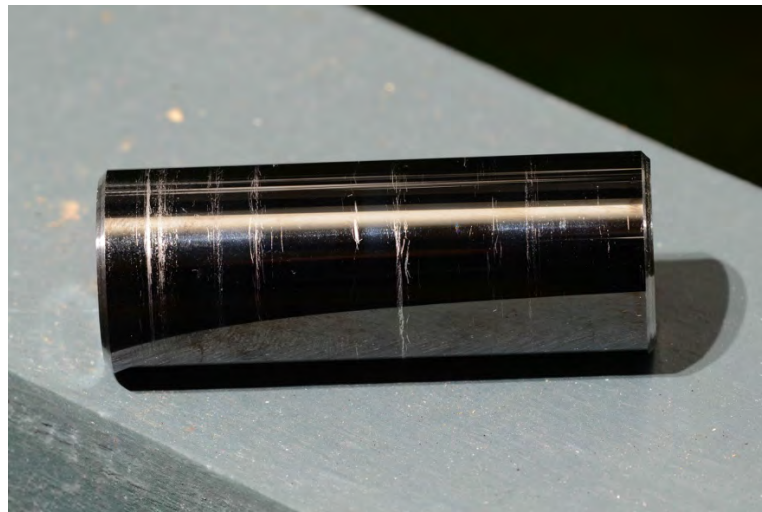


Рис. 1.3. Дефекти типу «задир»

**Тріщини:** Тріщини на поршневому пальці можуть з'явитися через різні фактори, такі як термічний стрес, втома або виробничі дефекти. Тріщини можуть послабити поршневий палець і зрештою призвести до виходу його з ладу. Такий дефект наведений в зображенні рис. 1.4.



Рис. 1.4. Дефекти типу «тріщина»

**Корозія:** Корозія може виникати на поверхні поршневих пальців, особливо в двигунах, які працюють у важких умовах або піддаються впливу корозійних речовин. Корозія може послабити поршневий палець і зменшити його довговічність. Приклад корозійного ураження на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Дефекти типу «корозія»

**Надмірні зазори:** Якщо зазор між поршневим пальцем і поршнем або шатуном занадто великий, це може призвести до збільшення люфту і шуму в двигуні. Це також може призвести до прискореного зносу.

**Пошкодження підшипників:** Підшипники на малому кінці шатуна, які підтримують поршневий палець, можуть бути пошкоджені, що призводить до підвищеного тертя та зносу поршневого пальця.

**Перегрів:** Надмірне нагрівання двигуна може призвести до перегріву поршневого пальця, що може спричинити деформацію або металургійні зміни в матеріалі, які можуть вплинути на його продуктивність. Приклад дефекту рис. 1.6.





Рис. 1.6. Дефекти типу «перегрів»

**Проблеми зі змащенням:** Недостатнє змащування або використання невідповідних мастильних матеріалів може призвести до підвищеного тертя і зносу поршневого пальця.

Для виявлення дефектів поршневих пальців можна використовувати неруйнівні методи контролю, такі як ультразвук, магнітопорошкова дефектоскопія та дефектоскопія з використанням барвників, які не завдають шкоди компоненту.

## **1.2. Технології відновлювального ремонту деталей**

Лазерне наплавлення [11] для ремонтного відновлення деталей. У ремонтній практиці використовують лазерне наплавлення для відновлення розподільних кулачків, тарілок клапанів, кулачкових валів.

Лазерне наплавлення це спосіб отримання покриттів із встановленими фізико-механічними властивостями шляхом нанесення наплавляючого матеріалу (таким як фольга , порошок , дріт) з майбутнім оплавленням його лазером.

При використанні порошкових матеріалів спостерігаються найменші витрати енергії. Товщина наплавленого покриття становить 40-50 мкм.

Порошок подається на поверхню деталі за допомогою дозатора (прямо в область лазерного променю), шляхом попереднього обмазування поверхні, клеїть складом з подальшим обсіпанням порошком, або у вигляді колоїдного розчину – це суміш порошку та розчину целюлози.



Для першого варіанту характерне підвищення (в 5-7 разів) витрати порошку та погіршення фізико-механічних властивостей покриття, хоча енергозатрати процесу наплавлення найменші.

При збільшенні товщини обмазки збільшується поглинання випромінювання. В той же момент виростає твердість нанесеного шару, котру можна встановити в межах 35 ... 65 HRC шляхом підбору швидкості наплавлення і грануляції порошку матеріалу.

Збільшення розміру частинок порошку призводить до збільшення твердості та зносостійкості покриття. Найдоцільнішою є суміш різних фракцій з наступними розмірами зерен, мкм:

40 ... 100 - 10%, 100 ... 280 - 80%, 280 і більше - 10%.

Технологічні параметри лазерного наплавлення приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Технологічні параметри лазерного наплавлення в залежності від складу порошку і розміру зерен [11]

Порошок	Розмір зерен, мкм	Швидкість наплавлення, м\хв	Мікротвердість	Межа міцності зчеплення з основою, МПа
ПН73ХС3Р3	200...300	38	7,5	
		28	6,5	
		21	5,5	
		13	4,5	
	100...200	38	6,5	
		28	6,0	
		21	5,5	
		13	3,5	
	60...100	38	3,2	
		28	2,9	

		21	2,5	
		13	2,4	
ПГФБХ-6-2	100...200	15...38	8...10,5	
	200...400	15...35	8,5...11,0	
	400...600	15...30	9,0...11,5	

Якість покриття залежить від швидкості руху лазера, товщини наплавленого шару та ступеню перекриття валиків. Покриття, що наносяться лазерним наплавленням, відповідають таким характеристикам:

1. товщина шару, наплавленого за один прохід, до 0,8 мм; товщина дефектного шару не більше 0,1 мм;
2. міцність зчеплення покриття з відновлюваної поверхнею до 0,35 кН / мм<sup>2</sup> ; втрати наплавляється не більше 1%; розмір зони термічного впливу не більше 1 мм.

Наплавлення проводять на пристроях, в яких використовуються серійні лазери ЛГН-702, «Кардамон», ЛТ1-2, «Голка», «Комета», «Катунь», «Латус-31» і «Юпітер-1.0», а також виготовляються ЗАТ «Ремдеталь» лазерні технологічні модулі мод. 01.03.178 і 01.12.376.

### **1.3. Огляд методів НК придатних до контролю поршневих пальців**

#### **1. Візуальний контроль:**

Візуальний контроль є найпростішою, але важливою формою неруйнівного контролю. Кваліфіковані інспектори оглядають поршневі пальці на наявність видимих дефектів, таких як тріщини, нерівності поверхні та ознаки зносу. Незважаючи на те, що візуальний огляд обмежується поверхневими дефектами, він залишається першим кроком в процесі контролю. Інструментарій візуального контролю рис. 1.7.



Рис. 1.7. Інструментарій візуального контролю

## 2. Магнітопорошкова дефектоскопія (МПД):

МПД ефективний для виявлення поверхневих і приповерхневих дефектів у феромагнітних матеріалах. Під час МПД магнітні частинки наносяться на поверхню поршневого пальця. При введенні магнітного поля воно виділяє дефекти, утворюючи скупчення частинок. Цей метод є швидким, економічно ефективним та ідеальним для виявлення дефектів на ранніх стадіях. Див. рис. 1.8.



Рис. 1.8. Приклад магнітопорошкового контролю

## 3. Капілярний контроль :

Пенетрант корисний для виявлення поверхневих дефектів на поршневих пальцях, виготовлених з кольорових матеріалів. На поверхню наноситься

проникаюча рідина, яка заповнює будь-які тріщини або порожнечі. Потім надлишок рідини видаляється, і наноситься проявник, який витягує пенетрант і виявляє поверхневі дефекти. Приклад роботи такого контролю рис. 1.9.

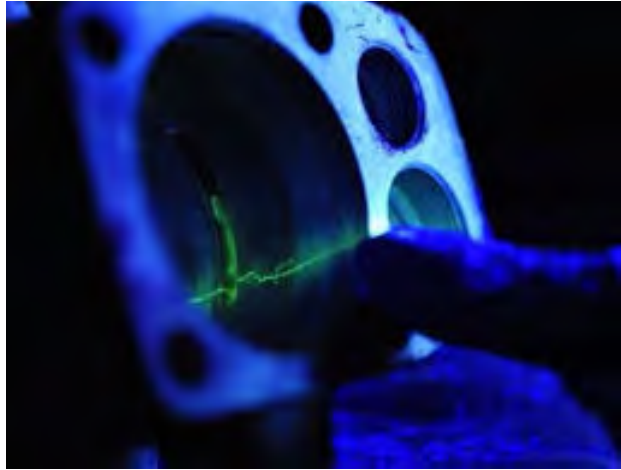


Рис. 1.9. Приклад капілярного контролю в УФ променях

#### 4. Ультразвукова дефектоскопія (УЗД):

УЗД використовує високочастотні звукові хвилі для перевірки внутрішніх і приповерхневих ділянок поршневих пальців. Ультразвукові хвилі передаються через матеріал. Якщо є дефект, хвилі відбиваються назад, вказуючи на наявність і розташування дефекту. УЗД відмінно підходить для виявлення внутрішніх тріщин, включень та інших підповерхневих дефектів. Візуалізація УЗ методу рис. 1.10.

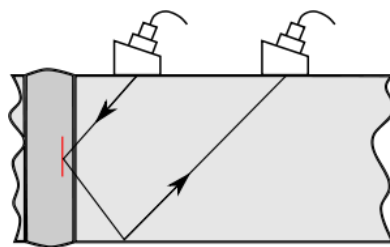


Рис. 1.10. Променева картина поширення коливань в УЗ дефектоскопії

#### 5. Вихрострумова дефектоскопія (ВСК):

ВСК особливо ефективна для перевірки поршневих пальців, виготовлених з струмопровідних матеріалів. У матеріалі індукуються вихрові струми, і

виявляються відхилення в електропровідності або магнітній проникності, викликані дефектами. ВСК є швидким і дозволяє виявити поверхневі та приповерхневі дефекти. Див. рис. 1.11.

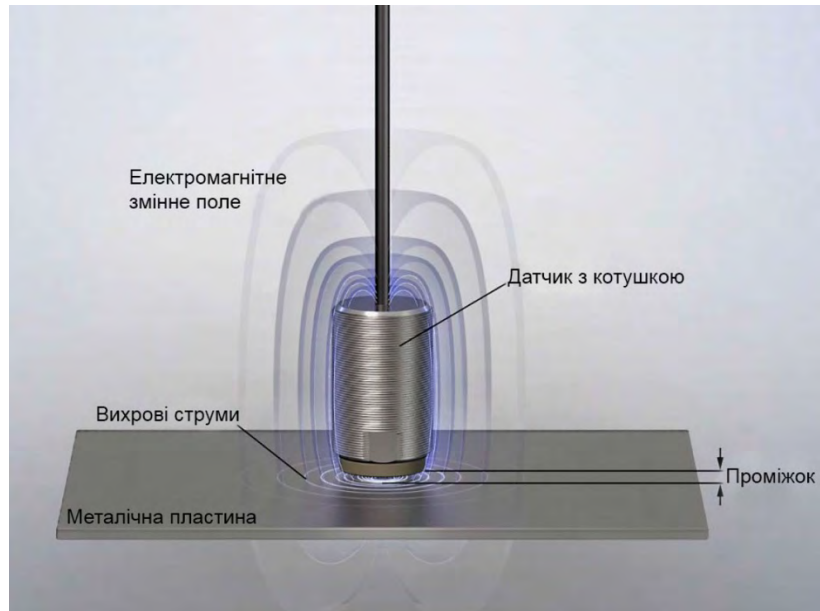


Рис. 1.11. Взаємне розташування ОК та ВСП при реалізації ВСК [9]

#### 6. Рентгенівський контроль (РК):

РК передбачає пропускання рентгенівських або гамма-променів через поршневий палець і фіксацію отриманого зображення на плівці або цифровому детекторі. РК відмінно підходить для виявлення внутрішніх дефектів, таких як порожнечі і вклучення, забезпечуючи детальне зображення внутрішньої структури поршневого пальця. Зразок такого сканера зображений на рис.1.12.



Рис. 1.12 Загальний вид дефектоскопу CR25P [12]

#### 7. Акустично-емісійний контроль (АЕК):

АЕК контролює акустичні сигнали, що випромінюються матеріалом під впливом навантаження. Раптові викиди енергії, які часто свідчать про поширення тріщини, виявляються датчиками і аналізуються. АЕК є цінним для безперервного моніторингу, особливо в динамічних умовах.

При виборі методу неруйнівного контролю для перевірки поршневих пальців необхідно враховувати такі фактори, як склад матеріалу, тип дефектів, які необхідно виявити, обсяг виробництва і необхідна чутливість. Часто для забезпечення комплексного контролю застосовують комбінацію методів. З розвитком технологій інтеграція автоматизованих систем і штучного інтелекту для аналізу даних підвищує швидкість і точність таких перевірок, роблячи процес більш надійним і ефективним. Розуміння принципів і застосування цих методів неруйнівного контролю має важливе значення для забезпечення якості та надійності поршневих пальців, тим самим сприяючи підвищенню загальної продуктивності і безпеки двигунів внутрішнього згорання. Співставний аналіз можливостей різних методів НК в табл. 1.2.

Табл. 1.2 Співставний аналіз можливостей різних методів НК

Методи Контролю	Розміри Об'єкту Контроля (мм)	Виявлення Дефектів	Придатність до Автоматизації	Шкідлива Дія на Довкілля
Візуальний контроль	1 - 500	Поверхневі дефекти	Можливе, в основному для автоматизованого візуального контролю	Не впливає
Магнітно- порошковий контроль	1 - 1000	Поверхневі та ближні дефекти	Можливе, з використанням автоматизованих систем нанесення та видалення порошку	Мінімальний
Капілярний контроль	1 - 800	Поверхневі дефекти	Можливе, з використанням автоматизованих систем нанесення та видалення капілярів	Мінімальний
Ультразвуковий контроль	1 - 2000	Поверхневі та внутрішні дефекти	Можливе, особливо для масового виробництва з використанням роботизованих систем	Мінімальний
Вихростумовий контроль	1 - 1500	Поверхневі та ближні дефекти	Можливе, з використанням автоматизованих	Мінімальний

			систем зміни електромагнітних полів	
Рентгенівський контроль	1 - 3000	Внутрішні дефекти	Можливе, з використанням автоматизованих систем знімання та аналізу рентгенівських зображень	Потенційно високий
Акустичної емісії	1 - 1200	Поверхневі та внутрішні дефекти	Можливе, з використанням автоматизованих систем моніторингу та аналізу звукових сигналів	Мінімальний

#### **1.4. Обґрунтування використання ВСК у відновлювальному ремонті деталей**

Вихрострум ідеально підходить для автоматизації контролю, особливо так званих обертально-симетричних компонентів, з наступних причин:

Безконтактність.

Немає необхідності в з'єднанні.

Ідеально підходить для виявлення поверхневих дефектів.

Доступна широка геометрія датчиків.

Економічно ефективне рішення для перевірки симетричних компонентів, наприклад, підшипників, штифтів, гільз циліндрів і т.д.

Якщо навести всі переваги то це будуть:



1. Нездатність для візуального огляду: Деякі дефекти та пошкодження на поверхні деталей можуть бути непомітними для звичайного візуального огляду. ВСК може виявити дефекти, які не видно навіть за допомогою оптичних приладів.
2. Нетривалість процесу контролю: ВСК дозволяє виконувати швидкий та ефективний контроль деталей, забезпечуючи високу продуктивність і низький час перерви в роботі виробництва.
3. Висока чутливість та точність: ВСК виявляє найменші дефекти та аномалії в матеріалі, що робить його вкрай чутливим та точним методом. Ця властивість робить його ідеальним для виявлення мікротріщин, вузьких щілин та інших незначних відхилень.
4. Неможливість фізичного контакту: ВСК не потребує прямого контакту з деталлю, що робить його ідеальним для вимірювання об'єктів у важкодоступних місцях та для контролю деталей з незвичайною геометрією.
5. Виявлення складних дефектів: ВСК може виявляти складні дефекти, такі як включення, підвищення пористості, зміни структури матеріалу тощо, які можуть бути критичними у відновлювальному ремонті.
6. Можливість визначення глибини дефектів: ВСК може допомогти визначити глибину дефектів у матеріалі, що є важливою інформацією для визначення можливості ремонту деталі.
7. Зменшення відходів матеріалів: Використання ВСК у відновлювальному ремонті дозволяє вчасно виявляти дефекти та уникати відходів матеріалів, які можуть виникнути внаслідок невірної або неефективного ремонту.

#### **Недоліки:**

Залежність від матеріалу: ефективність ВСК може залежати від матеріалу деталі. Для деяких матеріалів можуть існувати обмеження у використанні цього методу.

Вплив геометрії об'єкта: геометрія деталі може впливати на можливість коректного застосування ВСК. Складні геометричні форми можуть ускладнити процес контролю.

Потреба у висококваліфікованих фахівцях: ефективне використання ВСК вимагає досвідчених та кваліфікованих фахівців, що може збільшити витрати на навчання персоналу. Вартість обладнання: вища вартість спеціалізованого обладнання для ВСК порівняно з іншими методами контролю може бути фінансовим обмеженням для певних підприємств. Обмежена глибина проникнення: ВСК може бути обмежений у глибині проникнення в матеріал, що може ускладнити виявлення глибоких дефектів.

Отже, хоча ВСК має багато переваг, його ефективність може залежати від конкретної ситуації та потреб додаткового обладнання та експертів для коректного застосування цього методу контролю.

Один із прикладів дефектоскопів.

Вихрострумний дефектоскоп для автоматизованого контролю:

ETher NDE представляє ViCTor 2.2D [3], зручну для користувача автоматизовану систему вихрострумного контролю, розроблену з урахуванням потреб інженерів з автоматизації. Заснована на професійному асортименті основних дефектоскопів і програмного забезпечення, інженери з неруйнівного контролю швидко освоюються з її користувальницьким інтерфейсом, а завдяки різноманітності доступних конфігурацій корпусу, ViCTor 2.2D пропонує максимальну гнучкість для кожного окремого випадку застосування. На рис. 1.14 зображена одна із моделей сканера.



Рис. 1.14. Загальний вид вихрострумового дефектоскопу ViCTor 2.2D

### **1.5 Постановка завдання магістерської дисертації**

В даному проєкті ОК виступає поршневий палець двигуна стандартного типу де нерухомий палець кріпиться до поршня на бобишці, а шатун ковзає по пальцю.

Поршневі пальці у високопродуктивних автомобільних, тракторних і локомотивних двигунах із наддувом або турбонаддувом пальці виготовляють із легованих вуглецевих сталей, таких як A387 Gr 12 CL2;

Леговані вуглецеві сталі мають високий ступінь електропровідності, особливо коли вони мають високий вміст вуглецю.

Зовнішня поверхня штифтів цементується на глибину 0,5-1,5 мм, потім загартовується і відпускається. Нарешті, поверхня штифта піддається азотуванню для підвищення його твердості до рівня  $HRC \geq 58$ . На поверхні штифтів наносять індукційне загартування на глибину 1,0-1,5 мм, штифти виготовлені з вуглецевої сталі 1045. Геометричні розміри та маса ОК наведені в табл. 1.3.

Табл. 1.3. Геометричні розміри пальця

Вихідний діаметр	18 мм
Вхідний діаметр	11 мм
Довжина	50 мм
Маса	62 г

В проєкті виявляються такі параметри як діаметр, а також дефекти.

**Поверхневі тріщини:** Ці тріщини розташовані на зовнішній поверхні поршневого пальця і можуть бути видимі візуально. Вони можуть виникнути через механічні навантаження, знос або удари. Поверхневі тріщини можуть бути короткими або довгими і можуть поширюватися вздовж або поперек поршневого пальця.

**Внутрішні тріщини:** Ці тріщини розташовані всередині поршневого пальця і можуть бути важко помітні без спеціалізованих методів контролю, таких як рентгенівський чи ультразвуковий контроль. Внутрішні тріщини можуть виникати через напруги, що виникають внаслідок термічних змін, втоми матеріалу або нерівномірного розподілу навантаження.

**Корозійні тріщини:** Ці тріщини виникають внаслідок корозії, коли матеріал поршневого пальця взаємодіє з агресивними середовищами. Корозійні тріщини можуть бути особливо небезпечними, оскільки вони можуть поширюватися швидко та несприйнятливі до візуального огляду.

Метод вихрострумний з неперервним збудженням електричного поля. Інформаційними параметрами слугують – амплітуда та фаза.

**Амплітуда:** Амплітуда вимірює максимальне значення вихрострумного сигналу, яке виникає внаслідок взаємодії електромагнітних полів з металеву структуру матеріалу.

Зміни амплітуди можуть свідчити про наявність дефектів, зміни в металевій структурі, чи інші аномалії у матеріалі.

**Фаза:** Фаза вказує на часовий зсув між вхідним та вихідним сигналами. Вимірюється у градусах або радіанах.

Зміни у фазі можуть вказувати на глибину дефекту, його розташування відносно поверхні матеріалу або інші характеристики дефекту. Ці інформаційні параметри амплітуди та фази дозволяють визначити різницю параметрів матеріалу еталонної частини від тієї, де дефект присутній.

**Канали системи:** Оскільки контроль діаметра ОК доцільно проводити зовнішніми прохідними ВСП, а контроль тріщин – накладними диференціальними ВСП, система повинна містити 2 електронних канали вимірювання діаметра і виявлення тріщин

Система повинна забезпечувати, автоматичне сканування всієї робочої поверхні пальця.

Структурна схема включає два ВСП накладного типу, які розташовуються над ОК на відомій відстані  $L$  в діаметрально-протилежних напрямках. Кожний з ВСП має котушку збудження і дві вимірювальні котушки. Система ВСК має чотири вимірювальні канали які утворені послідовно включеними вимірювальними котушками ВСП, диференціальними підсилювачами (ДП), підсилювачами і АЦП. В залежності від підключення вимірювальних котушок згадані вище вимірювальні канали призначені для реалізації різних завдань контролю. До ДП1 і ДП3 вимірювальні ВСП1 і ВСП2 підключаються диференціально, що необхідно для виявлення дефектів типу – тріщина. На вхід ДП2, ДП4 надходять сигнали з однієї вимірювальних котушок ВСП1 та ВСП2. Ці абсолютні сигнали використовуються для визначення зазорів  $L_1(x)$  і  $L_2(x)$  між перетворювачем та об'єктом в процесі його сканування вздовж координати  $x$ . Це дає змогу визначити поточне значення діаметру ОК за формулою:

$$D(x)=L - L_1(x) - L_2(x)$$

Різниця між номінальним значенням  $D_N$  і поточним значеннями діаметрів, тобто величина  $D_N - D(x)$  дає змогу виявити дефекти другого типу – задири, вм'ятини, зношення.

Отримані цифрові сигнали через цифровий інтерфейс ЦІ передаються в ПК для подальшого опрацювання і формування результату контролю.

## **Висновки**

1. Проведений аналіз методів неруйнівного контролю для використання їх в автоматизованому контролі поршневих пальців у процесі відновлювального ремонту дав змогу виявити переваги та недоліки різних методів. Метод вихрострумового контролю має найбільшу сукупність властивостей та характеристик, необхідних для успішного виконання поставленого завдання. Але практичне використання цього методу потребує адаптації до об'єкта та завдань контролю і врахування таких параметрів, характеристик об'єкту та режимів контролю як: матеріал, вид дефекту, глибина дефекту, розміри деталі; робоча частота; інформаційні параметри сигналів; методи отримання інформаційних параметрів

2. Проаналізувавши та порівнявши різні методи, можемо дійти до висновку, що в майбутньому, якщо прагнути до об'ємнішої автоматизації потрібно в систему включати інші методи контролю. Таким варіантом може слугувати магнітнопорошковий метод, завдяки йому гарно видно поверхневі тріщини, а за допомогою вихроструму можна знаходити діаметр.

3. Проте, різні методи роблять систему дорогою та вибагливою до спеціаліста. Для простоти та дешевизни ми дійшли висновку, що для нашої задачі, а саме – контролю поверхневих дефектів, та пошуку діаметра поршневих пальців, найкраще зарекомендувала себе система побудована на ВСП, вона виконує відразу всі дві задачі.

## 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ОК – ПЕРЕТВОРЮВАЧ

### 2.1. Розрахунок ВСП накладного типу в режимі визначення поверхневих тріщин.

Основним змістом розрахунку ВСП є обґрунтування робочої частоти, конструктивних параметрів перетворювача та вихідних сигналів. В загальному виді модель сигналу ВСП в режимі контролю виробу представляється векторною сумою трьох складових. Для ВСП трансформаторного типу це напруга холостого ходу  $\dot{U}_o$ , внесена напруга  $\dot{U}_{вн}$  та напруга викликана наявністю дефекту  $\dot{U}_д$

$$\dot{U}_{ВСП}(\bar{p}_{ок}, \bar{p}_{ВСП}, \bar{p}_д) = \dot{U}_o + \dot{U}_{вн}(\bar{p}_{ок}, \bar{p}_{ВСП}) + \dot{U}_д(\bar{p}_д, \bar{p}_{ВСП}), \quad (2.1)$$

де  $\bar{p}_{ок}$  – вектор параметрів ОК (питома електропровідність, діаметр);  $\bar{p}_{ВСП}$  – вектор параметрів ВСП (геометричні розміри котушок, кількість витків тощо);  $\bar{p}_д$  – вектор параметрів дефектів (до прикладу глибина  $h$ ). Приклад векторної діаграми сигналу ВСП, який дає уявлення про розміри і взаємне розташування складових комплексної напруги наведено на рис. 2.1. та рис. 2.2.

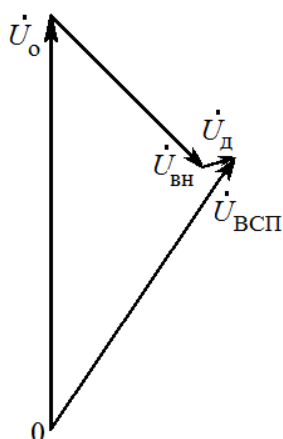


Рис. 2.1. Приклад векторної діаграми складових сигналу трансформаторного ВСП

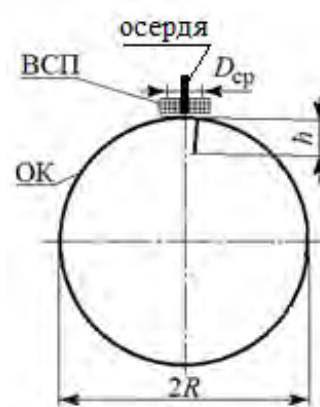


Рис. 2.2. Взаємне розташування ОК та ВСП накладного типу

Перші дві складові у виразі (2.1) не несуть інформації про дефекти ОК і

розглядаються в дефектоскопії як неінформативні. Ці складові за рівнем на багато перевищують складову  $\dot{U}_d$ , маскують останню, тому повинні бути вилучені з сигналу  $\dot{U}_{\text{ВСП}}$ .

В розроблюваній системі вилучення неінформативних складових сигналу реалізується за рахунок диференціального включення вимірювальних котушок (вважається, що одна котушка розташована над дефектом, а друга – над бездефектною ділянкою).

Розрахунок ВСП виконаємо в такій послідовності.

2.1.1. Вибираємо еквівалентний діаметр обмотки збудження:

$$D_{\text{екв}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

2.1.2. Визначаємо узагальнений параметр  $\beta$ , який зв'язаний з параметрами системи «ВСП – ОК» наступним виразом

$$\beta = 0,5 D_{\text{екв}} \sqrt{\omega \gamma \mu_0}, \quad (2.2)$$

де  $\omega$  – кругова частота струму збудження,  $\gamma$  – питома електропровідність матеріалу прутка,  $\mu_0$  – магнітна стала.

Скористаємось графіком залежності відносної напруги від дефекту від узагальненого параметра та відносної глибини дефекту  $\Delta U(\beta, h^*)$ , представленого на рис. 2.3. З графіка можемо бачити, що найбільші значення приросту напруги проходять на діапазон  $\beta = 6 \dots 10$ .

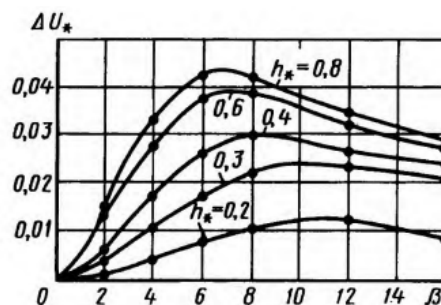


Рис. 2.3. Графік функції  $\Delta U_*(\beta, h^*)$

Обираємо значення  $\beta = 8$ .



2.1.3. Задаємо аксіальну довжину котушки збудження  $L$

$$L = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

2.1.4. Задаємо діаметр проводу котушки збудження виконуючи умову:

$$0.1 \cdot 10^{-3} \text{ м} < d_1 < 0.8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Вибираємо  $d_1 = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

2.1.5. Розрахунок числа витків котушки збудження.

Для цього спершу обрахуємо кількість слоїв  $n$ :

$$n = \frac{L}{d_{\text{із}}}, \quad (2.3)$$

де  $d_{\text{із}}$  – діаметр проводу котушки збудження з ізоляцією.

Для діаметру  $d_1 = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  і марки дроту ПЕВ за відповідною таблицею визначаємо  $d_{\text{із}} = 0.125 \text{ мм}$ . З урахуванням прийнятих даних маємо

$$n = \frac{1.0 \cdot 10^{-3}}{0.125 \cdot 10^{-3}} = 8.$$

Знаходимо кількість витків у одному шарі котушки збудження  $W_{\text{ш}}$  як

$$W_{\text{ш}} = \frac{S_0}{d_{\text{із}} \cdot L}, \quad (2.4)$$

де  $S_0$  – площа поперечного перерізу обмотки котушки збудження.

Задавши значення  $S_0 = 0,9 \text{ мм}^2$  маємо

$$W_{\text{ш}} = \frac{0.9 \cdot 10^{-6}}{1.125 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}} = 7.2 \approx 7;$$

Тоді загальна кількість витків  $W_1$  визначеться як

$$W_1 = n \cdot W_{\text{ш}} = 8 \cdot 7 = 56.$$

2.1.6. Розрахунок струму збудження на відсутність перегріву котушки.

Щоб розрахувати струм збудження  $I$  спочатку розрахуємо граничний струм збудження  $I_{гр}$  за формулою

$$I_{гр} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot S_{ох} \cdot Q_d}{R}}, \quad (2.5)$$

де  $\lambda = (8 \div 12) \frac{Вт}{м^2}$  – коефіцієнт теплопередачі;  $S_{ох}$  – площа поверхні охолодження котушки;  $Q_d$  – допустима температура перегріву;  $R$  – активний електричний опір котушки;

Значення активного опору котушки визначаємо за формулою:

$$R = \frac{4 \cdot \rho \cdot W_1 \cdot D_{еф}}{d_1^2}, \quad (2.6)$$

де  $\rho = 0.0175 \frac{Ом \cdot мм^2}{м}$  – питомий електричний опір міді,

$$R = \frac{4 \cdot 0.0175 \cdot 10^{-6} \cdot 56 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{(0.1 \cdot 10^{-3})^2} = 0.784 \text{ Ом};$$

Розрахуємо площу охолодження котушки збудження. Вважаючи її за формулою порожнистим циліндром висотою 1 мм та внутрішнім і зовнішнім діаметрами відповідно 1 мм та 2.8 мм (1мм+0.9мм+0.9мм). Тоді загальну площу такої фігури  $S_{ох}$  визначимо як суму трьох складових:

- зовнішньої поверхні

$$S_3 = 1 \cdot \pi \cdot D_3 = 1 \cdot 3.14 \cdot 2.8 = 8,792 \text{ мм}^2;$$

- внутрішньої поверхні

$$S_{вн} = 1 \cdot \pi \cdot D_{вн} = 1 \cdot 3.14 \cdot 1 = 3,14 \text{ мм}^2;$$

- подвоєної торцьової поверхні

$$S_T = \frac{2\pi}{4} (D_3^2 - D_{вн}^2) = 0.5 \cdot 3.14 \cdot (7.84 - 1) = 10.773 \text{ мм}^2.$$

Остаточно маємо

$$S_{\text{ох}} = S_3 + S_{\text{вн}} + S_{\text{т}} = 8.792 + 3.14 + 10.773 = 22.7 \text{ мм}^2.$$

Допустиму температуру котушки приймемо рівною  $Q_d = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Підставляємо отримані величини в формулу (2.5) визначення граничний струм струму:

$$I_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 22.7 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{0.784}} = 0.01521 \text{ А.}$$

Щоб визначити робочу силу струму скористаємося умовою перегріву:

$$I = (0.85 \div 0.9) \cdot I_{\text{гр}},$$

$$I = 0.85 \cdot 0.01443 = 0.01299 \approx 13 \text{ мА};$$

2.1.7. Вибираємо діаметр проводу вимірювальної котушки з умови:

$$0.02 \cdot 10^{-3} \text{ м} < d_2 < 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Обираємо  $d_2 = 0.05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; марки дроту ПЕВ, за відповідною таблицею визначаємо  $d_{i3} = 0.062 \text{ мм}$ .

2.1.8. Обираємо число витків вимірювальної котушки :

$$W_2 = 100.$$

2.1.9. Знайдемо частоту струму збудження. З виразу (2.2) маємо

$$f = \frac{2 \cdot \beta^2}{D_{\text{екв}}^2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot \mu_0}, \quad (2.7)$$

де  $\gamma = 6990000 \frac{\text{См}}{\text{м}}$  – питомий електропровідність матеріалу ОК –вуглецевої сталі;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$  – магнітна стала;

Підставивши числові значення відповідних параметрів у формулу (2.7) отримаємо

$$f = \frac{2 \cdot 8^2}{(2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3.14 \cdot 6990000 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 10^{-7}} = 1.16 \text{ МГц.}$$

2.1.10. Визначимо глибину проникнення вихрових струмів в матеріал ОК за формулою

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot f \cdot \gamma \cdot \mu_0}}. \quad (2.8)$$

Підставляємо данні для визначення глибини проникнення:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{3,14 \cdot 1.16 \cdot 10^6 \cdot 6990000 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 10^{-7}}} = 0.177 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Це дає підстави в розрахунках сигналів перетворювача вважати ОК суцільним циліндром, оскільки товщина стінки пустотілого поршневого пальця значно більша за глибину проникнення вихрових струмів в матеріал ОК.

2.1.11. Визначимо амплітудне значення напруги холостого ходу за емпіричною формулою:

$$U_o = 1.35 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot W_2 \cdot W_1 \cdot (m - 0.3) \cdot I \cdot \sqrt{2D_{\text{екв}}^2}, \quad (2.9)$$

де  $m$  – параметр, що визначається як відношенню діаметрів котушок перетворювача, дорівнює 1.

Підставивши у (2.9) числові значення параметрів отримаємо

$$U_o = 1.35 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 1.16 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 56 \cdot (1 - 0.3) \cdot 0.013 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2},$$

$$U_o = 1.77 \text{ В.}$$

2.1.12. Розрахунок модуля сигналів від дефектів виконаємо за формулою

$$U_d = U_o \cdot \Delta U_*(\beta, h^*) \cdot e^{-3 \cdot \xi_1}. \quad (2.10)$$

В формулі (2.10) величину відносної зміни модуля напруги від дефекта  $\Delta U_*(\beta, h^*)$  визначимо з графіка, представленого на рис. 2.3. Задамо граничне

допустиме значення глибини тріщини  $h = 0.6$  мм. Тоді відносне значення глибини тріщини дорівнюватиме  $h^* = h/D_{\text{екв}} = 0.6/2 = 0.3$ . Тоді для  $\beta = 8$  маємо  $\Delta U_*(\beta, h^*) = 0.022$ .

Експоненціальний коефіцієнт, що враховує послаблення сигналу за рахунок зазору між перетворювачем і ОК визначимо з таких міркувань. Вважатимемо, що зазор між поверхнею ОК та котушкою збудження  $h_1$  та між поверхнею ОК та вимірювальною котушкою  $h_2$  для ОК номінального діаметра становить відповідно 0.7 мм та 1.7 мм. Тоді параметр  $\xi$  (відносну відстань між ВСП та поверхнею ОК) для ОК номінального діаметра дорівнюватиме

$$\xi = \frac{h_1+h_2}{D_{\text{екв}}} = \frac{0.7+1.7}{2} = 1.2 . \quad (2.11)$$

Отже маємо наступне значення модуля вихідної напруги вихрострумowego перетворювача від тріщини граничних допустимих розмірів

$$U_{\text{д}} = 1,77 \cdot 0.022 \cdot e^{-3 \cdot 1.2} = 1.06 \text{ мВ.}$$

Цей результат дає змогу зробити наступні висновки. По-перше, процес виявлення тріщин можна будувати на основі аналізу амплітуди сигналу від дефекту. По-друге, отримане числове значення може бути використано як орієнтовне значення бракувального рівня, за яким будуть виявлятися дефекти в процесі сканування поверхні ОК. Це значення може уточнюватись на етапі калібрування системи під час сканування тестового зразка зі штучно створеною тріщиною відомих розмірів.

## **2.2. Розрахунок ВСП накладного типу в режимі визначення зазору між перетворювачем і поверхнею ОК**

Оцінимо внесені напруги накладних вихрострумowych перетворювачів як функції від зазору між перетворювачем і поверхнею ОК.

У випадку зменшення діаметра ОК в разі зношення металу зазори

збільшуватимуться. Для отримання прообразу градуєвальної характеристики – залежності модуля внесеної напруги від зазору, виконаємо розрахунок параметр  $\xi$  в такій послідовності

2.2.1. Задаємо додаткові зазори, які обумовлені зміною діаметру ОК з такими значеннями:

$$h_{1.2} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$h_{1.3} = 0.4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$h_{1.4} = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

2.2.2. Визначимо значення параметр  $\xi$  згідно загальної формули (2.11)

$$\xi_{1.1} = \frac{0.7+1.7}{2} = 1.2;$$

$$\xi_{1.2} = \frac{0.7+1.7+0.4}{2} = 1.4;$$

$$\xi_{1.3} = \frac{0.7+1.7+0.8}{2} = 1.6;$$

$$\xi_{1.4} = \frac{0.7+1.7+1.2}{2} = 1.8.$$

2.2.3. За годографом відносних внесених напруг при контролі прутка зовнішнім прохідним вихрострумовим перетворювачем (рис.2.4) визначаємо значення відносної внесеної напруги перетворювача для  $h_1 = h_1 = 0$  та  $\beta = 8$ :

$$Re(U_{BH}) = 0.2;$$

$$Im(U_{BH}) = -0.7.$$

2.2.4. Визначаємо абсолютні значення внесеної напруги на виході ВСП згідно формул

$$U_1 = U_0 \cdot (Re(U_{BH}) + jIm(U_{BH}) + j) \cdot e^{-3 \cdot \xi} \quad (2.12)$$

$$U_2 = U_0 \cdot (Re(U_{BH}) + jIm(U_{BH}) + j) \cdot e^{-3 \cdot \xi_{1.2}} \quad (2.12')$$

$$U_3 = U_0 \cdot (Re(U_{BH}) + jIm(U_{BH}) + j) \cdot e^{-3 \cdot \xi_{1.3}} \quad (2.12'')$$

$$U_4 = U_0 \cdot (Re(U_{BH}) + jIm(U_{BH}) + j) \cdot e^{-3 \cdot \xi_{1.4}} \quad (2.12''')$$

Розрахунки дають такі значення:

$$U_1 = 0.0097 + j0.0145 \text{ В.}$$

$$U_2 = 0.005 + j0.008 \text{ В,}$$

$$U_3 = 0.0029 + j0.0044 \text{ В,}$$

$$U_4 = 0.0016 + j0.0024 \text{ В,}$$

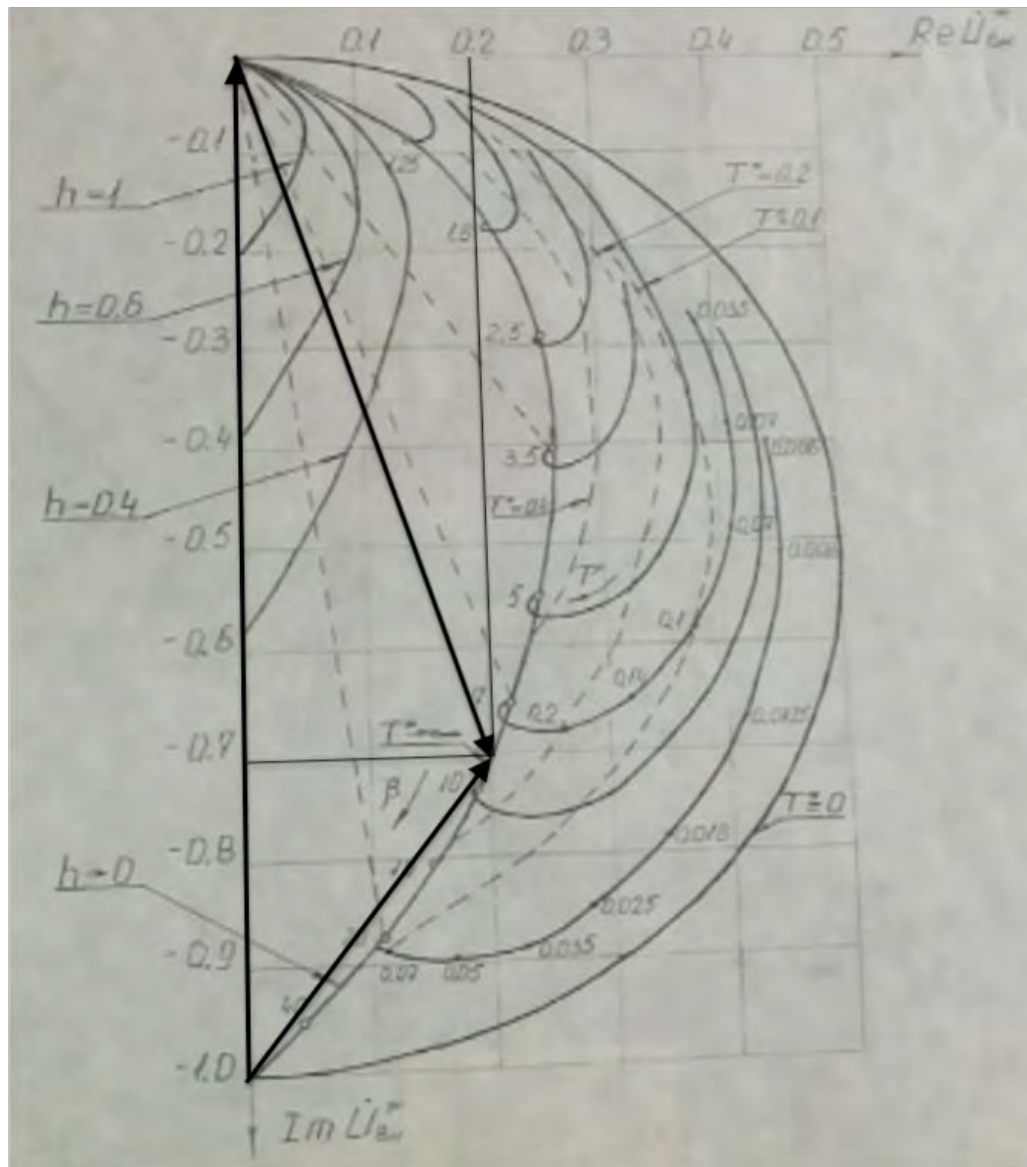


Рис. 2.4. Годограф відносних внесених напруг при контролі прутка накладним вихрострумним перетворювачем

2.2.5. Визначимо модулі значень абсолютної внесеної напруги:

$$|U_1| = 17.44 \cdot 10^{-3} \text{ В},$$

$$|U_2| = 9.57 \cdot 10^{-3} \text{ В},$$

$$|U_3| = 5.25 \cdot 10^{-3} \text{ В},$$

$$|U_4| = 2.88 \cdot 10^{-3} \text{ В}.$$

2.2.6. Побудуємо графік прообразу градууювальної характеристики

Отримані результати розрахунків дають змогу побудувати залежність  $|U| = f(h)$ , яка представлена на рис.2.5.

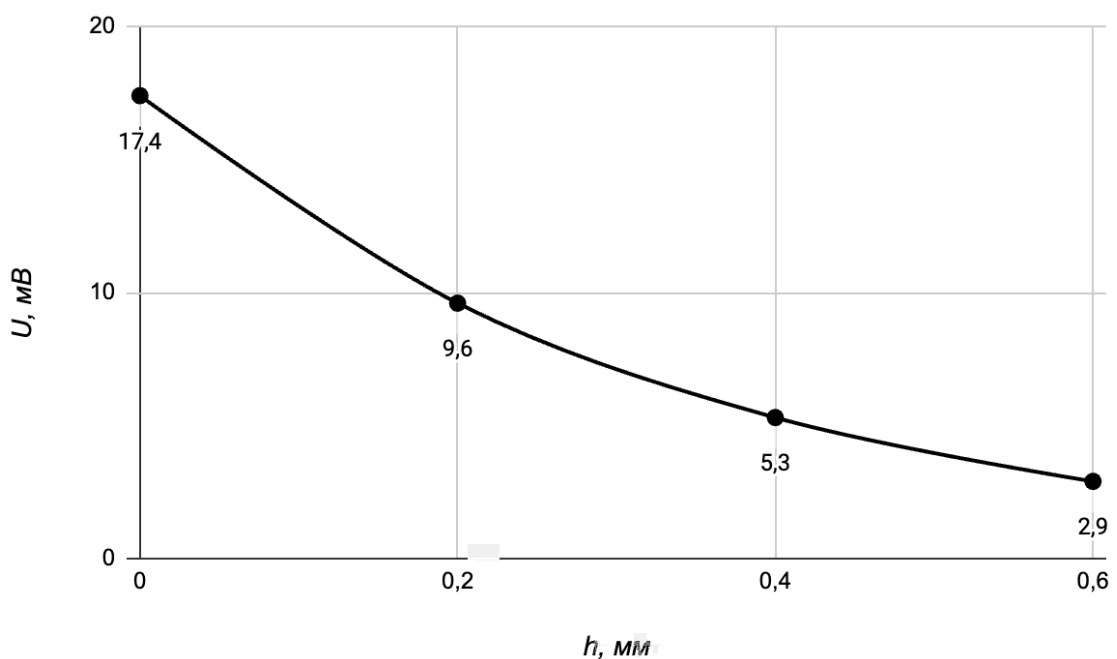


Рис. 2.5. Графік прообразу градууювальної характеристики каналу визначення зазору між ОК і перетворювачем

Зображений на рис. 2.5 графік вказує на значну залежність амплітуди сигналів перетворювача від зазору і доцільність використання амплітудного методу для оцінювання діаметра ОК.

### 2.3. Визначення діаметру ОК

ОК та положення дефектів на його поверхні зручно розглядати в тривимірній циліндричній системі координат (рис. 2.6).



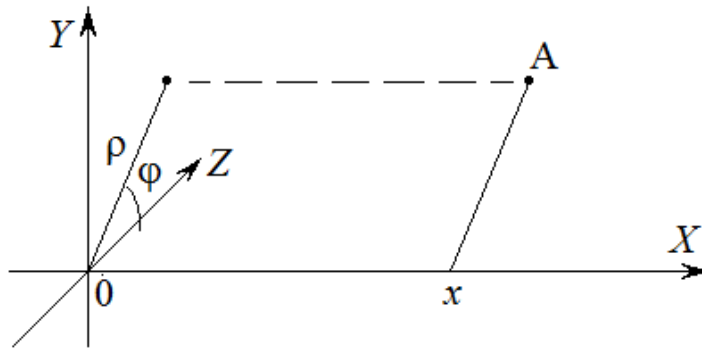


Рис. 2.6. Полярна система координат для визначення поточних координат контрольованої точки на поверхні ОК

В цій системі положення точки А у тривимірному Декартовому просторі передається у площині  $Y,Z$  полярними координатами  $(\rho, \varphi)$ , а положення цієї площини вздовж осі  $OX$  задається координатою  $x$ , тобто в системі координат  $(\rho, \varphi, x)$ .

Взаємне розташування ОК та вихрострумівих перетворювачів ВСП1, ВСП2 показано на рис.2.7.

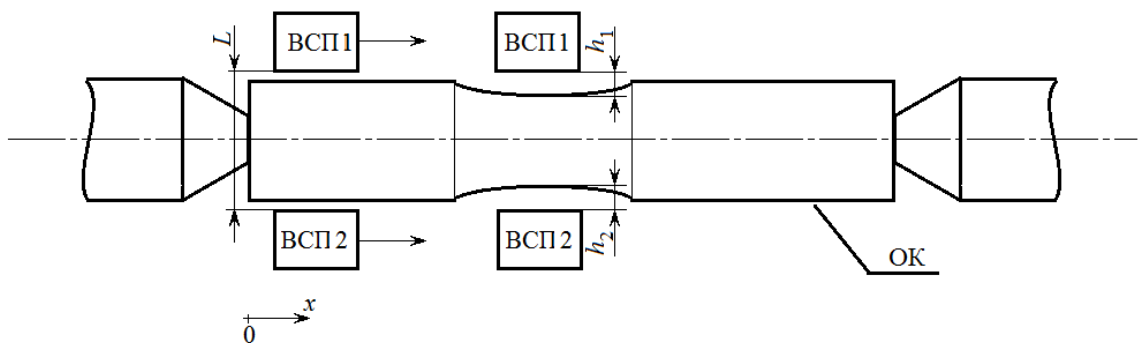


Рис. 2.7. Взаємне розташування ОК та вихрострумівих перетворювачів в процесі контролю

В заданій циліндричній системі координат поточне значення діаметру ОК  $D(x)$  визначається як координата вздовж осі  $O\rho$

$$D(x) = L - h_1(x) - h_2(x) \quad (2.13)$$

Значення бази  $L$  задається з високою точністю, а величини  $h_1(x), h_2(x)$  визначаються в процесі вимірювання зазорів з використанням отриманих

градувальник характеристик. Ці характеристики можуть уточнюватись на етапі калібрування системи на зразках з відомими значеннями діаметрів. Процес калібрування детально розглядається в розділі 3.

## **Висновки**

1. У виконаному дослідженні розраховано сигнали ВСП, визначено робочу частоту та геометричні розміри перетворювача і його складових. Наведений ілюстративний матеріал наочно демонструють розміщення ВСП над об'єктом контролю та пояснюють організацію процесу контролю.

2. Обґрунтовано вибір типу вихрострумових перетворювачів, їх геометричних параметрів та режимів підключення та контролю, за яких досягається прийнятна чутливість до контрольованих параметрів поршневого пальця. Вихрострумові перетворювачі працюють у двох режимах: в режимі визначення поверхневих тріщин (використано два накладних перетворювача трансформаторного типу у диференціальному включенні) і в режимі визначення зазору між перетворювачем і поверхнею ОК з наступним обчисленням його діаметру (використано один накладний перетворювач трансформаторного типу). В такий спосіб реалізується двопараметровий контроль поршневих пальців.

3. Розраховано вихідні сигнали вихрострумових перетворювачів для двох режимів роботи, отримано прообраз градувальної характеристики перетворювача, яка дає змогу оцінити зазори між ОК і перетворювачами. Отримані результати дали можливість зробити висновок про доцільність використання амплітудного методу контролю для виявлення дефектів і оцінювання діаметра ОК.

4. Виконані розрахунки дають змогу обґрунтувати структуру автоматизованої системи вихрострумового контролю поршневих пальців та сформулювати вимоги до її механічної і електричної підсистем.

5. Відмінною рисою перетворювальної частини системи є те, що однотипні вихрострумові перетворювачі використовуються і для вимірювання зазору, і для

виявлення дефектів. Відмінність полягає лише у підключенні перетворювачів – абсолютному, чи диференціальному. Така уніфікація дає змогу дещо здешевити реалізацію системи.

### 3. РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВСК ПОРШНЕВИХ ПАЛЬЦІВ У ВІДНОВЛЮВАЛЬНОМУ РЕМОНТІ

#### 3.1 Опис структурної схеми

Згідно технічного завдання необхідно розробити систему яка давала би змогу виявляти в автоматизованому режимі дефекти в ОК типу – тріщини та вм'ятини (відхилення діаметру) в автоматизованому режимі. Згідно цього завдання та розрахунків системи ВСП та ОК виконаних у другому розділі запропоновано структурну схему представлену на рис. 3.1.

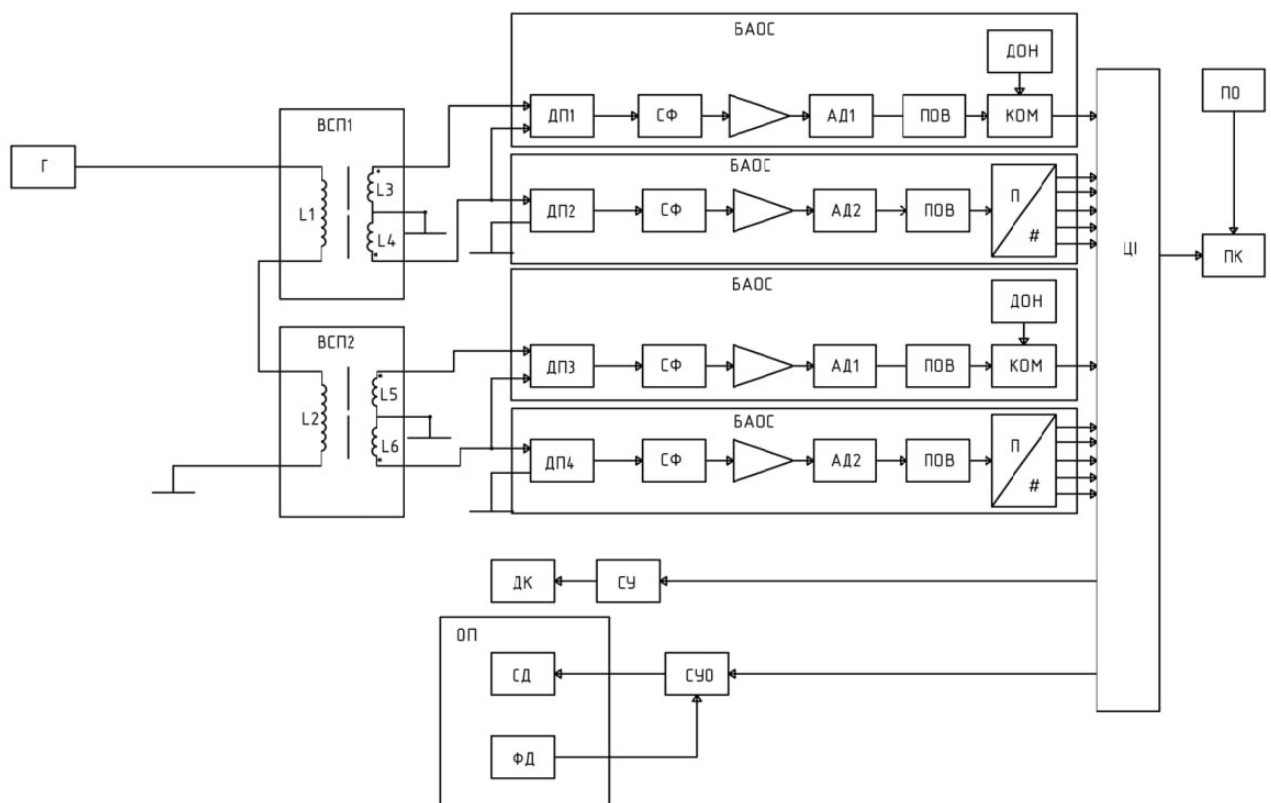


Рис. 3.1 Структурна схема автоматизованої системи ВСК поршневих пальців  
На рис. 3.1 використано такі позначення:

- Г – генератор сигналів;
- ВСП – вихрострумний перетворювач;
- ДП – диференціальний підсилювач;
- СФ – смуговий фільтр;

ПОВ – повторювач напруги;  
КОМ – компаратор;  
ДОН – джерело опрної напруги;  
АД – амплітудний детектор;  
БАОС – блок аналогової обробки сигналу;  
ЦІ – цифровий інтерфейс;  
ПК – персональний комп'ютер;  
ДК – двигун кроковий;  
СУ – схема управління двигуном;  
ОП – оптопара;  
СД – світлодіод;  
ФД – фотодіод;  
СУО – схема управління оптопарою.

Схема повинна забезпечити в автоматичному режимі виконання таких основних функцій:

- подачу ОК в зону контролю;
- виявлення дефектів типу тріщин неприпустимих розмірів;
- оцінювання діаметра ОК;
- формування та збереження протоколу контролю;
- управління механічними елементами системи та режимом збору інформації;

Особливістю схеми є те - що використовуються два ВСП, ВСП1 утворений первиною обмоткою з індуктивністю  $L_1$  і вторинною яка складається з двох вимірювальних котушок  $L_3$  та  $L_4$ , ВСП2 в свою чергу, утворений первиною обмоткою  $L_2$  і вторинними вимірювальними котушками  $L_5$  та  $L_6$  включених на зустріч. Отримувані з кожного ВСП сигнали поступають на вимірювальні канали двох типів, призначених для розв'язання різних завдань контролю.

### 3.1.1. Вимірювальний канал першого типу

В цьому каналі використовується диференціальне включення вимірювання котушок L3 та L4 (або котушок L5 та L6 ). Канал призначений для виявлення дефектів типу тріщин. Структуру каналу показано на рис. 3.2.

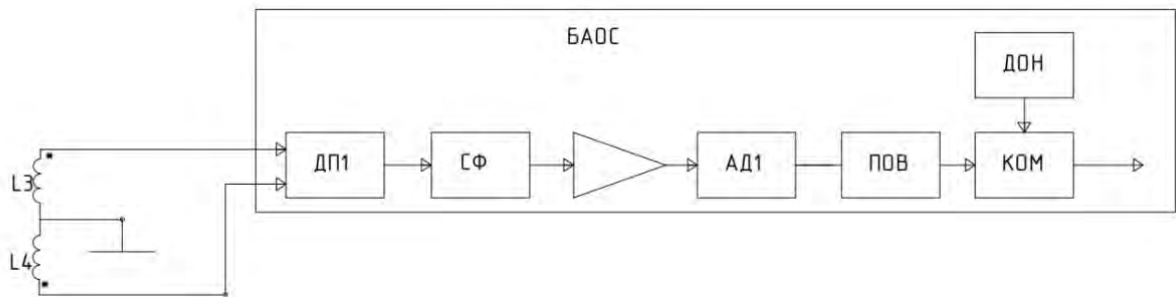


Рис. 3.2. Структурна схема вимірювального каналу першого типу для виявлення дефектів типу тріщини

Різницевий сигнал з котушок індуктивності L3 та L4 поступає на вхідний пристрій, в якому відбувається його попереднє підсилення. Смуговий фільтр призначений для зменшення рівня шумів і підвищення відношення сигнал/шум. Після фільтрування сигнал підсилюється детектується в детекторі Д та надходить на перший вхід компаратора, в той час, як на його другий вхід поступає постійна напруга з джерела ДОН. Ця напруга відповідає амплітуді сигналу від дефекту типу тріщина гранично допустимого розміру з урахуванням сумарного коефіцієнту підсилення сигналу в інформаційному каналі. Сформований на виході компаратора бінарний сигнал поступає на цифровий інтерфейс і далі на персональний комп'ютер.

### 3.1.2. Другий тип каналу

Канал використовують ВСП абсолютного типу, цей канал розроблений для вимірювання зазору між об'єктом контролю і датчиком. Цей канал зображений на рис. 3.3.

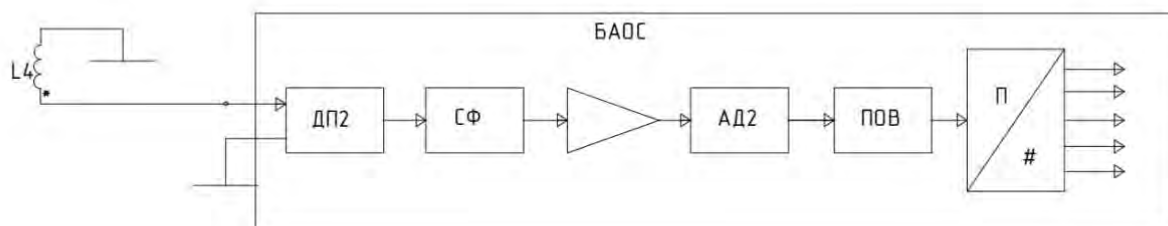


Рис. 3.3. Структурна схема вимірювального каналу другого типу ВСК для оцінювання діаметра ОК.

Для визначення діаметру використовують знайдені два зазори і значення бази на яких установлені два ВСП. Від бази відняти подвійний зазор дасть значення діаметру.

Котушки  $L_1$  та  $L_2$  включенні диференціально в першому каналі, а в другому каналі використовується тільки котушка  $L_2$

Встановлений блок генератора забезпечує формування відповідного сигналу на котушках. Блок двигуна керується схемою управління в котра подає сигнал на двигун, та задає йому відповідну швидкість обертання. Схема управління в свою чергу отримує сигнал від цифрового інтерфейсу. Також в системі розміщена оптопара котра відповідає за початок контролю та закінчення сканування. Вона складаються з світлодіода і фотодіода. Оптопара розміщена на початку об'єкта контролю біля датчика ВСП, коли на оптопарі зникає сигнал це фіксує плата управління і передає команду на цифровий інтерфейс про початок контролю і запису сигналу з ВСП, коли ВСП виходить на останню точку контролю на ОК, на оптопарі з'являється сигнал, що відповідає команді зупинці сканування та запису сигналу з ВСП. Детектор положення на основі оптопари допомагає створити якісний збір інформації підчас сканування.

Данні з сканування відтворюються на персональному комп'ютері де детально можна дізнатися про наявність дефекту.

## 3.2 Структурний розрахунок системи ВСК

### 3.2.1 Розрахунок механічної частини системи

На рис. 3.4. приведено механічна частина системи подачі деталі в зону контролю.

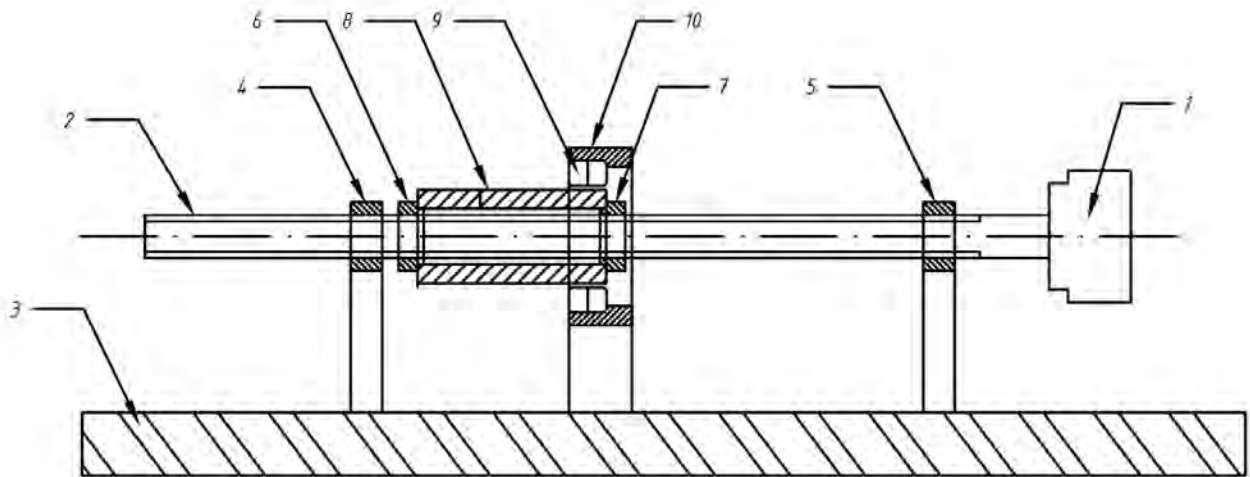


Рис. 3.4. Механічна частина системи ВСК

На рис. 3.4. використано такі позначення:

- 1 - Електродвигун
- 2 - Вал з різьбою
- 3 - Металева основа (підставка)
- 4, 5 - Зафіксована гайка для поступального руху
- 6, 7 - Фіксувальна гайка для об'єкту контролю
- 8 - ОК поршневий палець
- 9 - Накладні ВСП
- 10 - Обід фіксуєчий ВСП

В даній схемі використовується одночасно обертальний та поступовий рух об'єкту контролю. Поступальний рух виконується за допомогою валу з різьбою та двох зафіксованих гайок, за допомогою цього механізм рухається в заданій площині.



Обертальний рух реалізований за допомогою валу та двох фіксуючих гайок, гайки обжимають ОК та за рахунок тертя обертаються зі швидкістю валу. На фіксуючих гайках присутні прорезинені виступи котрі відцентровують ОК.

Самі ВСП нерухомі , вони статично закріплені в одному положенні за допомогою циліндричного обода з канавками в котрому розміщуються по два ВСП зверху та два ВСП знизу.

Сканування відбувається за рахунок руху самого ОК. Сканування відбувається по гвинтовій траєкторії захоплюючи всю площу поршневого пальця. Довжина вала може регулюватись , тобто можна використовувати для сканування різні по довжині пальці . Обод якому фіксуються датчики ВСП також може регулюватись, що дозволяє використовувати для сканування пальці різних діаметрів.

Вся система є розбірною, для початку роботи потрібно визначитись з діаметром та довжиною об'єкту контролю , підігнати під діаметр обод з датчиками ВСП, закрутити вал у праву зафіксовану гайку. Відповідно довжині ОК , вибрати місце на валу в якому буде кріпитись об'єкт контролю, зафіксувати його двома гайками та розмістити всередині ободу з ВСП , вкручуючи вал в ліву зафіксовану гайку. Потім відкалібрувати закручуванням стартову позицію валу з ОК.

Матеріали з котрих виготовлені компоненти системи , можуть бути полімерів та надруковані на 3D принтері , що значно облегшує заміну деталей та дає можливість для друку різних за геометричними розмірами валів та фіксуючих елементів

Під час роботи в режимі пошуку тріщин, ВСП захоплюють 2 мм ширини що дозволить з високою точністю просканувати будь-який ОК.

Для вибору двигуна зробимо механічні розрахунки.

Двигун обертальним рухом повинен забезпечувати рух ОК в горизонтальній площині та зберігати обертання, візуалізація траєкторії

сканування рис. 3.5. Отже накладний датчик на ОК отримує гвинтову траєкторію сканування. Область(ширина) контролю рівна 2мм

$$w = 2 \text{ мм};$$

Обираємо допустиму швидкість контролю, яка рівна

$$v = 0.02 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

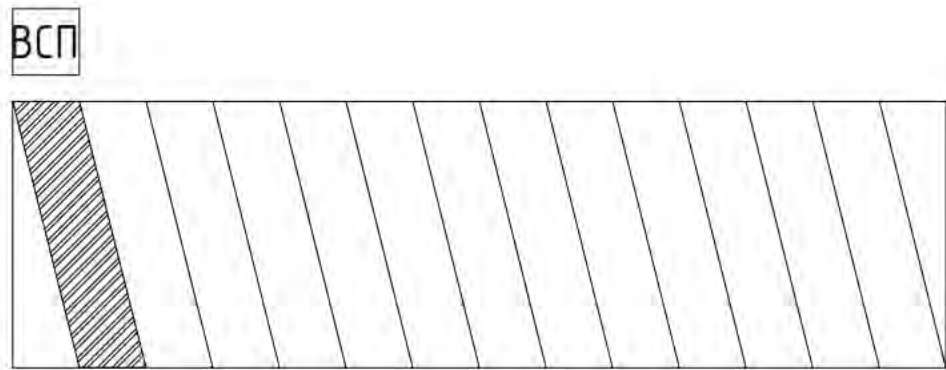


Рис. 3.5. Візуалізація траєкторії сканування поверхні ОК

Знайдемо частоту обертання двигуна для режиму сканування. Спочатку знайдемо довжину гвинтової траєкторії для повного оберту  $l_{об}$ :

$$l_{об} = \sqrt{2\pi R^2 + 2w^2};$$

де  $w$ - область контролю;

$$l_{об} = \sqrt{31.4^2 + 4^2} = 31.65 \text{ мм};$$

Знаючи що датчик сканує по 2 мм/с; можемо знайти скільки потрібно часу на повний оберт  $t_{об}$ :

$$t_{об} = l_{об}/v;$$

де  $l_{об}$ - довжина траєкторії повного оберту;

$v$ - швидкість контролю;

$$t_{об} = \frac{31.65}{20} = 1.5827 \text{ с};$$

Знаючи ці данні можемо встановити що двигун повинен обертатися з швидкістю  $v_d$ :

$$v_d = \frac{60}{1.5827} = 38 \text{ об/хв};$$

Вибираємо двигун моделі NEMA 16 57HS11230A4 [13].

### 3.2.2 Розрахунок електричної частини системи

Наступним кроком визначаємо обсяг пам'яті потрібний для того щоб запам'ятати у вхідному каналі дані. На рис. 3.6 показана розгортка сканування.

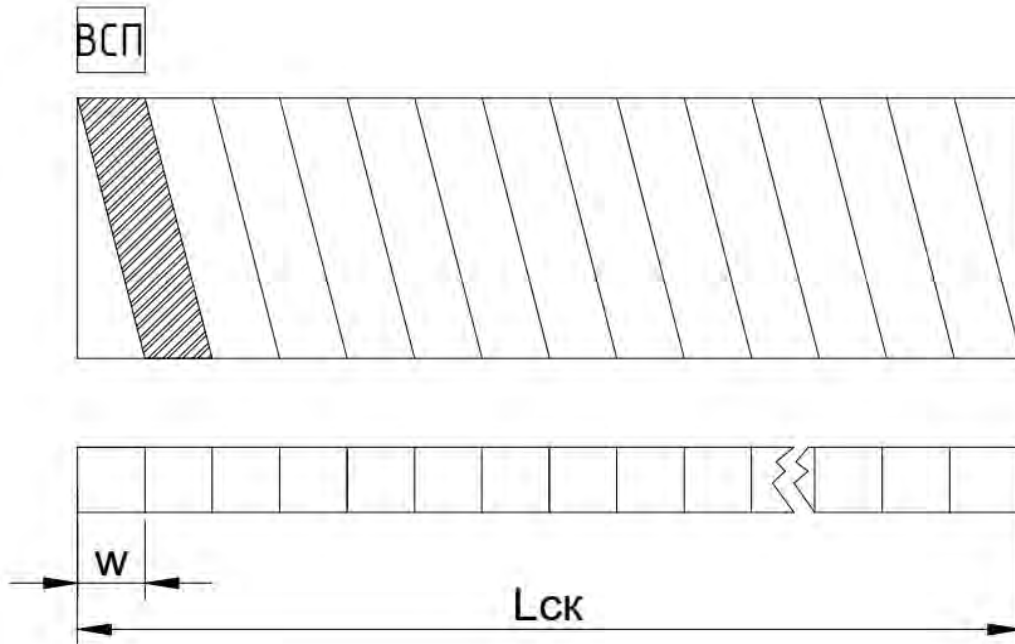


Рис. 3.6. Розгортка траєкторії сканування

Спочатку знайдемо траєкторію сканування  $L_{ск}$ :

$$L_{ск} = l_{об} \cdot \left(\frac{l_{ок}}{2}\right);$$

де  $l_{об}$ - довжина траєкторії повного оберту;

$l_{ок}$ - довжина об'єкту контролю;

Для  $l_{ок} = 100$  мм, траєкторія сканування  $L_{ск}$  відповідає:

$$L_{ск} = 31.65 \cdot \left(\frac{100}{2}\right) = 1582.5 \text{ мм};$$

Визначаємо кількість точок контролю  $N_{від}$ :

$$N_{від} = L_{ск}/w_{од};$$

де  $w$ - область контролю за одиницю часу;

$$N_{\text{від}} = \frac{1582.5}{20} = 80;$$

Отже, для поршневого пальця діаметром в 10мм та довжиною 100мм, нам потрібно буде записати 792 точки вимірів у пам'ять.

Фіксування дефекту відбувається за рахунок компаратора, котрий налаштований такий чином, що сигнал в точці контролю більше 1мВ це дефект, все що менше – пропускається, як не дефект. Для кращого результату порівняння дефекту, підсилюємо компаратор до 1В.

Для вибору АЦП потрібно виконати дві умови [15]. Перша умова це забезпечити необхідної точності перетворення  $\Delta n$ , котра отримується з кількості двійкових розрядів на виході кожного АЦП. Для нашого випадку вибираємо 10 двійкових розрядів  $n$  :

$$\Delta n = 1/2^n 100\%;$$

$$\Delta n = \frac{1}{2^{10}} 100\% = 0.1\%;$$

Тоді, відповідно кількість розрядів  $N$  буде розраховуватись:

$$N = \log\left(\frac{1}{0.1}\right) = 10;$$

Виходячи із розрахунків, для АЦП необхідно забезпечити мінімум 11 розрядів

Другою умовою, слугує забезпечення потрібної швидкодії перетворення сигналів, які визначаються з умови теореми Котельнікова.

$$f_a \geq 2f_{max};$$

Відповідно цій теоремі частота дискретизації  $f_a$  повинна вибратись з умови:

$$f_a > 10f_{max};$$

Частоту дискретизації вибираємо з умови руху 20мм/с, за такої частоти може відбуватись модуляція сигналу 200 Гц, для того щоб не пропустити дефект частота квантування має бути більшою 2000 Гц, для запасу вибираємо частоту в 5000 Гц.

Виходячи з отриманих параметрів при розрахунках можна обрати АЦП типу К1113ПВ1 [14], яка має такі характеристики (табл. 3.1):

Табл. 3.1 Характеристики АЦП

Число розрядів, N	10
Інтегральна нелінійність, $\delta_H$	2
Абсолютна похибка, $\delta_{ПШ}$	1
Диференціальна нелінійність, $\delta_{дн}$	1
Час перетворення, $t_{пр}$ мкс	25
Опорна напруга, В	10,24
Вихідні логічні напруги	ТТЛ

Наступний кроком вибираємо генератор який забезпечує формування сигналу частотою 1.16 МГц із напругою в 1.77 В. Таким генератором є «Універсальний генератор сигналів Rigol DG5352 [16]».

Далі розрахуємо підсилювачі:

Сигнал з вхідного пристрою досить низький та рівний  $9.57 \cdot 10^{-3}$  В для АЦП сигнал повинен бути на рівні 1 В

Для цього на вхідному пристрої оцінимо сигнал, маємо справу з високочастотним сигналом в 1.16 МГц тому вибираємо високочастотний підсилювач з частотою роботи в 100 МГц та коефіцієнтом підсилення  $K_1= 5$ .

Також додаємо малошумний підсилювач з коефіцієнтом підсилення  $K_2= 10$ .

Після амплітудного детектора вибираємо підсилювач з коефіцієнтом підсилення  $K_3= 10$ .

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3;$$

$$K = 5 \cdot 10 \cdot 10 = 500;$$

Загальне підсилення в  $K = 500$  ідеально підходить для опрацювання сигналу АЦП

### 3.2.3 Розроблення електрично-принципальної схеми вимірювального каналу системи ВСК та вибір елементної бази

Згідно структурній схемі розробляємо електрично-принципальну схему системи ВСК

Першим елементом підберемо та розрахуємо диференціальний підсилювач (рис. 3.7.):

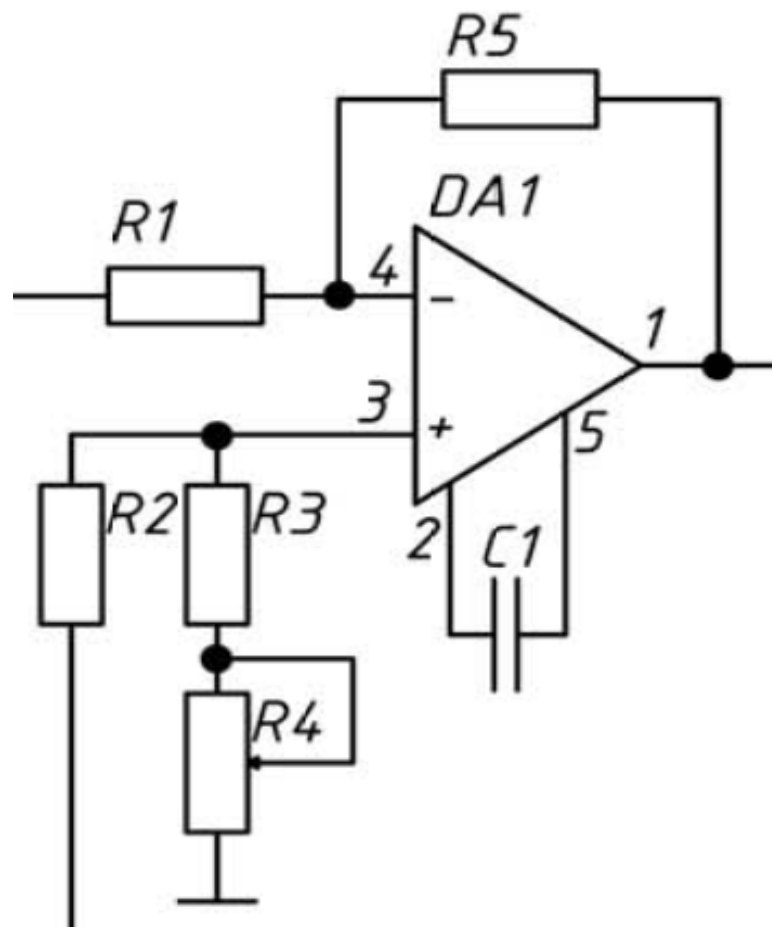


Рис. 3.7. Диференціальний підсилювач

$C_c = 7$  пФ - коригуюча ємність;

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 1000$  Ом;

$$U = K_1 \cdot U_{вх1} \cdot \frac{R_2}{R_1} + K_1 \cdot U_{вх} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 0.14 \text{ В};$$

Вибираємо підсилювач AD8021 [7] це малошумний, високошвидкісний підсилювач для 16-бітних систем.

Наступним елементом системи розрахуємо смуговий фільтр зображений на рис. 3.8:

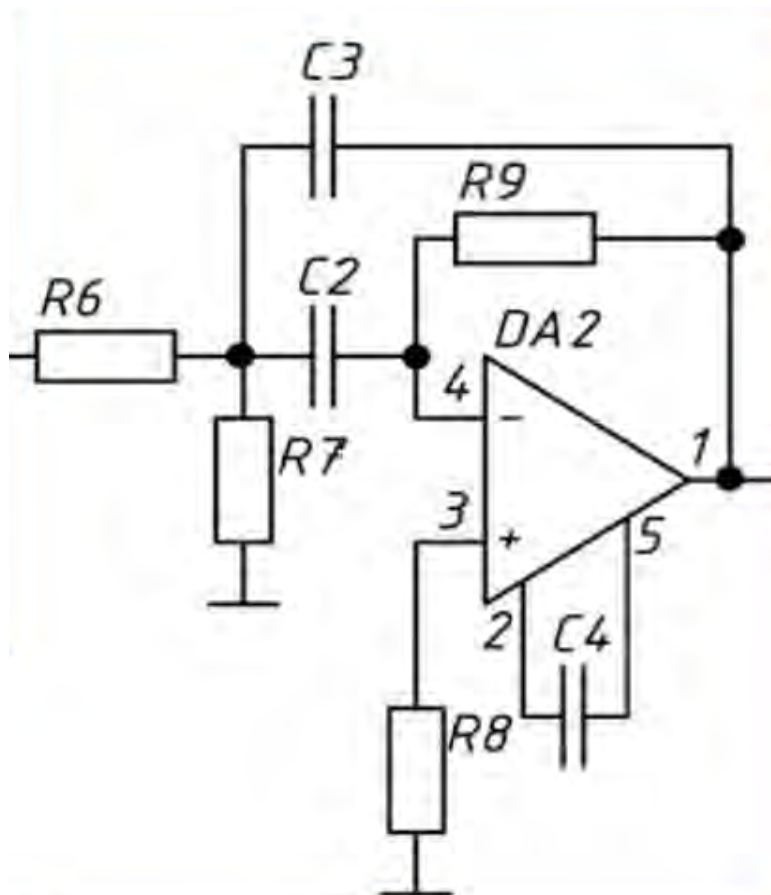


Рис. 3.8. Смуговий фільтр

Беремо граничні значення на 10% більше/менше нашої частоти 1.16 МГц

$$f_1 = 1.05 \text{ МГц};$$

$$f_2 = 1.27 \text{ МГц};$$

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = 1.155 \text{ МГц};$$

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = 14.1;$$

$$C = C_1 = C_2 = 1 \text{ нФ};$$

$$R_6 = \frac{Q}{2\pi \cdot f_0 \cdot C \cdot K_{\text{CF}}} = 1.94 \text{ кОм};$$

Використаємо резистор номіналом 2кОм  $\pm$  5%.

$$R_7 = \frac{Q}{2\pi \cdot f_0 \cdot C \cdot (2 \cdot Q^2 - K_{\text{CF}})} = 4.9 \text{ кОм};$$

Використаємо резистор номіналом  $5\text{кОм} \pm 5\%$ .

$$R8 = R9 = \frac{2Q}{2\pi \cdot f0 \cdot C} = 3.9\text{кОм};$$

Використаємо резистор номіналом  $4\text{кОм} \pm 5\%$ .

Наступним елементом розрахуємо амплітудний детектор зображений на рис. 3.9:

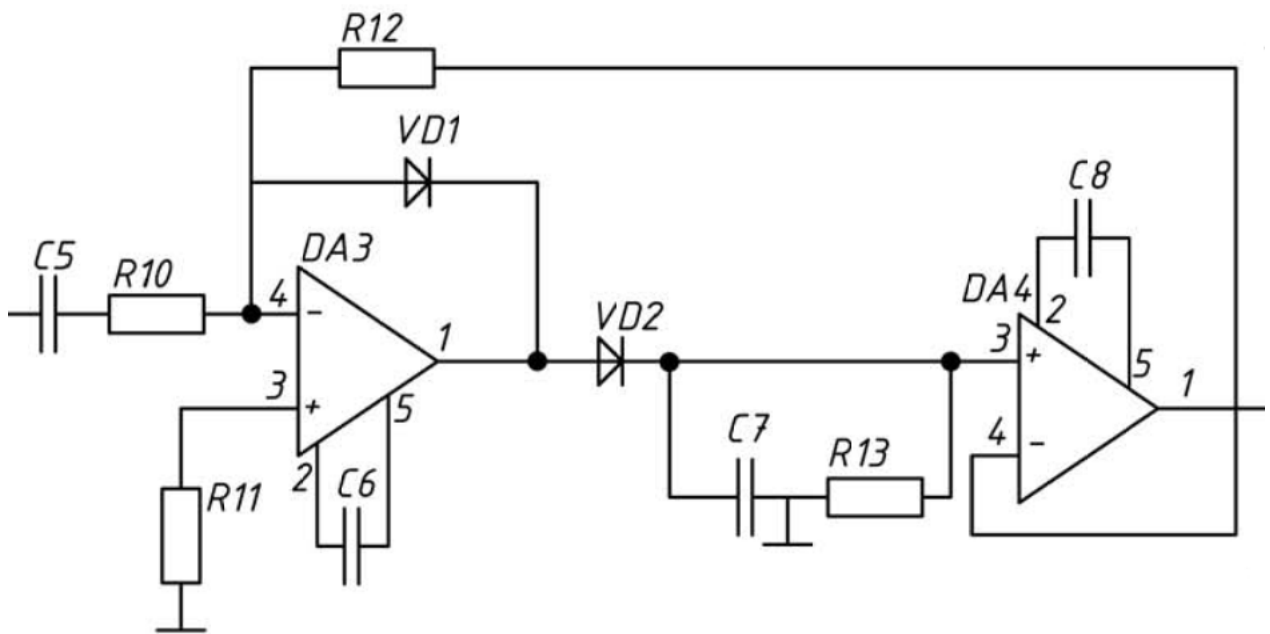


Рис. 3.9. Амплітудний детектор

$$R11 = 10\text{кОм};$$

$$R12 = 10\text{кОм};$$

$$R13 = 5\text{кОм};$$

$$R14 = 2\text{кОм};$$

$$C5 = \frac{10}{2\pi \cdot f0 \cdot R10} = 13\text{нФ};$$

$$C8 = \frac{1}{4 \cdot f0 \cdot 100} = 2\text{нФ};$$

Після виберемо мікросхему яка слугуватиме нашим компаратором.



Мікросхема LM393 [17] для цього цілком підходить, зображена на рис. 3.10.

Має у своєму корпусі два незалежні компаратори напруги. Цей компаратор може житися від однополярного джерела напруги, а також і від двополярного. Є різниця від джерел живлення в тому, що при підключенні двополярного різниця між потенціалами повинна варіюватися в межах 2-36 В.

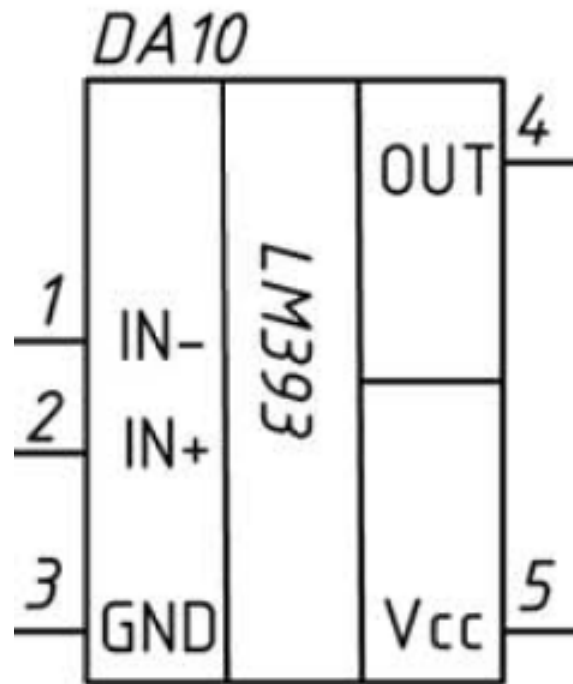


Рис. 3.10. Схема компаратора LM393.

### 3.3 Розроблення алгоритму роботи системи ВСК поршневих пальців

Алгоритм роботи системи складається з таких частин як вибір режиму сканування, генерація сигналу на ВСП, фіксація що ОК знаходиться в зоні контролю, калібрування, проведення сканування, обробка сигналу, фіксація про те що ОК покинув зону контролю, визначення відхилень та дефектів, виведення результатів.

#### 3.3.1 Вибір режиму сканування

На персональному комп'ютері у програмному середовищі вибирається тип сканування - сканування дефектів або розрахунок діаметру ОК. Вибраний тип

подає на цифровий інтерфейс сигнал який формує команду для того щоб, включити ВСП диференціально – пошук дефектів (тріщин), або одиночному режимі для діаметру.

### 3.3.2. Генерація сигналу

На генераторі сигналів, задаються розраховані параметри сигналу, які подаються на ВСП та запускають систему, подаючи сигнали на схему управління запускають роботу двигуна. ВСП переходять в режим очікування старту контролю, а саме запису даних.

### 3.3.3. Фіксація ОК в зоні контролю

Для старту контролю система має зафіксувати, що ОК в зоні контролю ВСП, і далі подати команду на старт запису даних з ВСП. Датчики оптопари фіксують, що ОК в зоні контролю, далі подають сигнал на цифровий інтерфейс, який починає запис даних.

Калібрування: проводиться перше сканування та тестовому зразку (більш детально про методику калібрування буде описано в пункті 3.4). Після калібрування проводяться аналогічні дії з ОК

### 3.3.4. Проведення сканування

Кроковий двигун створює рук ОК який сканується по гвинтовій траєкторії, відбувається збір інформації (амплітуд сигналів) яка підсилюється та опрацьовується АЦП та записується у пам'ять.

### 3.3.5. Фіксація ОК покинув зону контролю

На оптопарах відбувається зміна сигналу коли ОК вийшов із зони контролю, сигнал на схемі управління подається на цифровий інтерфейс, на якому в свою чергу, відпрацьовує переривання запису сигналу з ВСП. Далі подається сигнал-команда на кроковий двигун, про зупинку.

### 3.3.6. Визначення відхилень та дефектів:

Записана інформація опрацьовується, порівнюється цифровим компаратором та визначається який сигнал дефект.

### 3.3.7. Виведення результатів

Підготовлений та оброблений сигнал опрацьовується програмно, де проводиться градувальна характеристика, яка дає змогу перерахувати амплітуду сигналу у зазор або у діаметр якщо режим сканування пошук діаметру. З сигналу інтерпретується в точки  $Y$   $X$  де по  $X$  ділянка ОК а по  $Y$  значення зазору. Сигнал фільтрується від шумів та візуалізується в графік який виводиться на персональному комп'ютері.

### 3.4 Опис алгоритму калібрування системи

Для коректної роботи системи вона повинна бути відкалібрована на тестову зразку. Тестовий зразок (рис. 3.11.) складається з циліндричного валу, який має п'ять різних діаметри з кроком в 2 мм та канавкою яка симулює тріщину.

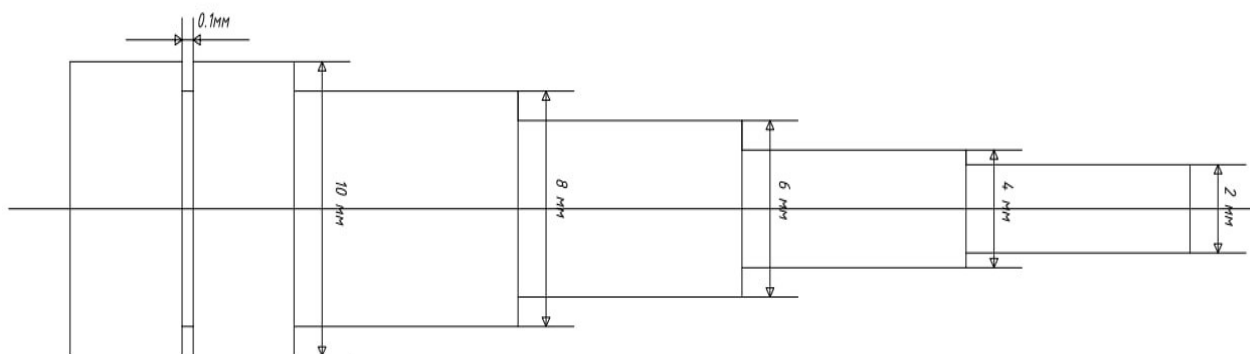


Рис. 3.11. Зображення тестового зразка для калібрування каналу вимірювання діаметру

Беремо калібрувальний зразок, замість контрольованої деталі та знімаємо сигнали. Від дефекту сигнали різних ділянок з різними діаметрами, що дає змогу скорегувати значення бракувального рівня і градувальної характеристики. Далі з вихідної інформації можемо визначити абсолютне значення діаметру через градувальну характеристику. Зображення вихідного сигналу зображене на рис. 3.12.

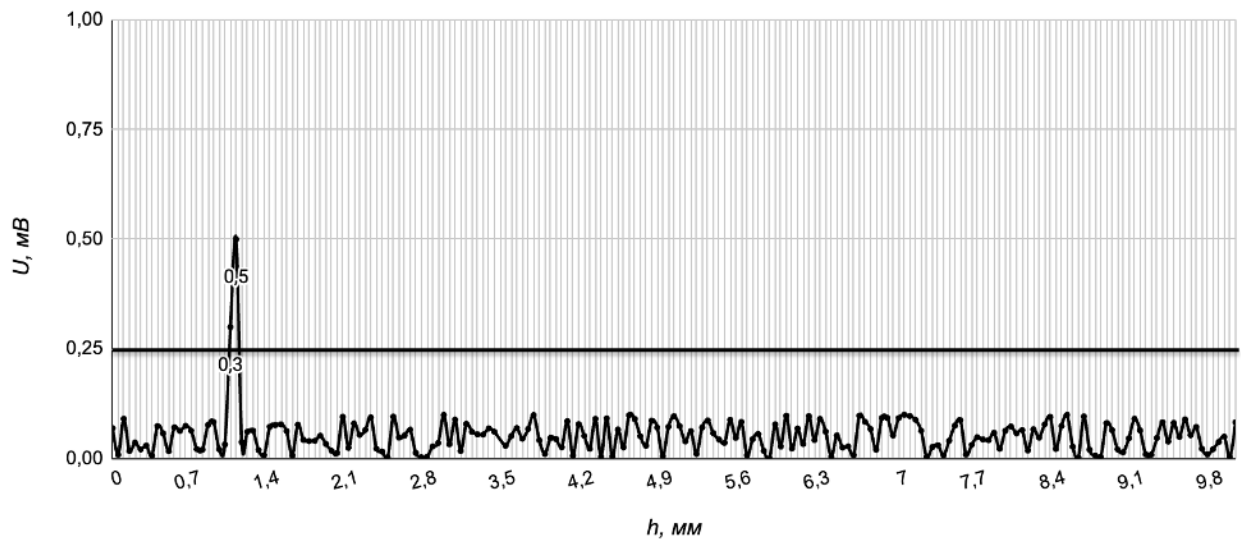


Рис. 3.12 Приклад реалізації сигналу по першому каналі вимірювання дефекту

На компараторі встановлюється який рівень сигналу вважається дефектом а який пропускається, на рис. 3.12. рівень дефекту відповідає 0.25 В, все що більше цього рівня це дефект.

За графіком можна зробити висновки що дефект знаходиться в зоні 1 мм та 1.2 мм. Знаючи на тестовому зразку глибину дефекту, можемо зробити відношення відомої глибини до результату напруги в області дефекту, таким чином при контролі нас буде відомий коефіцієнт по якому можна визначати глибину дефекту. Аналогічний вивід для другого каналу рис. 3.13.

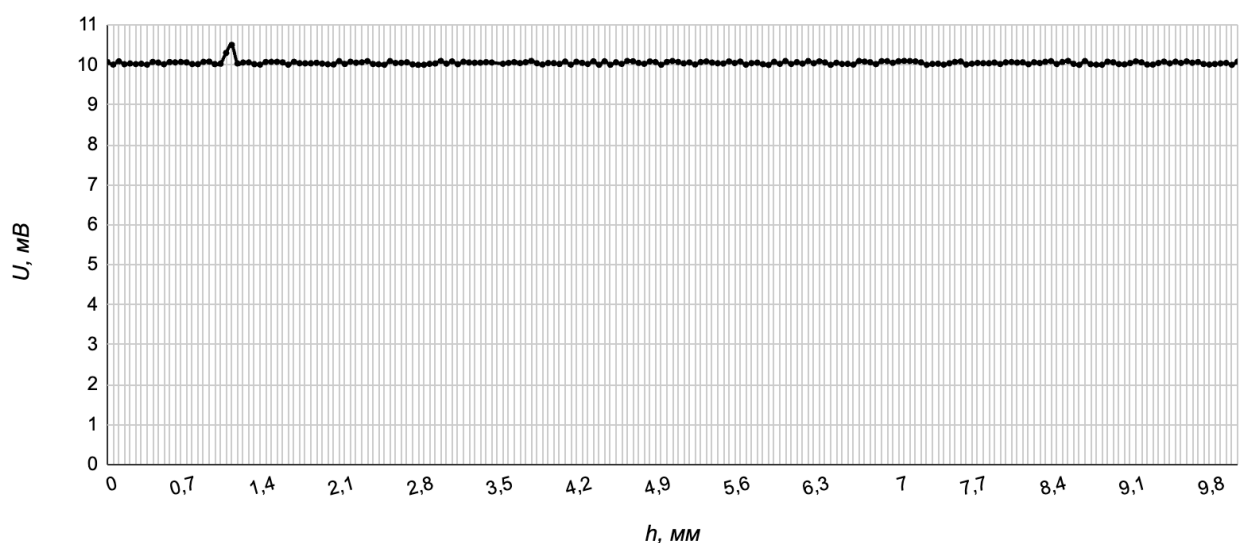


Рис. 3.13. Приклад реалізації сигналу по другому каналі вимірювання діаметру

За аналогією до рисунку 3.12., можна виділити ділянку зі зміною діаметра, та знаючи діаметр тестового зразка в діапазоні 1 – 1.2 мм можна, вивести відношення напруги до розмірів діаметра. Та при наступних тестуваннях використовувати цей коефіцієнт.

### **Висновки**

1. В данному розділі було розглянуто та розраховано структурну схему автоматизованої системи ВСК для контролю поршневих пальців. Структурній схемі описали роботу кожного блоку системи, окремо їх розрахували. Провели розрахунок АЦП та підсилювачів для забезпечення відповідним вхідним параметрам.

2. Також було розроблено фізичну схему в якій було описано про матеріали котрі використовуються для виготовлення системи. Та геометричне розміщення блоків системи для коректної роботи механізму.

3. Описали покроковий алгоритм роботи системи, де чітко встановили актуальність всіх блоків структурної схеми.

4. Окремо було розроблено методику калібрування, котра використовуючи градувальну характеристику, яка стандартизована під різні типи сканування, а саме пошук дефектів та визначення діаметра, що значно спрощує інтерпретацію даних сингалу в геометричні дані ОК.

## 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

### «Автоматизована вихрострумова система контролю поршневих пальців в процесі відновлювального ремонту»

#### 4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проєкту

В попередніх розділах було описано вплив системи на розвиток та використання вихрострумового контролю у відновлювальному ремонті, використання автоматизованих систем у машинобудуванні та їх обслуговуванні. В цьому розділі проводиться аналіз стартап проєкту «Автоматизована вихрострумова система контролю поршневих пальців в процесі відновлювального контролю»

Головна ідея проєкту включає у створені системи принцип якої буде базуватись на вихрострумовому контролі , та яку можна автоматизувати для збільшення об'єму контролюючих деталей , а саме поршневих пальців у відновлювальному ремонті. Система повинна зменшити час на обслуговування одного двигуна ДВЗ тим самим збільшити кількість відновлених двигунів за одиницю часу. Ідею наведено в таблиці.

У таблиці 4.1 міститься зміст та можливі основні потенційні ринки, в рамках яких будуть пошуки сегментів потенційний (зацікавлених) клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Забезпечити автоматизований контроль в промислових виробництвах, де використовуються двигуни з поршневим механізмом	Промислові виробництва	Забезпечення автоматизованого контролю поршневих пальців сприяє підвищенню ефективності та надійності обладнання, що призводить до зменшення

		часу простою та економії ресурсів
Використання системи для контролю стану поршневих пальців під час технічного обслуговування і ремонту механізмів , які використовуються у великому спектрі обладнання	Технічне обслуговування і ремонт	Отримання інформації про точний стан поршневих пальців , полегшує процес технічного обслуговування, сприяє своєчасному виявленню потенційних проблем і запобіганню серйозним поломкам
Застосування системи в енергетичній галузі для контролю і підтримки ефективності роботи поршневих пальців дизельних генераторів електростанцій	Енергетична промисловість	Контроль стану обладнання та передбачення його планового ремонту , забезпечення підвищення виробництва електроенергії та зниження витрат на експлуатацію
Система використовується для моніторингу поршневих пальців у компресорах та насосах	Нафтогазова промисловість	Підтримка ефективності компресорів та насосів забезпечує стабільну роботу обладнання та зниження ризиків аварій
Контроль поршневих пальців у двигунах транспортних засобів	Автомобільна промисловість	Забезпечення надійності та ефективності двигунів сприяє покращенню технічних характеристик автомобілів, зменшенню споживання пального і зниження витрат на експлуатацію
Контроль поршневих пальців у двигунах судноплавних засобів	Суднобудівна промисловість	Визначення рівня зносу для запобіганню критичних поломок

Контроль поршневих механізмів у дизельних локомотивах	Локомотивне обслуговування	Стабільність роботи , та планування часу роботи локомотива перед капітальним ремонтом
---	----------------------------	---

Отже, пропонується спосіб контролю який можна використовувати у великому спектру галузей , завдяки автоматизованому контролю це корисно як для дрібних так і для великих підприємств, а за рахунок вихрострумовеого контролю можна з високою точністю отримувати точні результати про стан поршневих пальців, що зможе з економити великі кошти, вберегти від простоїв на виробництві та пришвидшити виявлення дефектів при ремонті.

Наступним кроком проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначити перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів та товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проєкту, а також проєктів-конкурентів відповідних до вище визначеного переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нетральних характеристик ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проєкт	NDT Tech Solutions [18]	DIEX [19]	Olympus [20]			



1.	Вартість програмного забезпечення	10	1	1	1	-	-	+
2.	Ціна послуг	10	1	1	1	-	-	+
3.	Термін інтеграції системи	9	2	2	3	-	+	+
4.	Досвід у розробці комплексних систем	1	10	10	10	+	-	-
5.	Спектр застосувань	5	10	7	8	-	+	-
6.	Вартість технічних складових	10	1	1	1	+	-	-
7.	Вартість обслуговування	10	1	1	1	-	-	+
8.	Можливість контролю в складних умовах	5	6	8	10	+	-	-
9.	Точність вимірів	5	10	10	10	-	+	-
10.	Розширення системи	1	10	10	10	+	-	-
11.	Кваліфікація людини яка проводить контроль	4	8	10	10	-	-	+

Отже, якщо провести аналіз по вартості програмного забезпечення та послуг, мій проєкт в сотні разів дешевший за аналогічні системи конкурентів, це свідчить про конкурентоспроможність з точки зору економічної привабливості.

Також порівнянні термінів інтеграції системи, мій проєкт значно виділяється, оскільки простота системи дозволяє в короткий термін провести калібрування і бути готовою до роботи, коли в конкурентів більш складні системи котрі потребують великої кількості програмного забезпечення, самого підключення системи для правильного функціонування.

Зі сторони досвіду у розробці у конкурентів його більше, оскільки вони великі компанії з великим досвідом та технічною базою, це може вплинути на довіру клієнтів до їхніх продуктів.

Якщо брати до уваги, що підприємство має бажання розширити контроль на інші деталі та комплектуючі, тут у конкурентів переваги, оскільки, вони мають технології для контролю різних деталей та матеріалів.

На рахунок контролю в складних умовах, у конкурентів більш адаптовані системи під такі задачі, але при тому мій проєкт також має можливість працювати в таких умовах, але для цього потрібно враховувати, що систему прийдеться додатково відкалібрувати та враховувати можливі похибки.

При порівнянні точності вимірювань, мій проєкт дає точні результати в межах допусків, проте у конкурентів значно дорожчі та технологічні вимірювальні елементи, що дають перевагу у точності.

Також до плюсів можна віднести, що для проведення контролю моєю системою вистачає спеціаліста з базовими навичками по роботі з вихрострумом та комп'ютерним забезпеченням, коли в конкурентів, надзвичайно складні та технологічні проєкти котрі повинні обслуговувати спеціалісти з великим досвідом роботи в неруйнівному контролі, електрики, та програмісти.

Загалом мій проєкт демонструє конкурентоспроможність у багатьох аспектах.

В межах даного підрозділу проведемо аудит технології вихрострумової системи, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проєкту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Автоматизована компактна система котра працює на базі вихроструму та має можливість визначати наявність тріщин та знаходити діаметр ОК	Методи вихроструму в неруйнівному контролі	+	В легкому доступі
		Датчики ВСП	+	В легкому доступі
		Мікросхеми управління	+	В легкому доступі
		LED дисплей	+	В легкому доступі
		Електричні компоненти (напівпровідники)	+	В легкому доступі
		Програмне забезпечення	+	В легкому доступі
		Кроковий двигун	+	В легкому доступі
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Автоматизована компактна система котра працює на базі вихроструму та має можливість визначати наявність тріщин та знаходити діаметр ОК				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проєкт можна реалізувати доступними методами, при цьому не затративши колосальних коштів на розробку та виготовлення. Всі технології в доступності. Система має можливість модернізуватись та масштабуватись, оскільки даному вигляді проєкт

як основа для модифікацій. Для модернізації можна використовувати більш точніші, та дорожчі датчики, а для їх інтегрування буде достатньо в нести нові параметри в програмне забезпечення, та якщо потрібно замінити електричні компоненти на інші номінали.

#### **4.2. Розроблення стратегії та маркетингової програми стартап-проєкту**

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє розуміти зовнішні чинники, які можуть впливати на успішність проєкту та враховувати їх у процесі розробки та впровадження.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	> 500тис. грн/ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі витрати на вхід, наявність великих компаній, репутація проєкту.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Ринок вимагає від учасників відповідності певним стандартам та сертифікаційним вимогам
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Оцінюється на рівні 12% відсотків

Ринок має помірну конкуренцію, з трьома головними гравцями. Це може створити сприятливі умови для нового учасника, дозволяючи ефективно входити на ринок і консолідувати свої позиції.

Прогнозується, що ринок має значний обсяг продаж, перевищуючи 500 тис. грн на одиницю продукції. Це свідчить про потенційно великий ринок, на якому стартап може знайти своє місце.

Також, ринок виявляє стабільність, що є позитивним аспектом для стартапу. Технологічний прогрес і витрати на виробництво сприяють стійкому розвитку ринку.

Необхідно відмітити, що обмеження для нових учасників включають високі витрати на вхід, наявність великих компаній та важливість репутації проекту. Це важливо враховувати при розробці стратегії входу на ринок.

Ринок вимагає від учасників відповідності певним стандартам та сертифікаційним вимогам. Це може бути важливим фактором успіху та довіри споживачів.

Можна відмітити, що середня норма рентабельності в галузі оцінюється на рівні 12%, що може бути привабливим для інвесторів та підприємців, шукаючих високі показники прибутковості.

Отже, аналіз свідчить про те, що ринкові можливості для стартап-проекту існують, але важливо управляти обмеженнями та враховувати вимоги ринку для успішного впровадження проекту.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Автоматизований контроль поршневих пальців	Виробництва автомобілів, машинобудування	Різні галузі можуть мати відмінності у технічних вимогах та обсягах контролю	Висока точність вимірювань, швидкість обробки даних
2	Оптимізація процесу відновлення поршневих пальців	Сервісні центри, виробництва автозапчастин	Сервісні центри можуть акцентувати на надійності та легкості використання	Автоматизація, можливість інтеграції з іншими системами
3	Ефективний контроль та уникнення дефектів	Якісні відділи виробництв, інженерні служби	Інженери можуть цінувати розширені можливості системи контролю	Надійність, можливість моніторингу та аналізу даних

Отже, характеристика вказує на наявність значного ринкового потенціалу. Наявність різних цільових сегментів та різноманітність вимог може створити хороші умови для вдалого впровадження стартап-проєкту, підкреслюючи його ринковий потенціал і варіативність. Присутня можливість масштабуватись та розширювати проєкт функціоналом, щоб одною системою відповідати на всі ніші ринку.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6).

Котрі можуть негативно вплинути на пошук клієнтів зацікавлених в продукті. Головні з них будуть розглянуті. Даний аналіз зможе показати на що в першу чергу потрібно звернути увагу

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Нестабільність ринкових умов	Економічні коливання та нестабільність ринкових умов можуть вплинути на попит та прибутковість	Розробка гнучких стратегій управління витратами, розширення ринків збуту
2.	Технічні несправності	Можливість технічних неполадок або відмов системи	Розробка ефективної системи технічної підтримки, швидка реакція на виявлені неполадки
3.	Збільшення конкуренції	Поява нових конкурентів на ринку може призвести до зменшення частки ринку	Розробка стратегій маркетингу, підвищення якості та функціональності, зниження цін для збереження конкурентоспроможності
4.	Виток конфіденційної інформації	Загроза витоку важливої інформації, яка може завдати шкоди репутації проєкту	Посилення системи безпеки, регулярні аудити безпеки, навчання персоналу
5.	Вихід на ринок інших країн з іншим законодавством	Різниця в законодавстві може вимагати адаптації продукту до нових вимог	Глибоке вивчення місцевого законодавства, внесення змін для виходу проєкту на ринок

Отже, успіх стартап-проєкту буде залежати від здатності ефективно реагувати на ці фактори загроз та впроваджувати стратегії для їх мінімізації чи

використання в якості можливостей. Знаючи ці фактори можна провести аналіз та оцінити, де наявні проблеми у проєкті та намагаться їх вирішити до виходу на ринок. Зробивши це можна захистити себе від майбутніх проблем.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Глобальний ринок	Можливість виходу на глобальний ринок збуту	Розробка стратегії міжнародного розширення, адаптація продукту до вимог інших ринків
2.	Технологічний прогрес	Розвиток нових технологій, які можуть покращити продукт	Інвестування в дослідження та розробки, постійне оновлення продукту
3.	Ріст попиту на автоматизацію	Збільшення попиту на автоматизовані системи контролю	Розширення виробництва, підвищення маркетингової активності
4.	Партнерство з ключовими гравцями	Можливість встановлення стратегічних партнерств	Укладання партнерських угод, спільний розвиток нових проєктів
5.	Збільшення усвідомленості ринку	Ріст усвідомленості цільової аудиторії про продукт	Інтенсивна маркетингова кампанія, вивчення та адаптація до потреб клієнтів

Ця таблиця вказує на п'ять можливостей, які можуть сприяти успішному розвитку стартап-проєкту. За взаємодії з факторами загроз, компанія може створити стратегії, які використовують ці можливості для досягнення успіху та стійкості на ринку.

Також, корисно буде провести ступеневий аналіз конкуренції на ринку (табл. 4.8). Даний аналіз детально допоможе оцінити конкурентоспроможність проєкту.



Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції - олігополія	Обмежена кількість сильних конкурентів на ринку	Розробка стратегій співпраці та партнерства з іншими гравцями, контроль за цінами та якістю продукту
За рівнем конкурентної боротьби - глобальна	Змагання на глобальному рівні, не тільки в локальних ринкових сегментах	Міжнародний розширення, адаптація до різних законодавств та ринкових умов, гнучка стратегія маркетингу
За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкуренція в межах однієї галузі або сегмента ринку	Спеціалізація на унікальних аспектах галузі, пошук нішевих ринкових сегментів, інновації
Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Конкуренція між схожими товарами або послугами	Розвиток унікальних характеристик продукту, підвищення якості та функціональності
За характером конкурентних переваг - нецінова	Конкуренція заснована на якості, інноваціях, обслуговуванні тощо.	Зосередження на розвитку репутації, інноваційних технологій, покращенні обслуговування та підтримці клієнтів
За інтенсивністю – не марочна	Конкуренція характеризується високим рівнем змагань	Зосередження на розвитку маркетингових стратегій, інтенсивному просуванні продукту, вдосконаленні ефективності

Ця таблиця проводить ступеневий аналіз конкурентного середовища, вказуючи на особливості та їх вплив на діяльність підприємства. Це допоможе компанії розробити ефективні стратегії для підтримання конкурентоспроможності на ринку.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	NDT Tech Solutions, DIEX, Olympus.	Нові стартапи, які можуть входити на ринок з новаторськими рішеннями.	Без постачальників. Компанія власноруч виготовляє та постачає товари на ринок, для уникнення додаткових розходів	Клієнти це підприємства, котрі можуть рекомендувати продукцію.	Інші види неруйнівного контролю
Висновки:	Досить великі компанії з великою капіталізацією, але співпрацюють, в свою чергу з великими підприємствами, що дозволяє зайняти	Потенційні конкуренти це стартапи котрі знаходяться на етапі розробки, тому їм потрібно досить багато часу для виходу на ринок. Для	Так як весь продукт власного виробництва, компанія немає тиску та умов із сторони постачальника	Клієнти вказують на необхідний функціонал та технічні характеристики продукту	Можливі певні обмеження зі сторони інших методів контролю, проте для різних випадків наш проєкт має переваги в діагностиці

	ринок малих підприємств	нашого проекту хороша можливість входу в ринок			
--	-------------------------	--	--	--	--

З аналізу можемо підкреслити, щоб вийти на ринок, потрібно орієнтуватись на маленькі підприємства, за рахунок низької ціни за послуги в порівнянні з конкурентами є можливість бути більш привабливими. Потрібно ніякому разі не поступатись у якості великим компаніям-конкурентам та мати відповідний функціонал. Власне виробництво допоможе зменшити витрати на логістику та швидкість інтеграції продукту в системи клієнтів.

На рахунок клієнтів, позитивний фітбек про продукт дасть гарну репутацію та довіру на ринку. Покращення результатів у клієнтів дозволить наглядно прорекламувати ефективність проекту.

Проте слід зазначити, що для спільних за методами контролю підприємствах, вибір системи контролю може бути сконцентрований на ультразвуковому або капілярному. Тому слід орієнтуватись на підприємства які займаються тільки з діагностикою та ремонтом поршневих пальців (двигунів).

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Також наводяться чинники, котрі роблять фактори порівняння конкуруючих проектів важливими.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
-------	-------------------------------	---

1	Інноваційність	Здатність застосовувати нові технології та ідеї, що забезпечують переваги у якості, ефективності та функціональності.
2	Якість продукту	Висока якість продукту сприяє задоволенню клієнтів, зменшенню ризиків використання та створенню позитивного бренду
3	Ефективність виробництва	Забезпечення ефективного виробництва дозволяє знижувати витрати та пропонувати конкурентоспроможні ціни.
4	Гнучкість стратегій	Можливість швидко реагувати на зміни на ринку та адаптуватися до нових умов, що робить компанію більш стійкою.
5.	Маркетингова стратегія та позиціонування	Ефективна маркетингова стратегія та чітке позиціонування допомагають привертати увагу клієнтів та виокремлюватися серед конкурентів.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Автоматизована вихрострумова система контролю поршневих пальців в процесі відновлювального ремонту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	1							+
2	Велика кількість постачальників	20				+			
3	Висока якість	13				+			
4	Технічна підтримка	9				+			
5.	Ціна	20	+						

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності досить хороші, що свідчить про можливість конкурувати та займати відповідні сегменти клієнтів, орієнтуючись по ціні послуг за продукт. Звісно, конкурувати

в наявності патентів та технічній підтримці важко, оскільки конкуренти мають значні бюджети.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проєкту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низька ціна;</li> <li>2. Вільний ринок клієнтів-підприємств з обмеженим (не великим) бюджетом;</li> <li>3. Технологічність;</li> <li>4. Швидке інтегрування системи.</li> </ol>	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обмежений бюджет;</li> <li>2. Обмежений спектр діагностики та функціоналу;</li> </ol>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Партнерство з ключовими гравцями;</li> <li>2. Глобальний ринок;</li> <li>3. Технологічний прогрес.</li> </ol>	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поява нових конкурентів на ринку може призвести до зменшення частки ринку;</li> <li>2. Обмежений бюджет;</li> <li>3. Втрата потенційних клієнтів через недостатню технічну підтримку;</li> <li>4. Вихід на ринок нових інноваційних стартапів.</li> </ol>

Загальний SWOT-аналіз свідчить про те, що проєкт має перспективи, але для успішного розвитку необхідно ефективно вирішувати проблеми та максимізувати сильні сторони, ефективно управляти фінансовими та технічними обмеженнями, вдосконалювати продукт і використовувати можливості для розширення ринкової присутності. Інноваційність, низька ціна та технологічність можуть стати ключовими факторами успіху. Однак слід враховувати виклики, такі як обмежені можливості технічної підтримки та висока конкуренція на ринку.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Укладання договору з конкурентом щодо співпраці та обміну технологіями	70%	2,5 міс.
2	Укладання договору з партнерами для розширення партнерської діяльності	85%	1 міс.
3	Укладання договору з виробництвами для розширення асортименту	75%	0,5 міс.
4	Розширення компанії за рахунок залучення цінних кадрів	90%	0,5 р.

З зазначених альтернатив обираємо стратегію розширення компанії за рахунок залучення цінних кадрів, котрі зможуть розвивати в інноваційному та технологічному аспекті проект, масштабувати систему та інтегрувати нові методи, щоб залучити більший сегмент клієнтів, та відповідати поточним запитам ринку.

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

Таблиця 4.14. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ 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	Приватні промислові підприємства та компанії	Продукт потрібний	Високий	Помірна	Середня
<p>Які цільові групи обрано:</p> <p>Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.</p>					

За підсумками аналізу потенційних сегментів споживачів ми вибрали цільові сегменти, для котрих ми пропонуємо вихроструміву систему автоматизованого контролю поршневих пальців знайшли стратегію по охопленню ринку – це стратегія концентрованого маркетингу, де ми зосереджуємо весь маркетинг на одному сегменті, а саме компаніях які займаються ремонтом поршневих пальців.

Для роботи в обраному сегменті ринку споживачів необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*

Робота з компаніями вузько направленими потребами такими як ремонт та контроль двигунів	Стратегія спеціалізації	Найнижча ціна на ринку, швидке інтегрування, простота налаштування та UX	Стратегія концентрованого маркетингу
---	-------------------------	--	--------------------------------------

Отже, ми визначились з базовою стратегією ринку, якою виступає стратегія спеціалізації, котра передбачає фокус на потребах конкретного цільового сегменту або групи, без необхідності поширюватись на весь ринок. Робити акцент потрібно з компаніями які працюють з ремонтом двигунів та їх діагностикою, оскільки проєкт вузьконаправленого типу.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «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	Існують аналоги, які захоплюють ширший сегмент ринку, проте контроль поршневих пальців це як один із другорядних варіантів функціоналу	Так	Ні, не буде	У компаній у яких основна функція це контроль поршневих пальців, і яким не потрібний весь функціонал вихрострумового контролю, можна агітувати



				переходити на наш більш дешевший аналог
--	--	--	--	---

Головною ціллю шукати підприємства з обмеженим бюджетом і переманювати їх в наш проєкт за рахунок меншої ціни та простоти інтеграції та роботи з проєктом.

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

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
	Ціна, простота у роботі з проєктом, простота інтеграції в робочий процес та автоматизація його, надійність	Стратегія диференціації	Низька ціна, можливість розширювати функціонал, простота в роботі з проєктом, відсутність необхідності у спеціалістах для роботи з системою, тільки необхідний функціонал	Якість. Ціна. Простота налаштування та контролю поршневих пальців

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

### 4.3. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Низька ціна	Ціна товару за рахунок тільки необхідного і вузьконаправленого функціоналу значно нижча чим у конкурентів з великим функціоналом	Зацікавленість від дрібних та спеціалізованих компаній підприємств у більш дешевій системі
	Якість	Якісні комплектуючі, простота конструкції яка надає довговічність	Забезпечення довговічності в роботі
	Простота інтеграції	Не великий за розмірами прилад, який калібрується під різні види поршневих пальців	Зменшення часу на інтеграцію системи, відсутність простоїв, отримання кращого результату в продуктивності в максимально короткий термін.
	Простота в експлуатації	Опанувавши гайд по роботі з системою будь-який співробітник зможе опанувати в	Відсутність необхідності наймати спеціалістів, тим самим економія на цьому. Зменшення часу контролю.

	короткий термін як працювати з системою Присутня програмна інтерпретація сигналів в числові фізичні величини та автоматичний компаратор	
--	--	--

Визначивши основні переваги, потрібно при роботі з потенційними клієнтами робити на цьому головний акцент. В проєкта досить серйозні переваги, які дозволять отримати потенційних клієнтів і зайняти цю нішу

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизувати контроль поршневих пальців використовуючи вихрострум		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність	1.М	1.Вр
	2.Простота механізму	2.М	2.Тх
	3.Простота в роботі з системою	3.М	3.Тл
	4. Можливість калібрувати під різні матеріали та розміри ОК	4.Нм	4.Тх
	5.Компактність	5.Нм	5.Вр
Якість: відповідає нормам ДСТУ2499:2017			
Пакування: Протиударний бокс з паралоном з вирізом під компоненти системи. Мануал , електронний файл з драйверами та програмним забезпеченням для ПК			
Марка: Auto Test Piston Pin Sys			

III. Товар із підкріпленням	
	Після продажу, підтримка продукту випуск оновлень, та можливість розширення функціоналу.

Описано різні рівні товару, його комплектацію властивості, проведено аналіз. Вказано яка підтримка товару після продажу

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20. 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	Від 20000 – 300000 грн.	500 тис. – 1000 тис. грн.	До 500 тис. грн.	10000-50000 грн.

Наша система виділяється дешевизною і відповідає доходам цільової групи, за рахунок технологічності ми з легкістю можемо конкурувати з товарами-замінниками, що дає нам значну перевагу на ринку

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Підприємства державного та приватного сектору по ремонту двигунів,	Технічна підтримка, налаштування та інтеграція, встановлення програмного забезпечення	Ринок України та зарубіжжя	Конференції, веб-ресурс

	автомобільні сервісні центри			
--	------------------------------	--	--	--

Маємо великий сегмент потенційних клієнтів, є потужний та привабливий функціонал збуту, що приваблює клієнтів вибрати саме нашу систему. Відкриті ринки всього світу, що дозволяє працювати з більшою кількістю клієнтів.

Таблиця 4.22. 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	Орієнтування клієнтів на цінову характеристику, орієнтування на виділений бюджет, бажання автоматизувати робочий процес	Конференції, технологічні виставки, веб-ресурси	Автоматизована вихрострумова система для контролю поршневих пальців у відновлювальному ремонті	Показати ефективність системи, що саме вона необхідна підприємству, та показати що це найвигідніший варіант на ринку	Акцентувати увагу на вигідній ціні та функціональності системи

Під час розробки концепції маркетингових комунікацій було встановлено, що основною поведінки цільових клієнтів є пошук системи з високою тачністю автоматизованого контролю та низькою ціною.

Головними джерелами комунікацій є тематичні конференції, виставки також веб-ресурси і презентації. Для залучення уваги потенційних клієнтів робимо фокус на сильних сторонах проекту та дороговартості товарів-аналогів.

#### 4.4. Організація реалізації стартап-проєкту

В даному розділі описується аналіз та планування етапу реалізації автоматизованої вихрострумової системи контролю поршневих пальців у відновлювальному ремонті. Визначаємо організаційні питання, стратегії впровадження, які впливають на успіх проєкту.

Отримані результати приведено в табл. 4.23.

Таблиця 4.23. Команда стартап-проєкту

Учасник команди	Посада	Завдання, що необхідно виконати
Керівник	Керівник проєкту	Заклучення контрактів, підрахунок витрат, робота з постачальниками, керування командою та термінами виконання
Інженер-електрик	Інженер-електрик	Розробка в області апаратної частини проєкту
Програміст програмного забезпечення	Розробник	Розробка, оновлення ПЗ
Маркетолог	Маркетолог	Робота з рекламою та сервісами з просування, пошук конференцій

Наступним кроком, розробляємо розклад, котрим будемо відстежувати виконання поставлених завдань.

Розклад приведено в табл. 4.24.

Таблиця 4.24. Календарний план реалізації проєкту

№ п/п	Зміст етапу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Собівартість реалізації, тис. грн
1	Аналіз ринку	+												6
2	Проектування	+	+	+										15
3	Розробка ПЗ			+	+									50
4	Оптимізація					+								5
4	Тестування в бета-версії					+	+							10
4	Аналіз результатів							+						7
4	Залучення інвестицій								+	+	+	+		20
4	Рекламна кампанія											+		100
4	Звітування												+	5
Підсумок:														218

Виконання проєкту приблизно оцінюється в області 218 тис. грн. Ці результати дають приблизну оцінку на який бюджет потрібно орієнтуватися.

Проте потрібно залучати інвестиції до проєкту, це можливо реалізувати через тематичні виставки та конференції, де молоді стартапи демонструють свої проєкти спільноті інвесторів котрі можуть частково профінансувати проєкт.

Також не слід відкидати веб-платформи на яких відбуваються демонстрації проєктів і спільнотою через донати залучаються кошти в стартап, одною з таких слугує Kickstarter.

Наступним кроком необхідно скласти таблицю витрат на комплектуючі, котрі необхідні для виробництва.

Розрахунки для комплектуючих приведені в табл. 4.25.

Таблиця 4.25. Розрахунки комплектуючих

№ п/п	Витрати	Терміни	Вартість, грн
1	ВСП датчики	2 дні	1000
2	Основа приладу	5 днів	2000
3	Деталі кріплення	2 дні	300
4	Мікросхеми	4 дні	500
5	Набір для пайки	1 день	700
6	Розхідні матеріали	7 днів	2000
Підсумок			6500

Підсумувавши, для того щоб запустити у виробництво автоматизовану систему вихрострумовеого контролю поршневих пальців потрібно витратити 6500 грн. Але для запуску системи в серію потрібно залучати інвесторів, та в майбутній перспективі виробництво потрібно автоматизувати для отримання більших об'ємів.

#### 4.4. Висновки

1. Узагальнюючи проведений аналіз стартап проєкту можна зробити висновок що в розділі було детально розглянуто майбутню можливість застосування такого проєкту як автоматизована вихростумова система для контролю поршневих пальців у відновлювальному ремонті. Було проаналізовано, що проєкти такого напрямку і специфіки є дуже актуальними на сьогоденному ринку та досить перспективними у майбутньому. Проведений аналіз проєкту показав його потенційні сильні та слабкі сторони.

2. Інформативна карта дала можливість продемонструвати основну концепцію проєкту, скласти детальну та оптимальну стратегію його розвитку. Карта допомогла скласти відповідну команду людей котрі повинні працювати над створенням стартапу. Обрахунки витрат дали орієнтовно оцінити об'єм грошових вкладень в проєкт, та його рентабельність.



3. Аналіз конкуренції продемонстрував, що існує значна конкуренція, проте якщо правильно розставити акценти над тим з якою аудиторію потенційних клієнтів потрібно працювати, та на які характеристики з перевагами робити фокус, можна з впевненістю сказати, що проєкт зможе зайняти своє місце на ринку. Можливість працювати з різними ринками як України так і зарубіжжя дає змогу диверсифікувати ризики, що якась компанія чи підприємство відмовитися від системи. Великий сегмент клієнтів дозволяє розвивати та добавляти новий функціонал, котрий буде захоплювати інтереси всіх користувачів.

4. На рахунок сильних та слабких сторін, вони описувались при кожному етапі, проте головний їх аналіз відбувся в пункті з SWOT-аналізом. Він хороший тим, що наглядно приводив порівняння проєкту з конкурентами.

5. Проте головним інструментом яким проєкт зможе отримати шлях на ринок, це бездоганна робота маркетолога, котрий повинен правильно налаштованими рекламними кампаніями привести в стартап перших клієнтів та інвесторів. Від його роботи залежить чи зможе проєкт функціонувати далі, чи так і поблякне в тіні через нестачу фінансів

## **Загальні висновки**

В даній магістерській дисертації були зроблені дослідження системи автоматизованого вихрострумowego контролю поршневих пальців у відновлювальному ремонті. Провели аналітичні дослідження існуючих методів контролю та актуальних систем. Порівняли характеристики різних методів контролю з вихрострумовим та показали переваги вихроструму

Також були розраховані основні фізичні характеристики вихрострумowego перетворювача, з отриманих даних зробили розрахунок електричної частини системи. Підібрали відповідні до вхідних параметрів мікросхеми, АЦП, підсилювача, компаратора, та джерела опорної напруги.

Були розроблені листи: структурної схеми, електрично-принципальної, специфікацію, алгоритм роботи системи, та плакат з фізичними характеристиками каналів.

Одним із завдань було проведення маркетингового аналізу стартап-проєкту, де визначили та проаналізували чи може проєкт конкурувати з наявними продуктами конкурентами. Розробили бізнес-модель, та розрахували вартість реалізації проєкту.

Встановили, що наш проєкт має значну практичну цінність серед існуючих аналогів, в тому що може зайняти вільний ринок в сфері відновлювального контролю поршневих пальців. Використання складеної електричної схеми та методів контролю за рахунок своєї дешевизни дозволяє бути сильним конкурентом

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електронний ресурс: Type of Piston Pin  
<https://www.theengineerspost.com/piston-pin/>
2. Електронний ресурс: Analysis of piston-pin lubrication considering the effects of structure deformation and cavitation  
[https://www.researchgate.net/figure/Piston-and-pin-geometric-parameters\\_tbl2\\_282476698](https://www.researchgate.net/figure/Piston-and-pin-geometric-parameters_tbl2_282476698)
3. Електронний ресурс: Eddy Current Flaw Detector for Automated Inspections <https://ethernde.com/products/automated-inspection/victor-22d>
4. Електронний ресурс: Non-Destructive Testing or NDT  
<https://www.plastiform.info/en/non-destructive-testing-or-ndt>
5. Електронний ресурс: An Eddy Current Testing Platform System for Pipe Defect Inspection Based on an Optimized Eddy Current Technique Probe Design <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/579>
6. National Seminar & Exhibition on Non-Destructive Evaluation, NDE 2014, Pune, December 4-6, 2014 (NDE-India 2014) Vol.20 No.6 (June 2015) - The e-Journal of Nondestructive Testing - ISSN 1435-4934  
[www.ndt.net/?id=17837](http://www.ndt.net/?id=17837)
7. Електронний ресурс: ANALOG DEVICES  
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8021.pdf>
8. F. Fiorillo, Measurement and Characterization of Magnetic Materials, Elsevier Academic Press, 2004, ISBN 0-12-257251-3, ст. 31.
9. Електронний ресурс: Bestech  
<https://www.bestech.com.au/blogs/eddy-current-sensor-principle/>
10. Електронний ресурс: Component-Manufacturer  
<https://ee.component-manufacturer.com/info/piston-pin-material-and-structure-80339558.html>

11. Електронний ресурс: Stud.com.ua  
[https://stud.com.ua/157962/tehnika/lazerna\\_naplavlennya\\_remontnogo\\_vidnovlennya\\_detaley](https://stud.com.ua/157962/tehnika/lazerna_naplavlennya_remontnogo_vidnovlennya_detaley)
12. Електронний ресурс: ОНІКО <https://oniko.ua/ru/products/non-destructive-testing/rentgenivskiy-metod-nk/sistemi-tsifrovoi-radiografii/perenosni-sistemi-kompyuterno-radiografii-crx25p.html>
13. Електронний ресурс: Geekmatic  
[https://geekmatic.in.ua/vibor\\_shagovogo\\_dvigatelia](https://geekmatic.in.ua/vibor_shagovogo_dvigatelia)
14. Електронний ресурс: Studbooks.net  
<https://studbooks.net/2345694/tehnika/k1113pv1>
15. Електронний ресурс: StudFiles  
<https://studfile.net/preview/3791670/page:50/>
16. Електронний ресурс: Rigol <https://www.rigolna.com/products/waveform-generators/dg5000/>
17. Електронний ресурс: Texas Instruments  
<https://www.ti.com/product/LM393>
18. Електронний ресурс: NDT Tech Solutions <https://www.ndts.com>
19. Електронний ресурс: DIEX <http://ua.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/vixretokovyij-kontrol/>
20. Електронний ресурс: OLYMPUS <https://www.olympus.in/>
21. Патент № 82594 Україна МПК G01N 27/00 (2013.01) Спосіб імпульсного вихрострумового контролю об'єктів циліндричної форми / Куц Ю.В., Лисенко Ю.Ю. заявник та патентовласник Нац. авіац. ун-т. – у 2013 03403; заявл. 20.03.2013; опубл. 12.08. 2013, Бюл. №15. – 4с.
22. Assler H. Design of Aircraft Structure under Special Consideration of NDT – 9-th Europ.Conf. for NDT, Berlin. 2006 (інтернет-журнал [www.ndt.net](http://www.ndt.net) – 2006. – 11. – №11).

23. S. Lawrence Marple, Jr. Computing the Discrete-Time "Analytic" Signal via FFT // IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 47, №9, 1999.- P.2600- 2603.
24. Доллиненко В.В., Шаповалов Є.В., Скуба Т.Г., Коляда В.О., Куц Ю.В., Галаган Р.М., Карпінський В.В. Роботизована система неруйнівного вихрострумовеого контролю виробів зі складною геометрією // Автоматическая сварка, № 5-6 (764), травень-червень 2017.– С. 60-67.
25. Учанін В.М. Вихрострумова дефектоскопія елементів конструкцій / В.М. Учанін // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – №4. –Сс.66-73.
26. Білокур І. П. Основи дефектоскопії. — К.: Азимут-Україна, 2004. — 496 с.
27. Куц Ю.В. Новітні системи та технології: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с
28. Babak, V.P. Babak, S.V., Eremenko, V.S., Kuts, Y.V., Myslovych, M.V., Scherbak, L.M., Zaporozhets, A.O. Models and Measures in Measurements and Monitoring / Springer International Publishing, 2021. - 266 p.
29. Бабак В.П., Куц Ю.В. Метод однозначного визначення великих фазових зсувів сигналів // Вісн. НАУ. – 2003. – №1. – С. 3 – 8
30. Перспективи застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумівій дефектоскопії / [М. О. Редька, Ю. В. Куц, Є. В. Шаповалов та ін.]. // Технічна діагностика та неруйнівний контроль. – 2022. – №1. – С. 45–53.
31. Automated eddy current system for express monitoring of objects / I. Lysenko, Y. Kuts, A. Protasov, V. Petryk, A. Alexiev // International

Journal “NDT Days”, BSNDT: Bulgaria, 2022. – Volume 5, Issue 5. – 269-276 pp. ISSN: 2603- 4018, eISSN: 2603-4646.

32. Куц Ю. В. Стислий україно-англійський тлумачний словник термінів з вихрострумового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, В. М. Учанін, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 63 с.

33. Комп'ютерне проектування електронних схем. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Р. М. Галаган ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.