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

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ А.Г. Протасов
«___»_____20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Ультразвукова система контролю основних елементів коліс залізничного транспорту»

Виконав :
студент IV курсу, групи ПК-71мп
Лисоконь Яків Олександрович _____

Керівник:
к.т.н.
Богдан Г.А. _____

Консультант з розробки стар-тап проекту:
д.е.н.
Бояринова К.О. _____

Консультант з розробки електричних трактів:
к.т.н., доцент
Баженов В.Г. _____

Рецензент:
Філіппова М.В. _____

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

Київ – 2019 року

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

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю).

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Протасов А.Г.

«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Лисоконю Якову Олександровичу

1. Тема дисертації «ультразвукова система контролю основних елементів коліс залізничного транспорту», науковий керівник дисертації Богдан Г. А., затверджені наказом по університету від «_»_____ 2019р. №4078-с
2. Термін подання студентом дисертації грудня 2019р
3. Об'єкт дослідження: автоматизована діагностика ультразвуковою системою контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.
4. Вихідні дані : матеріал складових елементів коліс – сталь, контрольовані параметри – наявність внутрішніх дефектів та порушення структури матеріалу основних елементів коліс, частота випромінювання ультразвуку – 5 МГц, апаратна похибка не більше 2 %.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити :аналіз методів контролю основних елементів коліс, аналіз існуючих систем та приладів для контролю основних елементів коліс, розробка та розрахунок ультразвукової системи контролю основних елементів коліс, розробка функціональної схеми,алгоритм роботи системи.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: чотири плакати
7. Орієнтовний перелік публікацій
8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	д.е.н., Бояринова К.О.		
Розробка електричних трактів	Баженов В.Г., к.т.н., доцент; доцент кафедри приладів і систем неруйнівного контролю КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд існуючих приладів та систем контролю складових елементів коліс		
2	Аналіз автоматизованих ультразвукових систем контролю складових елементів коліс		
3	Розробка системи		
4	Моделювання АВД діаграми		
5	Розрахунок розмірів п’єзоперетворювача		
6	Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту		
7	Розрахунок похибок		
8	Розробка алгоритму системи		
9	Розробка стартап-проекту		
10	Аналіз результатів та написання висновків		

Студент Лисоконь Я.О.

Науковий керівник дисертації Богдан Г.А.

РЕФЕРАТ

В магістерській дисертації були проаналізовані прилади, та системи контролю осей, їх порівняння, та обґрунтування вибору методу контролю.

Розглянуто характеристики систем автоматизованого неруйнівного контролю, їх переваги та недоліки, на основі чого було розроблено удосконалену ультразвукову систему контролю основних елементів коліс-осей колісних пар. Запропоновано систему, яка включає в себе механічний блок, блок дефектоскопії, та блок обробки інформації. Блок дефектоскопії складається з чотирьох каналів по два перетворювача в кожному.

Проаналізовано маркетингову складову стартап-проекту для визначення можливості його впровадження та можливих ринкових напрямів реалізації.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого акустичного неруйнівного контролю осей колісних пар залізничного складу та метрополітену.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого акустичного контролю осей колісних пар.

Метою магістерської дисертаційної роботи є розробка автоматизованої системи ультразвукового контролю осей колісних пар та моделювання процесів формування сигналів.

Ключові слова: ультразвукова система, система автоматизованого неруйнівного контролю, блок дефектоскопії, контроль колісних пар.

ABSTRACT

In the master's thesis the instruments, axle control systems, their comparison, and the choice of the method of the method of analysis were analyzed.

The characteristics of the automated non-destructive testing system, advantages and disadvantages are considered. An ultrasonic wheel axle control system was developed. A system is proposed that includes a mechanical block, a flaw detection unit, and a data processing unit. The defectoscopy unit consists of four channels of two transducers in each.

The marketing component of the startup project is analyzed to determine the possibility of its implementation and possible market directions of implementation.

The object of the research is the process of automated acoustic non-destructive control of the axles of the wheel pairs of the railway warehouse and underground.

The subject of the research is the methods and means of automated acoustic control of axle wheelsets.

The purpose of the master's dissertation work is the development of an automated system of ultrasonic control of axles of wheel pairs and simulation of signal formation processes.

Keywords: ultrasound system, automated non-destructive testing system, the block of defectoscopy, wheel pairs testing.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....8
Вступ.....9
1. РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ОСНОВНОГО ЕЛЕМЕНТУ КОЛІС ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ – КОЛІСНОЇ ПАРИ…….....11
1.1. Огляд об'єкта дослідження та основні дефекти…….....11
1.2. Методи неруйнівного контролю, що використовуються для дефектоскопії основних елементів ходової частини рухомого складу залізничного транспорту…….....13
1.2.1. Магнітні методи дефектоскопії.....13
1.2.2. Ультразвукові методи дефектоскопії.....15
1.2.3. Аналіз існуючих автоматизованих систем та приладів для контролю основних елементів коліс залізничного транспорту…….....16
2. РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІС ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ……..24
3. РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ СИСТЕМИ НЕРУЙНВНОГО КОНТРОЛЮ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІС ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ….....30
3.1. Розроблення узагальненої структурної схеми автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту…….....31
3.2. Алгоритм роботи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту……..34
3.3. Моделювання АВД діаграми.....37

4. РОЗДІЛ 4. Розрахункова частина.....40
4.1. Розрахунок параметрів п’єзоперетворювача.....40
4.2. Розрахунок акустичного тракту…….....41
4.3. Вибір моделі розрахунку акустичного тракту.....42
4.4. Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту.....43
4.5. Розрахунок похибок.....48
4.5.1. Похибка АЦП.....48
4.5.2. Похибка підсилювача (дрейф нуля).....49
4.5.3. Сумарна похибка.....49
5. РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....52
5.1. Опис ідеї проекту.....52
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....54
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....55
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....63
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....65
Висновки.....70
Список використаних джерел.....71

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

УЗК	Ультразвуковий контроль
ПЕП	П’єзоелектричний перетворювач
ОК	Об’єкт контролю
НК	Неруйнівний контроль
АСД	Система автоматичної сигналізації дефекту
ПЕП	П’єзоелектричний перетворювач
ТРЧ	Система тимчасового регулювання чутливості
АС	Аавтоматизована система

ВСТУП

Одним з найпопулярніших методів неруйнівного контролю виробів з металу є ультразвуковий неруйнівний контроль. До основних переваг цього методу можна віднести: об’єкт контролю не руйнується, а отже дослідження можна проводити, як на стадії виготовлення виробу, так і в процесі його експлуатації; можливість забезпечення високої швидкості проведення дефектоскопії при відносно низькій вартості обладнання; безпека для людини (в порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю); можливість віддаленої обробки даних та інше.

Дякуючи тому, що ультразвукові хвилі можуть проникати в середину металу є можливість контролю якості деталей, конструкцій, тощо. Переваги ультразвукового контролю: простота конструкцій, відносна дешевизна, безпека проведення контролю, точність вимірювання, - дякуючи чому ультразвукова дефектоскопія має велику роль в сучасних галузях де потрібно проводити контроль виробів, деталей, конструкцій з металу.

Ультразвукова система контролю складових елементів коліс залізничного транспорту дозволяє без повного розбирання вузлів проводити контроль основних частин таких як колісна пара. Колісна пара - елемент ходової частини рейкових транспортних засобів, який представляє собою пару коліс, жорстко посаджених на вісь, які завжди обертаються разом з віссю як єдине ціле. Таке конструктивне виконання вузла ходової частини залізничного транспорту забезпечує високу надійність в процесі експлуатації. Тому в даній магістерській дисертації і буде розглянуто роботу ультразвукової системи контролю на прикладі дефектоскопії основного елементу коліс залізничного транспорту – колісної пари.

Для безпечного та довготривалого використання колісних пар, при їх виготовленні накладають досить жорсткі вимоги. Основними параметрами, що регламентуються ДСТУ, є міцності та надійності. Крім того розроблені і

використовуються на практиці правила формування та ремонту колісних пар, технологічний процес їх виготовлення, температурні режими формування колісних пар, допуски, посадки та інше.

Тому дуже важливим є своєчасне виявлення дефекту такого елементу коліс залізничного транспорту як колісна пара. Ультразвуковий контроль є актуальним, зручним та економічним способом контролю колісних пар. Через це на сьогодні цей метод дуже розповсюджений в найрізноманітніших галузях промисловості, але цей метод не є ідеальним і потребує вдосконалення. Ультразвукова система потребує забезпечення найвищого рівня автоматизації та збільшення корисної кількості отриманої інформації.

Метою магістерської дисертаційної роботи є розробка автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

Для реалізації поставленої мети було сформовано такі завдання:

- проаналізувати сучасні засоби ультразвукового неруйнівного контролю;
- обґрунтувати необхідність та можливість розробки автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту;
- обґрунтувати вибір автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого ультразвукового неруйнівного контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

Предметом дослідження є методи та засоби ультразвукового неруйнівного контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ОСНОВНОГО ЕЛЕМЕНТУ КОЛІС ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ – КОЛІСНОЇ ПАРИ.

1.1. Об'єкт дослідження та основні дефекти

Об'єктом дослідження є процес автоматизованої системи ультразвукового контролю основного елементу коліс залізничного транспорту – колісної пари.

Одним із елементів колісної пари є вісь (Рис. 1.1). Вона являє собою круглий сталевий брус, діаметр якого по довжині поперечного перерізу змінюється. В залежності від зовнішнього навантаження, яке діє на них в процесі експлуатації, осі бувають різних геометричних розмірів. Також на конструкцію даного елементу колісної пари впливає форма шийки осі та обраний тип підшипника; внутрішня форма поперечного перерізу – суцільна або порожниста; спосіб торцевого кріплення підшипників кочення на шийці осі – корончатою гайкою або шайбою.

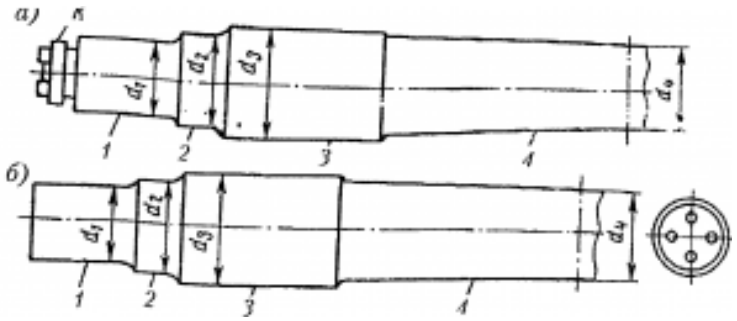


Рис 1.1. – Зовнішній вигляд осей колісних пар:
а — РУ1; б — РУ1Ш; К — нарізна частина осі; 1 — шийка; 2 — передпідматочинна частина; 3 — підматочинна частина осі; 4 — середня частина осі; d1 — діаметр шийки; d2 — діаметр передпідматочинної частини; d3 — діаметр підматочинної частини; d4 — діаметр середньої частини.

Згідно чинних нормативів осі виготовляються з вуглецевої сталі методом кування або прокаткою на прокатному стані. Після чого елемент піддають термообробці для зняття внутрішніх напружень, що виникають в металі. Обов'язково після проведення зазначених операцій заготівку контролюють на відповідність механічних властивостей встановленим фізико-механічним характеристикам.

Наступною операцією при виготовлені осі, згідно технологічного процесу, є обробка на токарному верстаті з подовженою станиною. Для отримання необхідної шорсткість поверхні та підвищення втомної міцності та збільшення на 20-30% поверхневої твердості металу застосовують метод накатки осей. Такий підхід дозволяє забезпечити глибину зміцненого шару на рівні 4-5мм.

До основних дефектів елементів коліс залізничного транспорту, які підлягають контролю, відносять прокат, повзуни, тріщини, підрізи, вищербини і раковини на поверхні кочення коліс і ін. Розглянемо більш детально перераховані дефекти.

Прокатом коліс називають знос поверхні катання, яка відбувається внаслідок тертя об рейки. Нормативні документи забороняють експлуатувати вагони, у яких елементи колісних пар мають прокат більший за 5 мм.

В наслідок екстреного гальмування на поверхні катання обода колеса з'являються стерті місця, що отримали назву повзуни.

Вищербини це невелике місцеве поглиблення на поверхні катання ободу колеса. Даний дефект є наслідком появи повзуна або прихованих вад металів.

Серед всіх дефектів, з точки зору безпечної експлуатації залізничного транспорту, найнебезпечнішими є тріщини, що виникають в будь-якій частині осі колісної пари або тріщини, що з'являються в ободі, диску або ступиці колеса.

На рис. 1.2 представлено зовнішній вигляд основних елементів ходової частини рухомого складу залізничного транспорту з дефектами у вигляді тріщини.

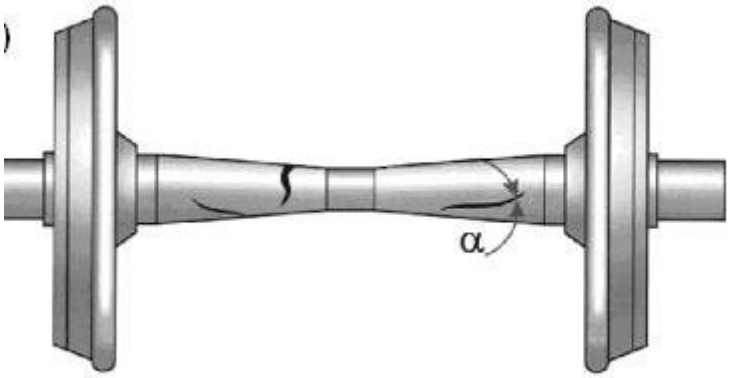


Рис.1.2. Зовнішній вигляд основних елементів ходової частини рухомого складу залізничного транспорту з дефектами у вигляді тріщини

Тому щоб своєчасно виявити дефекти основних елементів коліс а саме колісної пари активно використовують ультразвуковий неруйнівний контроль та магнітну дефектоскопію впродовж усієї технології виготовлення та в процесі експлуатації.

1.2. Методи неруйнівного контролю, що використовуються для дефектоскопії основних елементів ходової частини рухомого складу залізничного транспорту

1.2.1. Магнітна методи дефектоскопії

Для магнітної дефектоскопії використовують дефектоскопи змінного струму кількох типів, що намагнічує пристроєм кожного з яких є соленоїд. Випробування проводять способом нанесення сухого магнітного (залізного) порошку або рідкої магнітної суспензії цього порошку. Порошок розмішують зазвичай в трансформаторному маслі з розрахунку 200 г / л.

Нероз'ємний дефектоскоп типу ДКМ-1Б застосовують для перевірки шийок і передпідматочинних частин осей сформованих колісних пар. Зона дії дефектоскопа 230-240 мм з кожного боку.

Дефектоскоп з'єднують з мережею і навішують на шийку осі біля її торця, включають тумблер (або кнопку) дефектоскопа, вільну поверхню шийки і передпідматочинних частин поливають магнітною суспензією і оглядають. Після повороту колісної пари на 180 ° операцію повторюють. Потім дефектоскоп переміщують до колеса і таким же чином перевіряють передню частину шиї.

Для розмагнічування дефектоскоп знімають з шийки і вимикають після видалення від неї на 500-600 мм. Для забезпечення кругового огляду колісну пару встановлюють на приводні ролики випробувального стенду, розташовані в розрізі рейкової колії.

Роз'ємний дефектоскоп типу ОД-1-1 застосовують при контролі середній частині осі колісної пари представлено на рис. 1.3.

Рис.1.3. Магнітно-порошковий контроль осі колісної пари

Для можливості охоплення осі соленоїд цього дефектоскопа з шиною міді «розрізаний» по діаметру, і витки з'єднані з одного боку шарнірами, а з іншого в робочому положенні замикаються один з одним.

Зона дії дефектоскопа 250 мм. Дефектоскоп знаходиться на пересувному візку і застосовується в комплекті з випробувальним стендом, що забезпечує обертання колісної пари і пересування дефектоскопа вздовж осі.

У процесі випробування візок з включеним дефектоскопом переміщують від маточини до середини осі, послідовно наносячи сухий магнітний порошок. Таким чином контролюють першу половину осі. Потім дефектоскоп вимикають і просувають до другої ступиці і таким же порядком перевіряють другу половину осі.

Колісну пару повертають 4-5 разів, послідовно перевіряючи всю вісь.

Магнітний метод має такі етапи:

– підготовка до контролю (очищення);

– намагнічування елементів колісної пари;

– використання магнітного порошку або суспензії та візуальна перевірка ОК;

– бракування ОК в разі виявлення дефекту;

– розмагнічування ОК.

1.2.2. **Ультразвукові методи дефектоскопії**

З усіх областей промислового застосування ультразвуку, найстарішою і найбільш поширеною є дефектоскопія. Високочастотні звукові хвилі відбиваються від дефектів в певних напрямках, створюючи різні ехо-сигнали, які можуть бути відображені і записані переносним вимірювальним приладом. Ультразвукові дослідження - абсолютно безпечний метод неруйнівного контролю, що застосовується у багатьох технологіях, галузях виробництва і технічному обслуговуванні, особливо в дослідженні зварних швів і конструкційних металів.

Ультразвукові хвилі - це прості механічні коливання, які відбуваються через різні речовини: тверді, рідкі або газоподібні. Дані хвилі передаються в речовині з певною швидкістю в заданому напрямку, при зустрічі з перешкодою або іншим матеріалом вони відображаються. Цей фізичний принцип лежить в основі ультразвукової дефектоскопії.

Для ультразвукового неруйнівного контролю колісних пар існує автоматизований стенд, призначений для ультразвукової дефектоскопії осей колісних пар, коліс і внутрішніх кілець буксових підшипників без розбирання колісної пари.

Програмне забезпечення забезпечує автоматичне виділення підозрілих ділянок, оперативну обробку інформації і документування результатів контролю.

Крім того, забезпечується істотне збільшення ознак ідентифікації типів дефектів, діагностика технічного стану основних елементів системи, висока надійність всіх систем.

Великою перевагою контролю є відсутність необхідності проведення спеціальної підготовки колісної пари до тестування. Використання подібного підходу до неруйнівного контролю колісних пар дозволяє значно знизити часові та матеріальні витрати на комплексну перевірку частин рухомого складу.

Акустичний контакт забезпечується за допомогою контактної рідини.

Висока вірогідність результатів контролю і надійність системи в поєднанні з іншими характеристиками дозволяють говорити про високу ефективність роботи ультразвукового контролю колісних пар.

1.2.3. **Аналіз існуючих автоматизованих систем та приладів для контролю основних елементів коліс залізничного транспорту**

Одним з найбільш популярних приладів неруйнівного контролю на підприємствах є УД2-70 зовнішній вигляд представлено на рис. 1.4., а технічні характеристики табл.1.1. В 1999 році цей прилад було випущено на ринок ТОВ «Ультракон-Сервіс». У 2001 прилад було покращено , з тими ж самими функціональними можливостями він мав в 3 рази менші габаритні розміри та мав в 2 рази меншу вагу за попередника.

На цьому розробники приладу не зупинялись і він модернізується і обновляється й по сьогодення.

Рис.1.4.Зовнішній вигляд ультразвукового дефектоскопу УД2-70

Таблиця 1.1. Технічні характеристики дефектоскопа УД2-70

Робочі частоти	0,4; 1,25; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0 МГц
Діапазон контролю(по сталі)	від 1 до 7500 мм
Діапазон робочих частот приймального такту	від 0,2 до 12 МГц
Діапазон встановлюваних швидкостей УЗ коливань	від 100 до 15000 м/с
Частота повторення зондувальних імпульсів	30; 60; 120; 250; 500; 1000; 2000 Гц
Діапазон регулювання посилення	від 0 100 дБ з дискретністю 0,5; 1,0 дБ
Відсічення	Лінійна, компенсована, від 0 до 100% висоти екрану
Розгортка	тип А, В
Діапазон затримки розгортки	від -30 до 7500 мм
Похибка вимірювання глибини залягання дефектів	±(0,1 + 0,02H) мм
Дискретність вимірювання відстаней	0,1 мм
Похибка вимірювання відносин амплітуд сигналів	±(0,1 + 0,03 N) дБ

Принцип роботи дефектоскопа заснований на ультразвуковому контактному методі неруйнівного контролю, в якому використовуються властивості УЗК.

Ультразвуковий імпульс випромінюється в контрольований виріб. Відбиті від дефектів або від поверхонь луно-сигнали приймаються УЗ ПЕП. Отримані електричні сигнали посилюються до встановленого рівня, перетворюються в цифрову форму, обробляються та результат виводиться на дисплей. Відображення прийнятих ехо-сигналів на екрані дефектоскопа здійснюється в розгорнутому вигляді типу А (А-Скан). Аналізуючи А-Скан, оператор приймає рішення про наявність або відсутність у виробі дефекту та його місцезнаходження в об’ємі об’єкту, що контролюється.

Дефектоскоп реалізує луна-імпульсний, тіньовий і дзеркально-тіньовий методи акустичного контролю. Дефектоскоп працює наступним чином за сигналом центрального процесора сигналів дефектоскопа генератор зондуючих імпульсів виробляє збудливий електричний імпульс, який надходить через роз'єм генератора на УЗ ПЕП і у вигляді акустичного імпульсу випромінюється в контрольований виріб. Прийнятий луна-сигнал перетворить УЗ ПЕП в електричний імпульс і через роз'єм приймача надходить на вхід приймального тракту дефектоскопа. Коефіцієнт посилення приймального тракту дефектоскопа задається центральним процесором через схему цифро-аналогового перетворювача тимчасової регулювання посилення. Посилений електричний імпульс фільтрується частотним фільтром і надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача. З виходу аналого-цифрового перетворювача сигнал надходить на центральний процесор для подальшої обробки і відображення на дисплеї. Конструктивно дефектоскоп виконаний в міцному корпусі з металевою регульованою ручкою для перенесення. На лицьовій панелі дефектоскопа розташовані кольоровий графічний дисплей і маслобензостійка плівкова клавіатура. На задній панелі дефектоскопа знаходяться роз'єми для підключення УЗ ПЕП, роз'єм синхронізації, роз'єм для підключення головних телефонів і порт RS 232 для зв'язку з комп'ютером. На бічній панелі дефектоскопа розташований роз'єм для підключення автоматичного зарядного пристрою .

Іншою подібною системою контролю є ультразвуковий дефектоскоп УД4-Т «Томографік».

Цифрові технології, що застосовуються в універсальному дефектоскопі "Томографік" УД4-Т, дозволили в одному приладі реалізувати набір різних за призначенням дефектоскопів, що максимально задовольняють вимоги конкретного користувача. Вибір і активізація необхідного додатку відбувається за аналогією з "Windows" за допомогою призначеного для користувача "меню", де кожна задача є самостійним приладом неруйнівного контролю (НК): Дефектоскопи, Товщиномір, Тензометр і т.д.

В "Томографік" УД4-Т також передбачений режим "багатозадачності", коли кілька УЗ додатків можуть працювати одночасно (фоново), скажімо оператору, який працює з дефектоскопії доступні всі режими товщинометрії і навпаки.

"Томографік" УД4-Т прекрасно поєднується з різним спеціалізованим обладнанням НК, має широкий набір супутніх аксесуарів: Датчик шляху, Акустичний сканер, Оптична система прив'язки координат ПЕП, а також інші засоби сполучення і візуалізації. Реалізована в УД4-Т функція відеоскопу, призначена для візуалізації процесу контролю у важкодоступних місцях. Використання відеокамери надає можливість одночасного відображення на екрані приладу контрольованою області та сигналу, отриманого від перетворювача.

Гнучка функціональність, простота налаштування і зручність в експлуатації роблять "Томографік" УД4-Т відмінним засобом для основних видів ультразвукового та вихрострумового контролю, що дозволяє на порядок підвищити достовірність та продуктивність неруйнівного контролю.

Рис.1.5. Ультразвуковий дефектоскоп УД4-Т «Томографік»

Відмінні риси "Томографік" УД4-Т:

1.Широкий частотний діапазон з плавним регулюванням від 0,2 до 10МГц.

2.Два незалежно керованих строба (А і В).

3.Автоматичне або ручне побудова кривої ВРЧ (до 256 точок).

4.Два види подання сигналів: детектування і радіо.

5.Побудова і обробка A, B і D (TOFD) розгорток.

6.Режими: обвідної, заморозки і відображення ходу променя.

7.Windows сумісність прикладного ПО.

Автоматичне визначення швидкості УЗК в різних матеріалах і затримки в призмі. База даних швидкостей поширення УЗК.

Для проведення робіт по намагнічуванню різноманітних деталей рухомого складу використовують дефектоскоп магнітопорошковий МД12 ПЕ, намагнічування відбувається шляхом пролягання поля, що робиться для того, щоб виявити поверхневі і поперечні тріщини за допомогою неруйнівного контролю методом магнітопорошкового контролю, після цього проводиться розмагнічування у внутрішніх шийках і середніх частинах осей локомотивних і

вагонних колісних пар, хомутах, хвостовиках автосцепок і інших об'єктах контролю що мають великі габарити і виготовлених з магнітомягкої сталі.

Рис.1.6. Дефектоскоп магнітопорошковий МД12 ПЕ

Таким чином проведення робіт по виявленню дефектів є можливою завдяки явищу тяжіння частинок магнітопорошкової суспензії на ділянках поверхні де знаходиться вихід на поверхню магнітного поля, дане явище пов'язане з наявністю на контрольованому об'єкті порушень суцільності. Саме намагнічення об'єкта контролю проводиться за допомогою спеціального пристрої. У намагнічених об'єктах контролю, дефекти, якщо такі є, провокують появу перерозподілу магнітного поля і таким чином магнітні потоки частково виходять на поверхню об'єкта контролю. За рахунок цього ефекту на поверхні об'єкта з'являються локальні магнітні полюси, які здатні притягувати частинки магнітопорошкової суспензії, за рахунок тяжіння яких можна визначити місце розташування дефекту.

Стенд магнітопорошкового контролю великогабаритних деталей УМПК-39, який дозволяє визначити дефекти в різній орієнтації із застосуванням імпульсного, випрямленої і змінного трифазного струму.

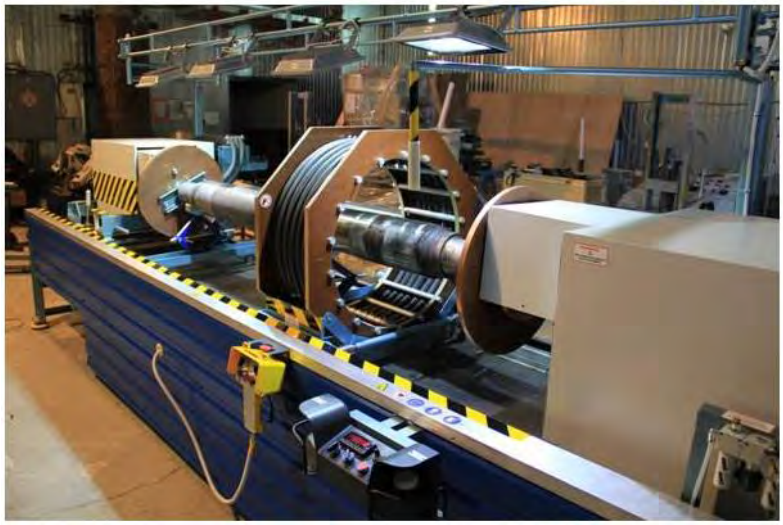


Рис.1.7 . Стенд УМПК-39

Стенд контролю УМПК-39 призначений для перевірки деталей мокрим магнітопорошковим методом на наявність дефектів поздовжньої і поперечної орієнтації. Стенд може застосовуватися як в складі виробничих ліній, так і в якості самостійної установки. Використовується на підприємствах машинобудування, літакобудування при контролі деталей при складанні та після ремонту.

Стенд контролю деталей УМПК-39 - це габаритний стаціонарний пристрій, який дозволяє перевіряти поверхню деталей складної конфігурації крім їх торцевих частин. По краях верстата змонтовані привід і затискачі, а між ними розташовується та переміщається соленоїд. По центру УМПК-39 на його бічній поверхні встановлений пульт управління установкою, над стендом закріплені світильники. Поруч зі стендом знаходиться електрична шафа для керування електроприводом, подачі напруги живлення і струмів для збудження магнітного поля в соленоїді. Установка дозволяє плавно регулювати переміщення соленоїда, обертання зафіксованої в затиску деталі і струми збудження магнітного поля.

Висновки до розділу 1

Ми розглянули об’єкт контролю та дефекти які можуть виникати при створенні виробу або його подальшій експлуатації. Було перераховано види неруйнівного контролю для основних елементів коліс залізничного транспорту. Найбільш популярним для контролю колісної пари є ультразвуковий неруйнівний метод, він випереджає магнітній завдяки таким перевагам як зручність та швидкість проведення контролю. Ми розглянули існуючі системи контролю та прилади неруйнівного контролю для виявлення дефектів в колісних парах. Нажаль їх багато, через високу ціну та не зручні габаритні розміри. Найбільш є УД2-70, та стенд для проведення магнітного контролю.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІС ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Дуже важливим етапом виготовлення складової елементів коліс залізничного транспорту є виготовлення осей колісних пар. На сьогоднішній день на більшості підприємств переважає ручний контроль осей, через дорогу ціну більшість підприємств не можуть собі дозволити дороге імпортне, автоматизоване обладнання для контролю в потоці на зменшення кількості браку.

Через малу продуктивність ручний неруйнівний контроль не дозволяє провести контроль всієї поверхні осі. Також нові ручні дефектоскопи дозволяють дозволяє реєструвати дефектні зони виробу, але не можуть зареєструвати повну документацію усього об’єкту контролю з отриманням підсумкового протоколу результатів контролю без залежності від похибки оператора. З огляду на це можна зробити висновок що тільки повна автоматизація дасть нам максимальну інформацію в цілісності об’єкту контролю.

Існує автоматизована система (АС) ультразвукового контролю осей «САУЗК “УНИСКАН ЛУЧ ОСЬ 4”», яка успішно експлуатується на ряді підприємств. Ця система допомагає використовувати всі обов’язкові та додаткові методи ультразвукового контролю до кожної осі. Тому установка гарантує нам контроль структури виробу та перевірку на внутрішні дефекти.

Дана система складається з імерсійної ванни, затискних пінолей, скануючого пристрою з лінійним приводом і апаратно обчислювального комплексу (АВК) на базі промислового комп'ютера

Під час проведення контролю залізнична вісь всім об'ємом занурюється в імерсійну рідина. Завантаження / Витягування осі з поста контролю виконують за допомогою кран балки з захопленням кліщами. Процес проведення контролю повністю автоматизований і максимально спрощений.

Контроль проводять при обертальному русі осі на центрах і лінійному переміщенні скануючих пристроїв уздовж осі. При цьому всі необхідні механічні операції для позиціонування осі в робоче положення система виконує сама.

Завдяки імерсійному способу і використання імерсійного стробу забезпечується висока стабільність прийому і випромінювання ультразвукових коливань за рахунок постійної стабільності акустичного зв'язку між перетворювачем і циліндричною поверхнею виробу. Наповнення і слив імерсійної рідини здійснюється за допомогою пневмоклапанів. В системі САУЗК "Уніскан промінь ОСЬ 4" передбачена можливість циркуляції рідини всередині системи зі зливом в резервні баки або підключення до системи центрального водопостачання підприємства. Сканування залізничної осі виконують за допомогою несучого лінійного пристрої переміщення, що складається з двох сканерів. У кожному з сканерів розміщено по чотири ультразвукових перетворювача. Номінальні частоти ультразвукових коливань спеціалізованих перетворювачів 2,5 і 5 МГц. Перший сканер проводить контроль лівої частини осі (від торця до середини), другий правій частині (від середини осі до її правого торця). Збір даних по всіх каналах здійснюють з допомогою двох дефектоскопів. Під час налаштування за кожним з перетворювачів закріплюють зони контролю. Завантаження зон контролю по заданій поздовжній лінійній координаті проводиться автоматично в процесі сканування.

Програмне забезпечення системи автоматизованого ультразвукового контролю САУЗК "Уніскан промінь ОСЬ 4" орієнтоване на проведення трьох основних етапів контролю: налаштування бракувальному чутливості, безпосередньо ведення контролю і перегляд результатів контролю. При цьому інтерфейс системи інтуїтивно зрозумілий і максимально оптимізований для зручності користувача. Налаштування бракувальному чутливості передбачає установку зон контролю для кожного з перетворювачів скануючого пристрою і саму настройку чутливості для кожної зони по штучним відбивачам на

стандартному зразку підприємства. Завдання зон здійснюється за лінійним координатам осі, починаючи від лівого торця, а налаштування чутливості - по кривим DAC (рис. 2.3). Також передбачено три рівня кривих - пошуковий, контрольний і бракувальний. Під кожен типорозмір осі створена своя настройка контролю, яка зберігається в базі даних комп'ютера. Таким чином, для контролю осі досить тільки провести завантаження перерахованих відомостей.

Рис.2.1. Встановлення осі на пост контролю

Експлуатація системи САУЗК "Уніскан промінь ОСЬ 4" здійснюється одним оператором, якому для проведення контролю завантаженої осі досить натиснути кнопку "СТАРТ", після чого система виробляє все попередні операції і запускає процес контролю.

Під час знімання даних проводиться візуалізація процесу на дефектограми у вигляді В-сканів або набору піків (за вибором оператора) в реальному часі по кожному задіяному в контролі каналу (рис.2.4). При необхідності оператор також може задавати основні параметри контролю:

швидкість обертання осі, швидкість переміщення скануючого пристрою, частоту генератора зондуючих імпульсів і ін.

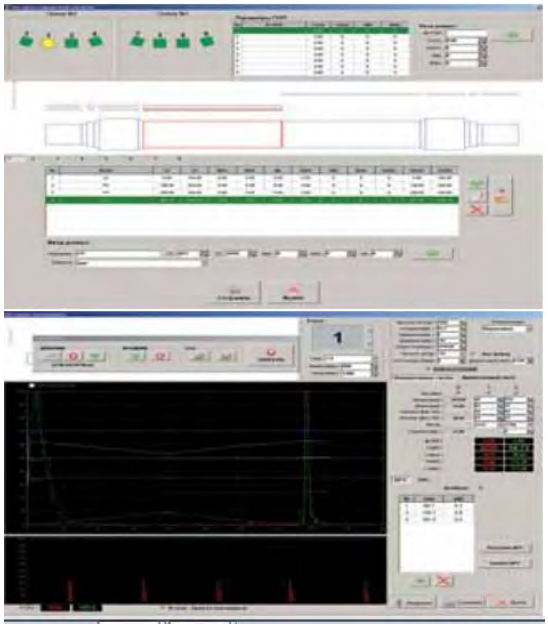


Рис. 2.3. Параметри зон контролю і чутливості

Після закінчення процесу система видає висновок про придатність у вигляді приведеного до осі В-скану, узагальнених результатів і висновків(рис.2.5). Скидання осі на позицію вивантаження здійснюється шляхом натискання кнопки "вивантаження".

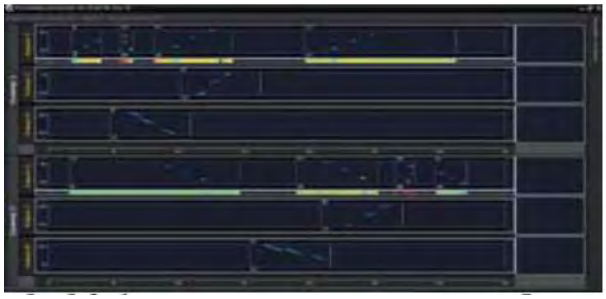


Рис. 2.4. Відображення процесу проведення контролю у вигляді В-скана

Рис. 2.5. Відображення попередніх результатів контролю після сканування

Рис. 2.6. Перегляд результатів контролю

Всі результати контролю зберігаються на жорсткому диску промислового комп'ютера. При необхідності система може видавати протоколи контролю як по кожній осі, так і у вигляді статистичних позмінних повідомлень, що максимально спрощує процедуру звітності. Можлива архівація даних і їх аналіз на іншому комп'ютері. Результати контролю містять наступні параметри дефектів:

• еквівалентна площа і діаметр дефекту;

• просторова орієнтація дефекту;

• протяжність;

• амплітуда луна сигналу від дефекту.

При перегляді результатів контролю є можливість масштабування В-скану або кривої дзеркально тіньового методу

для більш докладного аналізу та перегляду кожного окремого

відхилення від норми (рис.2.6).

Висновки до розділу 2

Ми проаналізували типову автоматизовану систему контролю осі колісної пари, як працює система та її характеристики.

До переваг можна віднести точність контролю, можливість отримання координат та просторову орієнтацію дефекту в об’єкті контролю, розмір дефекту. Є можливість створення бази даних, яка буде класифікувати об’єкти контролю що пройшли перевірку даною системою.

До недоліків можна віднести великі розміри системи, необхідність завантаження об’єкта контролю, ціна та час проведення перевірки одного виробу, що складає приблизно 10 хвилин.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ СИСТЕМИ НЕРУЙНВНОГО КОНТРОЛЮ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІС ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

При проведенні ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту повинен бути забезпечений вільний доступ до торцевих поверхонь осей. Виконання ультразвукового контролю за технологією описаною в попередньому розділі дозволяє виявити втомні тріщини та внутрішні дефекти в осях, що виникають в наслідок недотримання технології виготовлення заводом-виготовлювачем або у процесі їх експлуатації.

Також для отримання достовірної інформації необхідно мати контрольні стандартні зразки з еквівалентними за своїми властивостями штучним відбивачам, що використовуються для налаштування чутливості ультразвукового контролю (УЗК) відповідної частини осі.

Автоматизована система повинна забезпечувати значну швидкість проведення контролю.

Для виключення суб’єктивної похибки процес контролю має бути повністю автоматизовано від подачі об’єкту контролю на позицію до прийняття рішення про наявність або відсутність дефектів.

Дефектоскопія осей прямим перетворювачем відбувається тільки з обох торців при методі наскрізного проникнення для перевірки будь-яких осей. Використовують цей метод для знаходження поперечних дефектів в будь якому масці об’єкту контролю і для відсіювання осей колісних пар з крупнозернистою структурою. Можна зробити висновок що для автоматизованої системи треба враховувати всі фактори і розробити систему з високим відсотком достовірності результату, при швидкому проведенню діагностики об’єкту контролю.

3.1. **Розроблення узагальненої структурної схеми автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту**

Ультразвукова система контролю основних елементів коліс залізничного транспорту буде проводитися луно-імпульсним методом. В нашій системі будемо використовувати перетворювач, що працює як на випромінювання так і на прийом акустичної хвилі. Від ПЕП подаються імпульси, що розповсюджуються по об’єкту контролю. Між імпульсами ПЕП отримує зворотно відбиті імпульси від стінок об’єкту контролю та дефектів в ньому. У випадку нормального падіння ультразвукових хвиль і стінки об’єкту контролю паралельні ми матимемо в результаті сигнали від дефекту і сигнали від паралельної стінки на моніторі дефектоскопу. Якщо падіння ультразвукових хвиль буде похилим, ми отримуємо в результаті тільки сигнал від дефекту. Інформацію за наявність дефекту отримують по появі сигналу на моніторі дефектоскопу ,а його глибину за часом проходження ультразвукової хвилі. Луно-імпульсний метод дозволяє виявляти дефекти незначних розмірів [1].

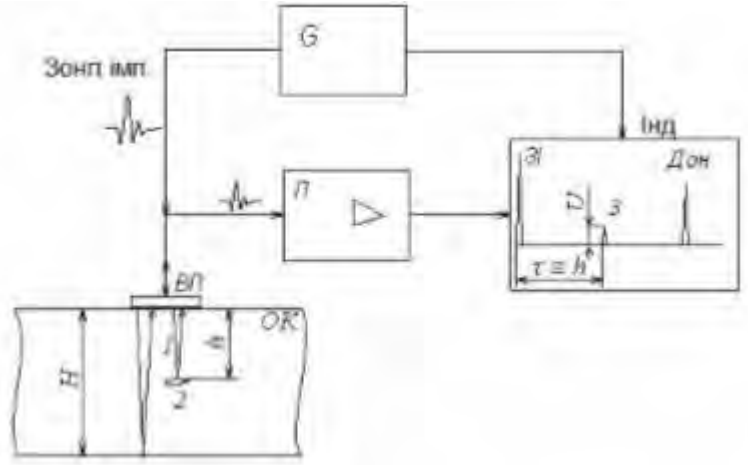


Рис.3.1. Загальна схема луно-імпульсного методу:

ВП – суміщений ультразвуковий перетворювач, ОК - об’єкт контролю, П - підсилювач, G – генератор зондуючих імпульсів, Інд - індикатор.

Маємо такі блоки автоматизованої системи контролю:

– механічний (Подача контактної рідини та пересування ПЕП)

– дефектоскопія

– обробка інформації

На основі узагальненої схеми луно-імпульсного ультразвукового методу (рис. 3.1.), було складено структурну схему блоку дефектоскопія автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту, яка за поставленими умовами буде перевіряти об’єкт контролю на наявність дефектів (рис. 3.2.).

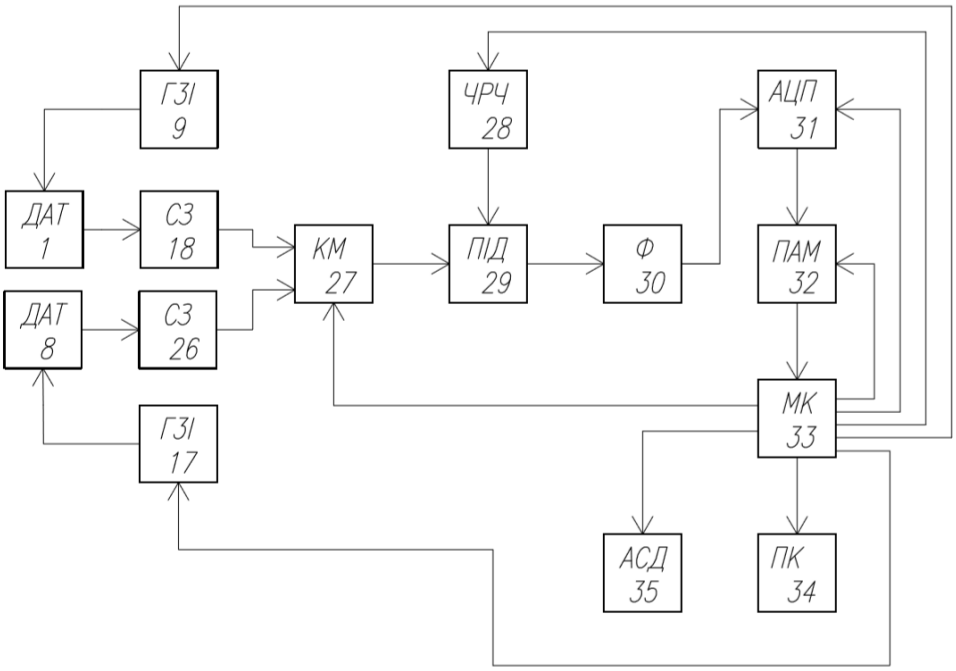


Рис. 3.2. Структурна схема блоку дефектоскопії:

д1..8 – п’єзоперетворювачі; 9..17 – генератори зондуючих імпульсів; 18..26 – схеми захисту; 27– комутатор; 28 – часове регулювання чутливості; 29 – підсилювач високої частоти; 30 – фільтр; 31 – аналогово-цифровий перетворювач; 32 – пам’ять; 33 – мікроконтролер; 34 – порт підключення до ПК; 35 – автоматичний сигналізатор дефектів.

На основі структурної схеми було розроблено функціональну схему системи, структура якої приведена на рис. 3.3.

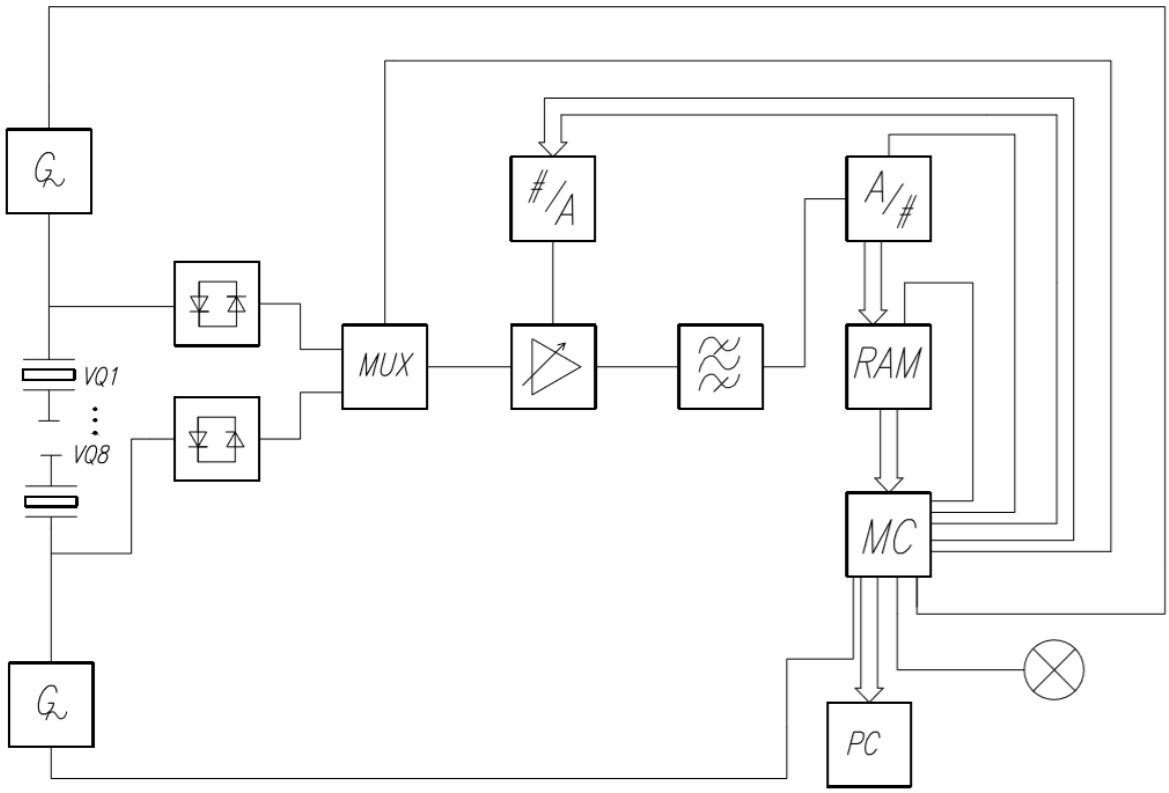


Рис.3.3. Функціональна схема блоку дефектоскопії

Мікроконтролером подається сигнал на генератор імпульсів, який в свою чергу відправляє сигнал на первинні перетворювачі, за рахунок їх відбувається збудження акустичної хвилі в об’єкті контролю. Після перетворювачі отримують зворотні сигнали відбиті від дефектів, після чого всі отримані сигнали комутуються. Потім отриманий сигнал на схему часового регулювання чутливості (ЧРЧ) де підсилюється. Для прибирання зайвих гармоні і отримання лише інформативної інформації підсилений сигнал відправляється на смуговий фільтр. Після чого інформаційний сигнал подають на вхід аналогово-цифрового перетворювача з виходу якого отримують цифровий код. Отриманий код зберігається в пам’ять для зчитування мікроконтролером. Він аналізує код і відправляє його на

персональний комп’ютер на якому оператор має можливість спостерігати результат контролю. Є можливість встановлення автоматичного сигналізатору дефекту, який після перевищення допустимого рівня буде повідомляти про наявність дефекту.

Розроблена функціональна схеми використовувалась як основа для принципово-електричної схеми блоку дефектоскопії розроблюваного ультразвукового неруйнівного контролю основних елементів коліс залізничного транспорту - осей колісних пар (див. Додаток 1).

3.2. **Алгоритм роботи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту**

На рис. 3.4. та 3.5. представлено алгоритм роботи розробленої автоматизованої системи, який включає в себе:

1. Встановлення ОК на позицію та завдання початкових вихідних даних, що потрібні для забезпечення отримання достовірної інформації.
2. Створення зондуючого аналогового сигналу та прийняття віддзеркаленого імпульсу з послідуючим його перетворенням в цифрову форму.
3. Передача отриманого цифрового коду до персонального комп’ютера для подальшої обробки.
4. Кутова зміна позиції контролю відносно розташованих ультразвукових перетворювачів.
5. Лінійна зміна позиції контролю відносно розташованих ультразвукових перетворювачів.
6. Обробка отриманих даних та побудова карти дефектів у тривимірному просторі.
7. Оформлення звіту.

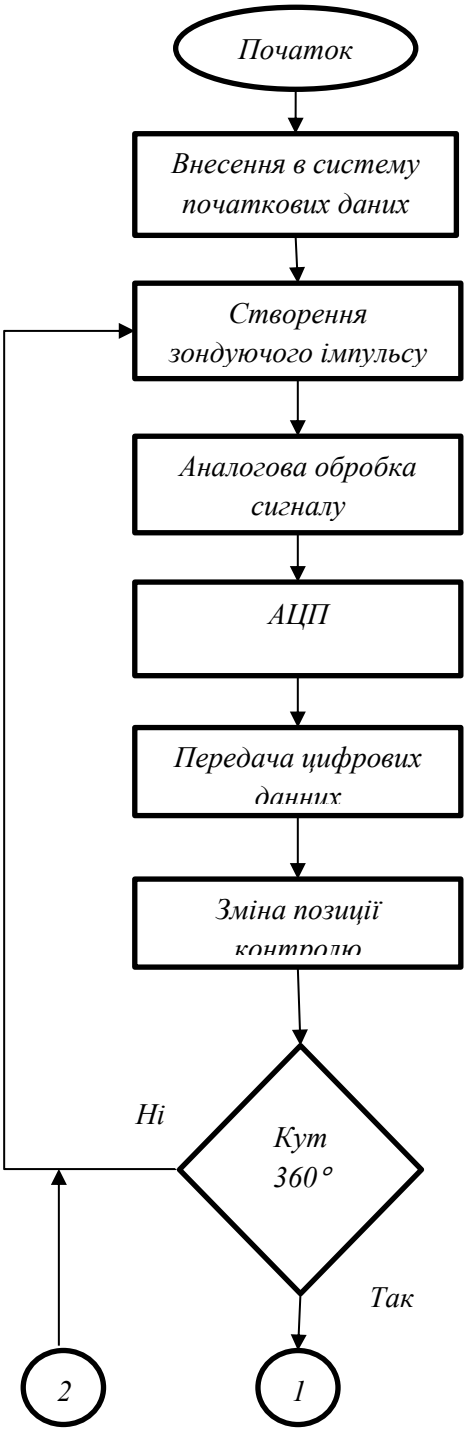


Рис. 3.4. Алгоритм роботи автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту

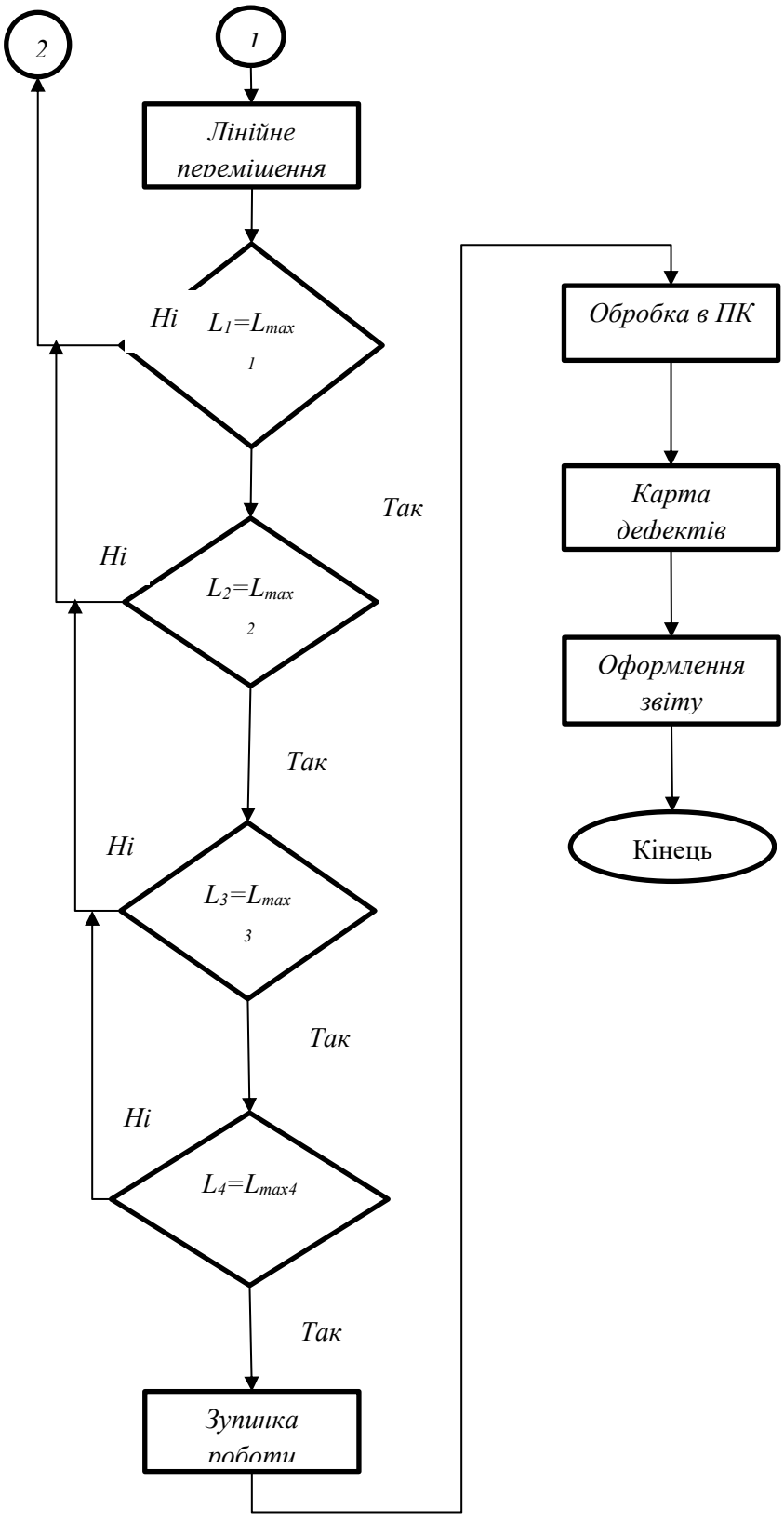


Рис. 3.5. Алгоритм роботи автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту

3.3. **Моделювання АВД діаграми**

Для забезпечення перерахунку амплітуди сигналу загалом використовують АВД-діаграму (або шкалу). Через те, що розрахунок займає багато часу, ми скористаємося зручною програмою для побудови АВД-діаграми - Mathcad[10].

Для отримання залежності між амплітудою луна-сигналу від дискового відбивача використовують АВД-діаграми - сімейство кривих, щоб розрахувати амплітуду луна-сигналу. Відстань між дефектом і ПЕП відкладаємо по горизонталі і отримуємо крив, що показують залежність від відстані до дефекту.

В цій магістерській дисертації розроблено АВД-діаграма для осей, що виготовлені зі сталі. Швидкість поширення повздовжніх ультразвукових хвиль для даного матеріалу $C_l=5980$ м/с. Дефектоскопія буде проводитись прямим суміщеним п'езоперетворювачем на частоті $f=5МГц$, діаметр давача $d = 6$ мм. Максимальну глибину прозвучування приймаємо $r=100$ мм. Коефіцієнт загасання звуку на заданій частоті для сталі дорівнює 6 дБ/м. Математично криві описуються за допомогою рівнянь акустичного тракту, при моделюванні реальні дефекти замінюються штучними відбивачами відповідної геометричної форми.

$$\alpha 1..8(r) = \frac{(\pi \cdot \frac{d^2}{4}) \cdot (\pi \cdot \frac{d_{деф}{}^2}{4})}{\lambda^2 \cdot r^2} \cdot e^{-2\delta r} \qquad (3.1)$$

Для дефектів 1, 2, 3, 4, 5, 6 і 8 мм (4.1), і нескінченної площини, для донного сигналу (4.2), задаємо сімейство кривих.

$$\alpha don(r) = \frac{(\pi \cdot \frac{d^2}{4})}{2\lambda \cdot r} \cdot e^{-2\delta r} \qquad (3.2)$$

Отримуємо шкалу на рис. 3.4., де по осі ординат відкладемо відношення амплітуд зондуючого сигналу до сигналу відбитого від дефекту.

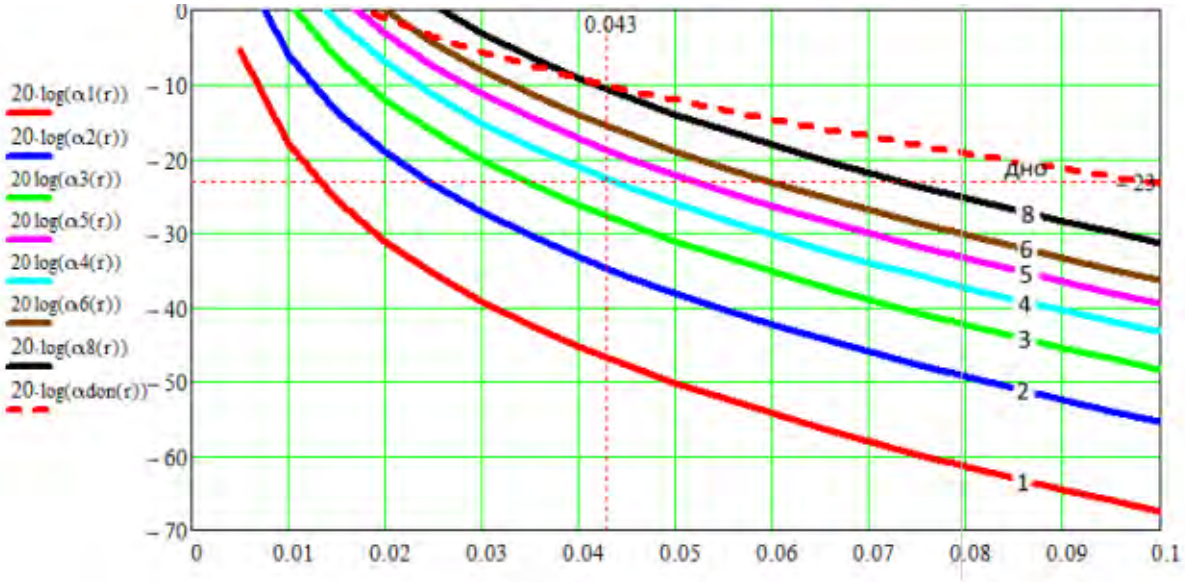


Рис.3.4. АВД-діаграмма для сталі

По шкалі бачимо , найменший розмір дефекту 2 мм(відстань 100 мм). Можна зробити висновок, що сигнал 2 мм,який знаходиться на максимальній відстані при даному напрямку буде видно над рівнем шумів.

Висновки до розділу 3

Ми проробили систему на основі луно-імпульсного методу. Цей метод було обрано за такі переваги:

- чутливість при знаходженні внутрішніх дефектів;
- точність отримання координат дефектів.

Для того щоб розрахувати амплітуду сигналу перетворювача,провели моделювання в програмі Mathlab. Для отримання шкали ми використовували швидкість ультразвуку в об’єкті контролю, частоту та діаметр перетворювача.

Проаналізувавши отриманий результат видно, що мінімальний розмір дефекту, для системи яку ми розробляємо , на максимальні відстані 100 мм = 2 мм.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1. Розрахунок параметрів п’єзоперетворювача

В якості матеріалу п’єзопластини обираємо ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю) [5].

Розрахунковий діаметр дорівнює 6 мм. Далі розраховуємо його товщину. Довжина хвилі має бути більшою в два рази за товщину для того,щоб отримати резонанс в п’єзокераміці.

$$h = \frac{\lambda_{цтс}}{2} \tag{4.1}$$

де $\lambda_{цтс}$- довжина акустичної хвилі.

$$\lambda_{цтс} = \frac{C_{цтс}}{2} \tag{4.2}$$

де $f = 5 \cdot 10^6$ Гц - робоча частота, $C_{цтс}$ = 3300 (м/с) швидкість УЗ хвиль в ЦТС-19,

$$\lambda_{цтс} = \frac{C_{цтс}}{f} = \frac{3300 \frac{м}{с}}{5 \cdot 10^6 Гц} = 0,66 \cdot 10^{-3} (м)$$

Висота перетворювача із формули (3.1):

$$h = \frac{\lambda_{цтс}}{2} = \frac{1,32 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,3 \cdot 10^{-4} (м)$$

Отримуємо товщину 0,33 мм.

4.2. Розрахунок акустичного тракту

Акустичний тракт - це шлях ультразвуку від випромінювача до об'єкта, що відображає або розсіює ультразвук, і потім до приймача коливань. Формули акустичного тракту визначають ослаблення амплітуди сигналу на цьому шляху. При наявності або відсутності дефектів. Природні дефекти можуть мати найрізноманітнішу форму (об'ємні, площинні), величину, орієнтацію (вертикальну, горизонтальну і т.д.), акустичні властивості, які заздалегідь не відомі. Тому формули виводять для моделей дефектів порожнистих відбивачів простої геометричної форми: нескінченно тонкого диска, сфери, циліндра, нескінченно тонкої смуги, площини і т.д. При експериментах ці моделі замінюють штучними відбивачами у вигляді плоскодонного отвори, отвором зі сферичним дном, бічним циліндричним отвором, смужкою, так як вони найбільш відповідають основним типам реальних дефектів. Визначення послаблення сигналу отрумаємо за допомогою формули акустичного тракту.

$$K_{a.m.} = \frac{p_П}{p_В}, \tag{4.3}$$

де $p_П$ і $p_В$ - акустичний тиск в приймаючому і випромінюючому перетворювачах, що виникає в процесі випромінювання-прийому сигналів.

Коефіцієнт акустичного тракту – числова величина. Рахується коефіцієнт акустичного тракту через формулу акустичного тракту. Приклади основних чотирьох моделей акустичного тракту, де використовують об’ємні хвилі (рис. 4.1).

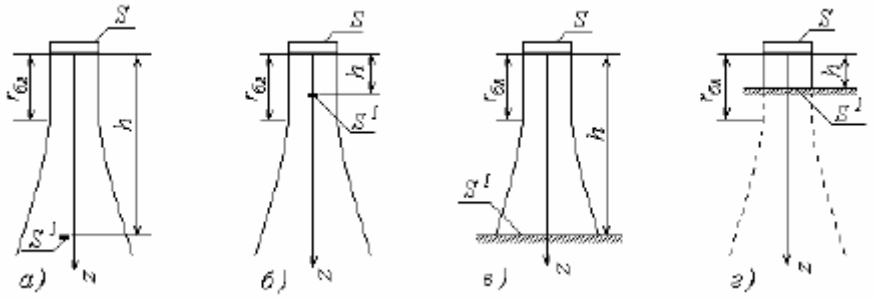


Рис. 4.1. Моделі розрахунку акустичного тракту в разі нормального введення:

а - $h >> r_{бл}$, $S^1 < S$; б - $h < r_{бл}$, $S^1 < S$;

в - $h >> r_{бл}$, $S^1 > S$; г - $h >> r_{бл}$, $S^1 > S$.

4.3. Вибір моделі розрахунку акустичного тракту

Для розрахунку акустичного тракту обираємо розрахункову модель. Будуємо схему акустичного тракту, завдяки якій визначаємо базову розрахункову модель (рис. 4.2).

Отримання інформації щодо положення і розміру уявного випромінювача отримуємо за допомогою похилого введення з заломленням. Таким чином середовище падіння і заломлення променя замінюються одним середовищем а вісь-вирівнюється.

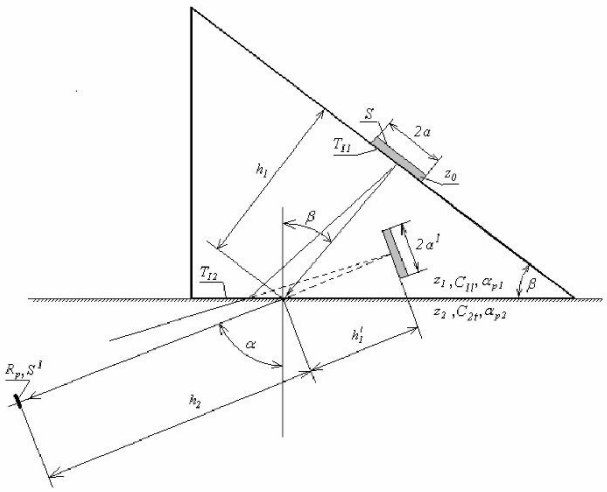


Рис. 4.2. Тракт з трансформацією хвиль з похилим кутом введення

Відповідно до схеми акустичного тракту і променевої картини проведемо еквівалентні заміни:

$$2a^1 = 2a\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}; \qquad h_1^{/} = h_1 n\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = h_1\frac{C_{1l}}{C_{2t}}\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \tag{4.4}$$

Тож ПЕП більший за дефект і тому нам підходить перша розрахункова модель. Коефіцієнт акустичного тракту:

$$K_{a.m.} = \frac{S_Д S\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}}{\lambda_t^2(\mathrm{h}_2+\mathrm{h}_1^{/})^2}\mathrm{T}_{I1}\mathrm{T}_{I2}\mathrm{R}_p\, e^{-2(\mathrm{h}_1\cdot\delta_{pO}+\mathrm{h}_2\cdot\delta_{pCT})} \tag{4.5}$$

де S - площа ПЕП; $S_Д$ - площа дефекту; $h_1^{/}$ - довжина променя від уявного ПЕП до лінії перетину середовищ; h_2 - довжина променю від лінії перетину середовищ до дефекту; λ_t - довжина поперечної хвилі в ОК; T_{I1} - коефіцієнт проходження ультразвукового променю по інтенсивності через межу ПЕП – оргскло; T_{I2} - коефіцієнт проходження ультразвукового променю по інтенсивності через межу оргскло – ОК; R_p - коефіцієнт відбиття променя від поверхні дефекту;

4.4. Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту

Вихідні дані:

- діаметр п’єзоперетворювача - $d = 6\cdot10^{-3}\ м$;
- робоча частота - $f = 5\cdot10^{6}\ Гц$;
- коефіцієнт загасання: для оргскла – $\delta_{pO} = 20\ Нп/м$,
- для сталі – $\delta_{pCT} = 6{,}8\ Нп/м$;

– швидкість звуку: в оргсклі – $C_O = 2620\ м/с$, в сталі – $C_{CT} = 5980\ м/с$, в п’єзоперетворювачі – $C_П = 3300\ м/с$.

При похилому введенні контроль проводиться поперечними хвилями, тому спочатку знайдемо чому дорівнюють критичні кути.

$$\beta_{кр.1} = \arcsin\left(\frac{C_O}{C_{CT}}\right) \tag{3.6}$$

$$\beta_{кр.1} = 25.984°$$

Розрахунок швидкості поперечної хвилі в сталі: Коефіцієнт Пуассона для сталі $\nu_{CT} = 0,28$.

$$C_{CT(t)} = C_{CT}\sqrt{\frac{1-2\nu}{2-2\nu}} \tag{4.7}$$

$$C_{CT(t)} = 3306\ \ м/с$$

$$\beta_{кр.2} = \arcsin\left(\frac{C_O}{C_{CT(t)}}\right) \tag{4.8}$$

$$\beta_{кр.2} = 52,429°$$

В діапазоні $25,98° \div 52,43°$ градусів маємо вводити хвилю в сталь . Обераємо $\beta_l = 35°$ градусів.

Розрахунок кута заломлення хвилі в сталі. Через закон Снеліуса для хвиль що падає виразимо потрібний кут:

$$\frac{\sin(\beta_l)}{C_O} = \frac{\sin(\alpha_t)}{C_{CT(t)}} \tag{4.9}$$

Звідси:

$$\sin(\alpha_t) = \frac{\sin(\beta_l) \cdot C_{CT(t)}}{C_O} \tag{4.10}$$

$$\alpha_t = \arcsin(\sin(\alpha_t)) = 46,358°$$

Для контролю при похилому введенні потрібна лише ближня зона променю.

$$\lambda_O = \frac{C_O}{f} \tag{4.11}$$

$$\lambda_O = 0,524 \cdot 10^{-3} \ м$$

$$r_{бл} = \frac{(d/2)^2}{\lambda_O} \tag{4.12}$$

$$r_{бл} = 17 \cdot 10^{-3} \ м$$

Еквівалентні перетворення для розрахунку коефіцієнта акустичного тракту.

- довжина променю в призмі - $h_1 = 6 \cdot 10^{-3} \ м$;
- площа п'єзоперетворювача - $S = 0,283 \cdot 10^{-6} \ м^2$.
-

$$h_1^{/} = h_1 \cdot \frac{C_O}{C_{CT}} \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\beta_l)} \tag{4.13}$$

$$h_1^{/} = 2,215 \cdot 10^{-3} \ м$$

$$d^{/} = d \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\beta_l)} \tag{4.14}$$

$$d^{/} = 5,06 \cdot 10^{-3} \ м$$

$$S^{/} = S \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\beta_l)} = 0,238 \cdot 10^{-6} \ м^2 \tag{4.15}$$

Розрахунок коефіцієнтів проходження і відбиття.

– густина оргскла – $\rho_O = 1200\ кг/м^3$;

– густина п’єзоперетворювача – $\rho_П = 7400\ кг/м^3$.

–

$$z_O = \rho_O \cdot C_O \tag{4.16}$$

$$z_O = 3{,}14 \cdot 10^6\ \ Па \cdot с/м$$

$$z_П = \rho_П \cdot C_П \tag{4.17}$$

$$z_П = 24{,}42 \cdot 10^6\ \ Па \cdot с/м$$

Коефіцієнт проходження ультразвукового променю по інтенсивності через межу п'єзоперетворювач - оргскло:

$$T_{I1} = \frac{4 \cdot z_П \cdot z_O}{\left(z_П + z_O\right)^2} \tag{4.18}$$

$$T_{I1} = 0{,}404$$

Для подальшого розрахунку скорисаємося зображенням залежності коефіцієнта проходження при падінні поздовжньої хвилі (рис. 3.4):

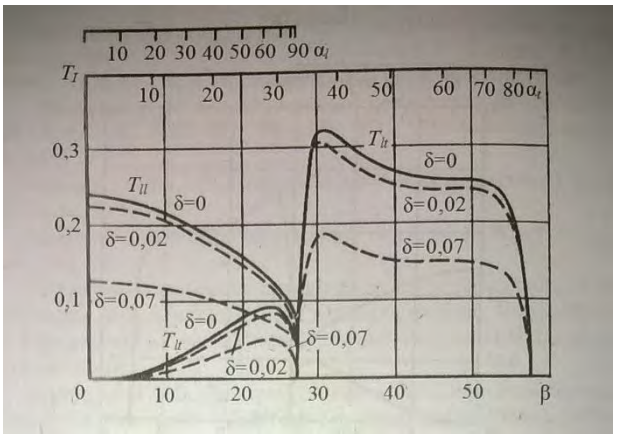


Рис. 4.4. Залежність коефіцієнта проходження при падінні поздовжньої хвилі із оргскла в сталь

Нехай товщина контактного шару δ=0,02. Маємо коефіцієнт:

$$T_{I2} = 0,27$$

Так як ми шукаємо повітряні включення візьмемо коефіцієнт найближчий до одиниці:

$$R_P = 0,99$$

Довжина поперечної хвилі в сталі:

$$\lambda_{CT} = \frac{C_{CT(t)}}{f} \tag{4.19}$$

$$\lambda_{CT} = 0,66 \cdot 10^{-3} \ м$$

Половина довжини поперечної хвилі дорівнює величині мінімального дефекту:

$$d_Д = \frac{\lambda_{CT}}{2} \tag{4.20}$$

$$d_Д = 0,33 \cdot 10^{-3} \ м$$

Візьмемо дефект більший за мінімальне значення.

$$d_Д = 0,5 \cdot 10^{-3} \ м$$

$$S_Д = \pi \cdot \frac{d_Д^2}{4} \tag{4.21}$$

$$S_Д = 0,196 \cdot 10^{-6} \ м^2$$

Коефіцієнт ослаблення акустичного тракту для дефекту мінімальних розмірів:

$$K_{a.m.\min} = 2,778 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт акустичного тракту для дефекту максимальних розмірів. Максимальний діаметр дефекту дорівнює:

$$d_{Д\max} = 2,5 \cdot 10^{-3} \ м$$

$$S_{Д\max} = \pi \cdot \frac{d_Д^2}{4} \tag{4.22}$$

$$S_{Д\max} = 4{,}909 \cdot 10^{-6} \ м^2$$

$$K_{а.т.\max} = 0{,}069$$

4.5. Розрахунок похибок

4.5.1. Похибка АЦП

Існує кілька джерел похибки АЦП. Одна з основних це похибка квантування. Вона відбувається при обмеженій роздільній здатності АЦП. При будь-якому типу аналого-цифрового перетворення цю проблему не можливо усунути.

Існує два етапи перетворення аналогового сигналу в цифровий: дискретизації за часом і квантування по амплітуді.

Для відновлення форми сигналу, вибираємо частоту АЦП, за теоремою Котельникова, яка буде вища за максимальну частоту сигналу в спектрі. Обираємо частоту дискретизації 13 МГц.

Обираємо розрядність АЦП N рівною 12.

Тепер перевіримо чи відповідає вибрана розрядність точності пред'явленої до дефектоскопа, що розробляється. Загальна похибка не має перевищувати 2%. Складова похибки АЦП не має бути більшою 1%. Вона розраховується за формулою:

$$\delta_{АЦП} = \frac{E}{U_{ПІД\min}} \cdot 100\% \tag{4.23}$$

$$E = n \cdot Q \tag{4.24}$$

де n 1 або 2; Q – крок квантування.

Крок квантування:

$$Q = \frac{U_{\text{АЦП max}}}{2^N} \tag{4.25}$$

$$Q = 1.221 \cdot 10^{-3} \ \ B$$

де $U_{\text{АЦП max}}$ - діапазон оцифровування АЦП який складає 5 В.

Візьмемо n рівним 1. Похибка квантування АЦП:

$$\delta_{АЦП} = 0.66\ \%$$

Похибка задовольняє вимоги.

4.5.2. Похибка підсилювача (дрейф нуля)

Ми маємо знати напругу зміщення на підсилювачі. Дізнатися її можна з даташиту підсилювача. В нашому випадку напруга зміщення $U_{ЗМ}$ складає 3 мВ. Розрахуємо чому дорівнює похибка:

$$\delta_{П} = \frac{U_{ЗМ}}{U_{ВХ}} \cdot 100\ \% \tag{3.26}$$

$$\delta_{П} = 0.015\ \%$$

4.5.3. Сумарна похибка

Існує два закони випадкових величин: нормальний (Гауса) і рівномірний. У нашому випадку за нормальним законом розподіляються похибки підсилювача, а за рівномірним – АЦП.

Дисперсія для нормального розподілу:

$$\sigma_{П} = \frac{\delta_{П}}{3} \tag{4.27}$$

$$\sigma_{П} = 0.005\ \%$$

Дисперсія для рівномірного розподілу:

$$\sigma_{АЦП} = \frac{\delta_{АЦП}}{\sqrt{3}} \tag{4.28}$$

$$\sigma_{АЦП} = 0.352\ \%$$

$$\sigma_{А} = \frac{\delta_{А}}{\sqrt{3}} \tag{4.29}$$

$$\sigma_{А} = 0.458\ \%$$

Сумарна похибка знаходиться за формулою:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{П}^2 + \sigma_{АЦП}^2 + \sigma_{А}^2 + \sigma_{Д}^2} \tag{4.30}$$

$$\sigma_{\Sigma} = 0.635\ \%$$

Нормальний закон розподілу:

$$\delta_{\Sigma} = \pm 3 \cdot \sigma_{\Sigma} \tag{4.31}$$

$$\delta_{\Sigma} = \pm 1.905\ \%$$

Висновки до розділу 4

В даному розділі ми обрали модель акустичного тракту та розрахували п’єзоперетворювачі. Для можливості визначення положення та розміру випромінювача, було обрано перетворювач з похилим введенням хвиль. Ми розрахували кути введення хвиль в об’єкт контролю.

Розрахувавши інструментальну похибку системи ми отримали 1.905 %. І цей результат цілком задовольняє умови завдання в якому вона не повинна бути більше 2 %.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Після аналізу багатьох систем ультразвукового неруйнівного контролю ми бачимо, що ці системи потребують вдосконалення тих що вже є, та навіть розробку нових, для отримання якісніших результатів контролю. В розділі розробки стартап проекту ми проведемо аналіз ультразвукового неруйнівного контролю основних елементів коліс на прикладі колісної пари.

Завдання проекту знаходження шляхів вдосконалення систем контролю, таких як максимальна автоматизація контролю вісей, але щоб щоб точність відповідала всім критеріям. Пришвидшення проведення контролю колісних пар, не втрачаючи якості і точності проведення контролю, та збереженням результату на персональному комп'ютері.

У таблиці 5.1викладено ідею і можливі ринки на яких можна знайти імовірних клієнтів.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи, що матиме просту конструкцію, з автоматичним проведенням контролю	1. Вагонобудівні заводи	Прискорення процесу контролю, виключення оператора
	2. Вагоноремонтні заводи	Збереження результатів контролю на персональному комп'ютері для аналізу

Тож, ця система контролю є більш вигідною для покупця, тому що контроль виробу буде проведено в кілька раз швидше, точніше та якісніше порівняно з системами де маю вплив оператор.

Проведемо аналіз потенційних переваг в порівняні з тими системами що вже є на ринку і складатимуть конкуренцію:

− визначимо техніко-економічні властивості та характеристи ідеї;

− визначимо конкурентів (проектів-конкурентів) чи товарів-аналогів, які вже є в продажу та зберемо інформацію щодо техніко-економічних властивостей та характеристик для проектів конкурентів та власної ідеї;

− проведемо аналіз зібраної інформації: для власної ідеї визнчемо показники, що мають

а) гірші значення (W, слабкі);

б) аналогічні (N, нейтральні) значення;

в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

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

№ п/п	*Техніко-економічні характеристики ідеї*	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Вартість,грн	100000	150000	175000	90000		+	
2.	Точність вимірювання, %	99%	98%	99%	97%		+	
3.	Час контролю 1 вісі, хв.	4	6	6	9			+
4.	Можливість збереження результатів контролю	+	+	+	-		+	

Можемо зробити висновок що в таблиці ми визначили перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначили попереднє кола конкурентів, що вже є на ринку, та визначили слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту. З таблиці слідує що слабких сторін в даного проекту немає, а сильні – це наська вартість та швидкість проведення контролю.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Проведемо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

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

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка системи, що матиме просту конструкцію, з автоматичним проведенням контролю.	Виготовлення на підприємстві на замовлення	Наявна	Доступна
		Замовлення компонентів та виготовлення власноруч	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: В якості оптимальної технології реалізації проекту обрано замовлення окремих компонентів та складових автоматизованої системи та виготовлення її на підприємстві.				

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Прорахуємо ринкові можливості та ризики які можуть перешкодити реалізації проекту.

Даний аналіз з урахуванням стану ринкового середовища дозволить спланувати напрями розвитку проекту.

В таблиці 5.4. проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Таблиця 5.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патент на проект
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка системи з метою підтвердження заданої точності виміру,та швидкості контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	85%

Тож ми бачимо що ринок сприятливий для старту проекту за попереднім оцінюванням.

Визначимо імовірні групи клієнтів, їх характеристики, та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Точний та швидкий контроль, а також отримання, обробка, та зберігання інформації в електронному вигляді	Підприємства, приватні компанії, фізичні особи	Орієнтація деяких цільових груп на більш дешеві системи контролю вісей колісних пар	Низька ціна; Висока точність; Ефективність; Висока швидість контролю

Із даної таблиці видно, що ми визначили цільову аудиторію та її основні вимоги до товару даного виду,основні вимоги до системи, та основні характеристики системи, які формують поведінку клієнтів відносно нашої системи.

Нажаль є загрози при застосуванні даної технології. Для своєчасного запобігання необхідне якісне обладнання і працювати за таким обладнання мають професіонали. І потрібно вчасно та якісно проводити технічний огляд та обслуговування такого обладнання.(таблиця 5.6). Далі аналізуємо ринкове середовище.

Складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 5.65.7).

Таблиця 5.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Вихід на ринок конкурента	Знизити ціну на систему контроля вісей колісних пар; Запропонувати безкоштовну установку та обслуговування системи
2.	Економічний	Зростання цін на компоненти	Пошук нових постачальників
3.	Технічний	Збої в точності виміру, вихід з ладу приладу	Калібрування та більш кваліфіковане обслуговування приладу
4.	Постачання	Невчасне постачання компонентів	Пошук нових постачальників
5.	Інфляція	Зростання ціни на компоненти а відповідно і на сам прила	Прив’язка ціни виробу до міжнародної валюти

Таблиця 5.4. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Ліцензоване виробництво, можливість контролю додаткової зони у	Підвищення рівня кваліфікації персоналу для отримання ліцензії, удосконалення прилад

		вісей колісних пар	
2.	Економічний	Зменшення податків на даний вид виробництва	Збільшення обсягів виробництва та зменшення ціни на продукцію
3.	Технічний	Точний котнроль, який завдяки швидкості забезпечує більшу кількість проконтрольованої продукції за 60 хв.	Впровадження нової технології виготовлення приладу
4.	Ринок збуту	Можливість виходу на міжнародний ринок	Розробка та виготовлення продукту за європейськими стандартами
5.	Попит	Збільшення попиту на даний вид товару	Збільшення виробництва та впровадження знижок та акцій на товар

В таблицях 5.6 та 5.7 наведено основні фактори що загрожують та сприяють ринковому впровадженні даного проекту.

В таблиці 5.8 проводиться аналіз пропозиції, тобто визначаються загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 5.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможно

		ю)
1. Вказати тип конкуренції-олігополія	Існування невеликої кількості компаній, що працюють в даній сфер	Якісна продукція, правильна цінова політика, висока якість обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби-міжнародна	Представники в різних країнах	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою-міжгалузева	Підприємства працюють в межах декількох галузей	Пропозиція товару за більш низькою ціною
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Пропонують товари одного виду	Реклама, простота в користуванні
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Вибір оптимального варіанту ціна/якість комплектуючих елементі
6. За інтенсивністю - не марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсами і аудиторією клієнтів	Отримання держзамовження і наступне розширення ринк

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю сил М. Портера.

Таблиця 5.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналі	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники

зу	УкрНДІК, АктивТест Груп, Асоціація «ОКО», РІФТЕК	Економія на масштабах Доступ до ресурсів	Значення розміру поставок для постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки:	Висока конкуренція	Є можливість виходу на ринок за рахунок держзамовлення	Постачальники не впливають на умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та простої в керуванні продукції	Більш відомі компанії захоплюють ринок

Зробивши аналіз даних з таблиць ми розуміємо що в даний час потрібно пропонувати ринку якісне обладнання на рівні відомих компаній, проте за трохи нижчою ціною ніж в компаній конкуренті.

В таблиці 5.10 наведемо фактори конкурентоспроможності, які засновані на аналізі конкуренції, який проведений в табл. 5.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 5.6-5.7) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Наявність сертифікатів та патенту	Наявність таких документів не дає можливості використання нашої технології

		конкурентами
2	Якість продукту	Висока якість продукту дозволить нам швидко закріпитись на ринку
3	Ціна	Визначення стану ціни на ринку та встановлення її дещо нижчою, ніж в конкурентів
4	Сервісне обслуговування	Якісне обслуговування приваблює клієнтів

Таблиця 5.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Ультразвукової системи контролю вісей колісних пар»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER_Kompany						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Наявність сертифікатів та патенту	17	+						
2	Якість продукту	17	+						
3	Ціна	14					+		
4	Сервісне обслуговування	16		+					

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та є досить хорошими для системи ультразвукового неруйнівного контролю вісі колісних пар. Швидкий час контролю,сервісне обслуговування впродовж всього часу експлуатації та вигідна ціна є головними перевагами.

Складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), що наведені в таблиці 5.12, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, що наведені в таблиці 5.11.

Таблиця 5.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1.Швидкий час контролю 2. Собівартість продукції нижча, ніж в конкурентів	1. Залежність ціни продукції від ціни постачальників на комплектуючі елементи та матеріали

3. Якісне сервісне обслуговування 4.Висока точність	
Можливості: 1. Вихід та закріплення на ринку 2. Вихід на міжнародний ринок 3. Отримання держзамовлення 4. Збільшення попиту на систему 5. Ліцензійне виробництво	Загрози: 1. Інфляція 2. Поява нових конкурентів на ринку 3. Зростання цін на компоненти 4. Невчасне постачання компонентів 5. Вихід з ладу приладу чи збої і точності вимір

Таблиця 5.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	11 місяців
2	Отримання держзамовлення	Висока	10 місяців
3	Пошук інвестицій	Висока	12 місяців

Тож проаналізувавши можливості виходу на ринок можна зробити висновок, що головною альтернативою є вихід на держзамовлення завдяки яким отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Визначаємо стратегію охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Приватні та державні компанії, промислові компанії, вагонобудівні та вігоноремонтні заводи	Продукт затребуваний	Високий	Помірна	Необхідність мати ліцензію
Які цільові групи обрано: Провівши аналіз цільових груп споживачів було прийнято рішення співпрацювати як з приватними і державними компаніями так із вагоноремонтними заводами.					

Проаналізувавши потенційні группи споживачів ми обрали цільові групи для реалізації свого продукту та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію масового маркетингу, із своїм ринком.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 5.15)..

Таблиця 5.12. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Удосконалення даного проекту	Диференційований маркетинг	Якість, точність виміру, ціна	Диференціації

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

Таблиця 5.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Шукати нових та переманювати існуючих	Ні,в цьому немає необхідності	Стратегія виклику лідеру

Обравши потенційний сегмент імовірних клієнтів, проаналізувавши вимоги імовірних клієнтів розробляємо стратегію позиціонування.

Таблиця 5.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Ціна, точнічть, надійність, швидкість контролю.	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, точність	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

Після проведення даного аналізу маємо прийняти систему рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Висока точність вимірювання	Похибка Вимірювання становить тільки 0.5%	Використання кращого по якості та характеристиках п’єзоелектричного перетворювача та елементи блоків обробки сигналів
2.	Низька ціна	Пропонування товару за дещо нижчою ціною ніж в	Збільшення кількості клієнтів за рахунок ціни та якості продукції

		конкурентів	
3.	Швикдість контролю	Швикість сканування ОК майже в двічі більша за конкурентів	Збільшення швидкості контролю системи за рахунок більш чутливих перетворювачів та швидких і точних крокових двигунів.
4.	Якість	Довший термін роботи системи	Постійне якісне обслуговування системи

Таблиця 5.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована система ультразвукового контролю вісей колісних пар		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Точнічть контролю 2.Час контролю однієї вісі 3.Обробка та зберігання данних в цифровому вигляді	99% 4 хв +	
	Якість: ГОСТ 14782-86 контроль неруйнівний		
	Пакування:		
	Марка: «Ультразвукові системи НК» М3		
III. Товар із підкріпленням	До продажу включається		
	Після продажу включається		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок оформлення патенту (отримання сертифікату про інтелектуальну власність) та надання кожному проданому приладу індивідуального ліцензійного коду який необхідний для авторизації та підключення до системи..			

В таблиці 5.19 ми розробляємо продукт що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Далі визначаємо цінові меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, керуємося цін конкурентів, та доходів потенційних клієнтів (табл. 5.20).

Таблиця 5.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	70000 грн	90000-150000 грн	300000-1000000 грн	80000-140000 грн

За допомогою таблиці отримуємо верхню і нижню межі вартості товару.

Таблиця 5.18. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж в роздріб Посилкова торгівля Продаж через інтернет сайти	Безпосередній продаж товару клієнту, оформлення та відправлення замовлення,	Висока	Оптовий продаж продукції

		Установка та налаштування системи.		

Таблиця 5.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Спостереження за новинками на ринку, Замовлення товарів онлайн	Публікації Інтернет Виставки	Ефективність Ціна Швидкість Тосність	Донести переваги даної продукції	

Висновок до розділу 5.

Розробка даного стартап проекту показала що нашу систему можна виводити на ринок збуту. Завдяки таким перевагам як автоматизація та швидкість проведення контролю вісі колісної пари. Ми підтвердили рентабельність проекту. Дивлячись на те, що багато потенційних клієнтів потребують вдосконалення свого обладнання та зацікавлена в даних системах контролю можна вводити даний продукт на ринок навіть за існуючої конкуренції. Необхідно розуміти що на ринку вже існують аналоги даної системи. І для успішного виходу на ринок потрібно надати нашій системі такі властивості, які будуть значно виділятись серед конкурентів. На

даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

– Вдосконалити конструкцію та технологію виробництва

– Зробити якісну рекламну компанію

– На початку введення продукту на ринок зробити презентацію та зробити знижки на обмежену кількість продукції.

– Постійно вдосконалювати продукт

– Прислуховуватись до клієнтів

В процесі розробки ми обрали дослідження методів підвищення точності проведення та підвищення швидкості контролю.

Є потенціал росту та виходу на міжнародні ринки. Це обумовлено тим, що швидкість контролю лише 4 хв, а головне те, що акустичні системи неруйнівного контролю можуть швидко проводити обробку інформації та зберігання її для подальшого аналізу і визначати одразу вісь з дефектом, що є перевагою над конкурентами.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було проведено дослідження можливості розробки ультразвукової системи контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

В результаті проведеного аналізу існуючих систем та методів неруйнівного контролю основних елементів коліс залізничного транспорту були зроблені висновки, що найбільш раціональним для побудовани автоматизованої системи є луна-імпульсний метод який має ряд переваг в порівнянні з іншими методами: односторонній доступ до ОК, високу точність визначення координат дефектів, висока чутливість до внутрішніх дефектів та ін.

Для рішення поставленої задачі було запропоновано розробити багатоканальну систему з автоматичним проведенням контролю.

В процесі реалізації розробки були проведені розрахунки акустичного тракту та геометричних розмірів давача.

Розрахована інструментальна похибка відповідає поставленому завданню.

Проведення моделювання АВД діаграми з урахуванням обраної моделі акустичного тракту показало що розроблена система може виявити дефект розміром більшим за2 мм.

На основі проведених розрахунків були розроблені структурна та принципові схеми.

Проведений аналіз стартап-проекту продемострував реальні можливості ринкового впровадження даної системи контролю та потенційних напрямів реалізації.

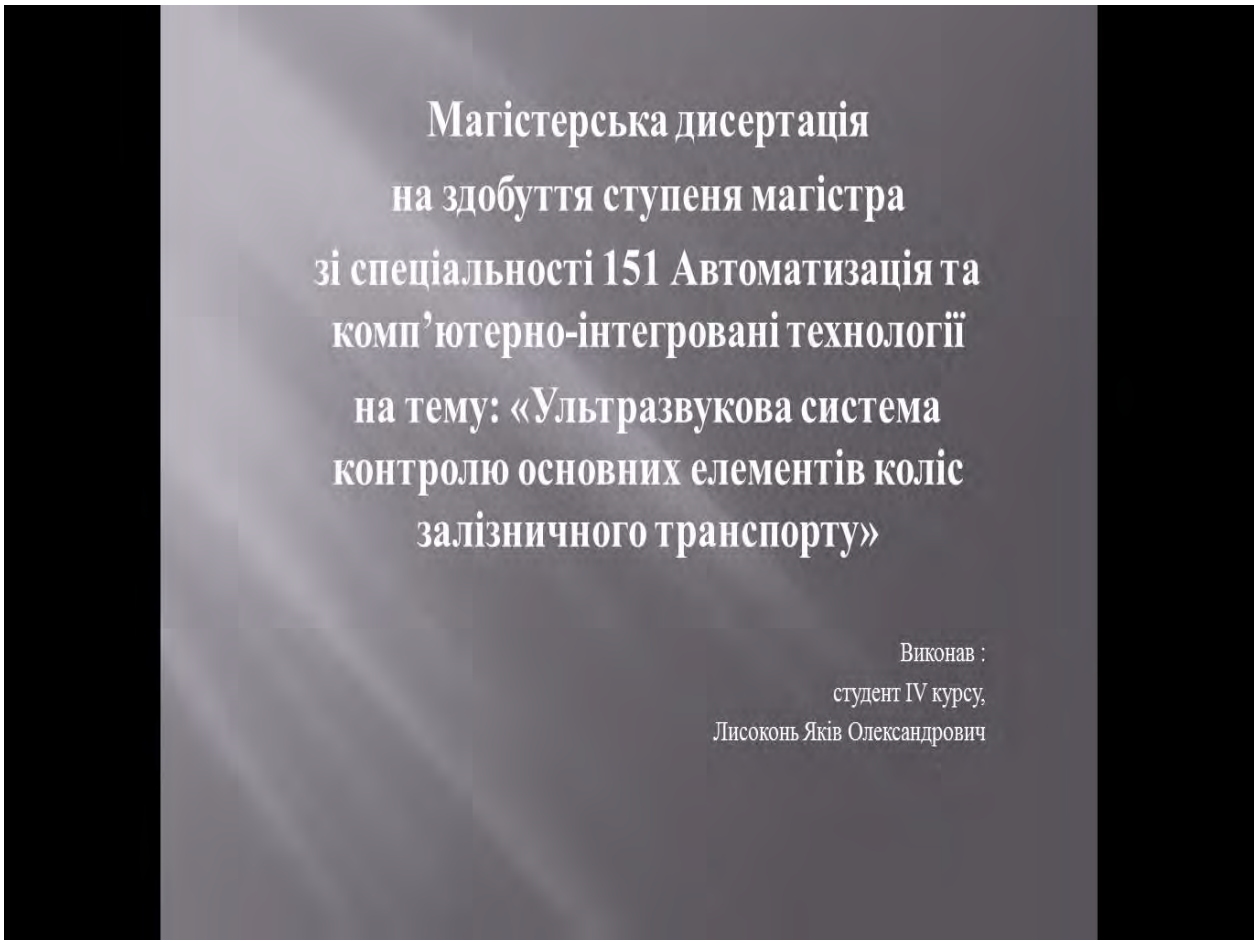
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – Київ: НТУУ \"КПІ\", 2009. – 431 с.
2. Промислові засоби автоматизації. Частина 1. Вимірювальні пристрої / [А. К. Бабінченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.]. – Харків: ТОВ \"РОМИ\", 2001. – 501 с. – (НТУ \"ХПІ\").
3. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
4. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник. - М.: Металлургия, 1991. - 752 с.
5. Гурвич А. К. Неразрушающий контроль / А. К. Гурвич, И. Н. Ермолов, С. Г. Сажин. – М, 1992. – 181 с.
6. Методичні вказівки «Акустичні перетворювачі» / Уклад.: Цапенко В. К.- Київ, 2004.- 86с
7. Клюєв В.В. Неруйнівний контроль і діагностика / Соснін Ф.Р. /Довідник під редакцією Клюєва В.В. - Машинобудування 1995 р.
8. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / Высшая школа. – Москва, 1991. – 283 с
9. Кретов Е. Ф Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. — 3 изд. — М.: СВЕН, 2007. — 296 с.
10. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
11. Очков В. Ф. MathCAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов.—СПб.:БХВ-Петербург,2007.—368с.
12. Беркута В.Г., Валевич С.М. Ультразвукова дефектоскопія. Навчальний посібник. - Кіровоград: ТОВ «Імекс-ЛТД», 2006. -177с

13. Неразрушающий контроль, Справочник в 7 томах под ред. В.В.Клюева, том 3, Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2004.
14. Система автоматизированного контроля осей колесных пар СНК-3 [Електронний ресурс] // ndt.com.ua — Режим доступу до ресурсу: http://www.ndt.com.ua/ru/products/at/ndt-of-railway-axles-snk-os-3
15. Назначение УМПК-39 [Електронний ресурс] // ndt.com.ua — Режим доступу до ресурсу: http://www.ndt.com.ua/ru/products/at/umpk-39
16. Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 [Електронний ресурс] // ultracon-service.com.ua — Режим доступу до ресурсу: http://www.ultracon-service.com.ua/index.php/ru/articles/item/6-ultrasonic-flaw-detector-ud2-70-article
17. Ермолов И.Н., Вопилкин А.Х., Бадалян В.Г. Расчеты в ультразвуковой дефектоскопии (краткий справочник). НПЦ «ЭХО+» М., 2000. -108с.
18. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання). Навчальний посібник. –Кіровоград: «Імекс ЛТД», 2006.- 448с.
19. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля. Под ред.И.Н.Ермолова. Машиностроение, М., 1986.-280с.
20. Ермолов И.Н.,Алешин Н.П.,Потапов А.И. Акустические методы контроля. Под ред.В.В.Сухорукова. Книга 2-я из серии NDT. Высшая школа, М., 1991.-283с.
21. Циба Є. Ремонт колісних пар [Електронний ресурс] / Є. Циба. □ 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://raillook.com/materialy/transport/jeleznodorojniy/vagony-i-vagonnoe-hozyaistvo/remont-kolisnih-par-word/
22. Аналіз ультразвукової дефектоскопії осей колісних пар вагонів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://4ua.co.ua/transport/ta3ac79a4c43a89421306c36_0.html\

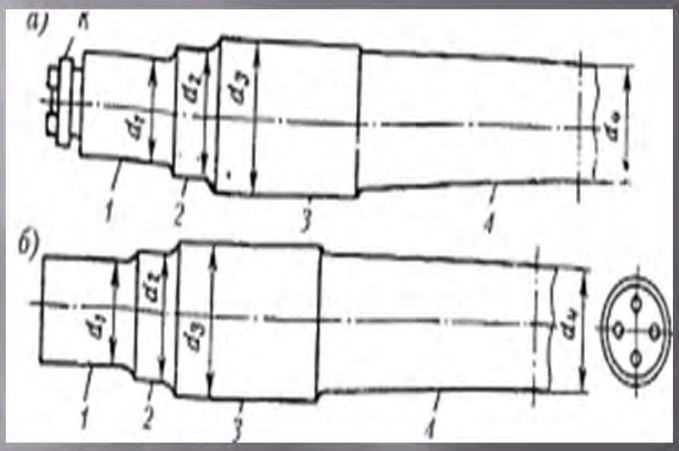
ДОДАТКИ

Презентація



Одним з найпопулярніших методів неруйнівного контролю виробів з металу є ультразвуковий неруйнівний контроль.

Ультразвукова система контролю складових елементів коліс залізничного транспорту дозволяє без повного розбирання вузлів проводити контроль основних частин таких як колісна пара. Колісна пара - елемент ходової частини рейкових транспортних засобів, який представляє собою пару коліс, жорстко посаджених на вісь, які завжди обертаються разом з віссю як єдине ціле.



Зовнішній вигляд осей колісних пар:

а — РУ1; б — РУ1Ш; К — нарізна частина осі; 1 — шийка; 2 — передпідматочинна частина; 3 — підматочинна частина осі; 4 — середня частина осі; d1 — діаметр шийки; d2 — діаметр передпідматочинної частини; d3 — діаметр підматочинної частини; d4 — діаметр середньої частини.

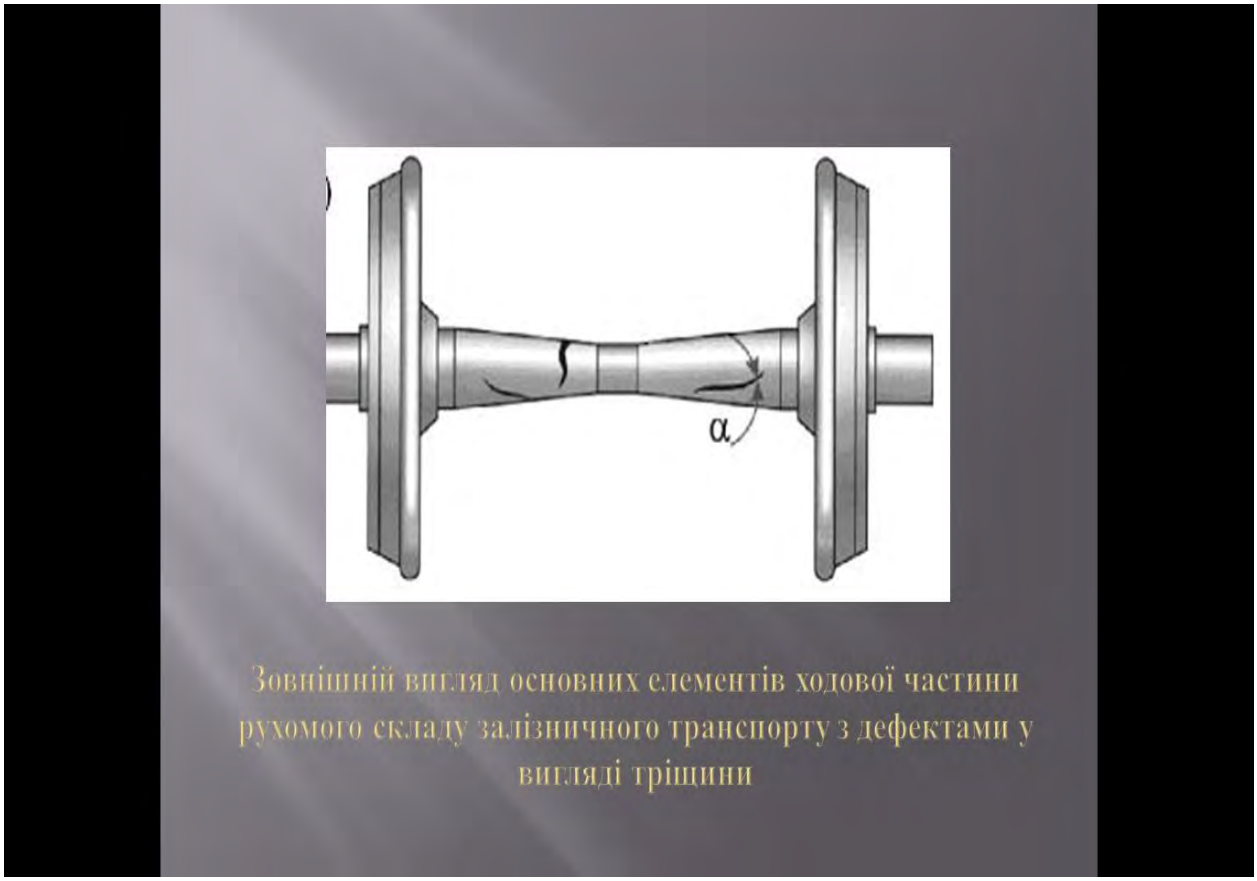
Метою магістерської дисертаційної роботи є розробка автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

Для реалізації поставленої мети було сформовано такі завдання:

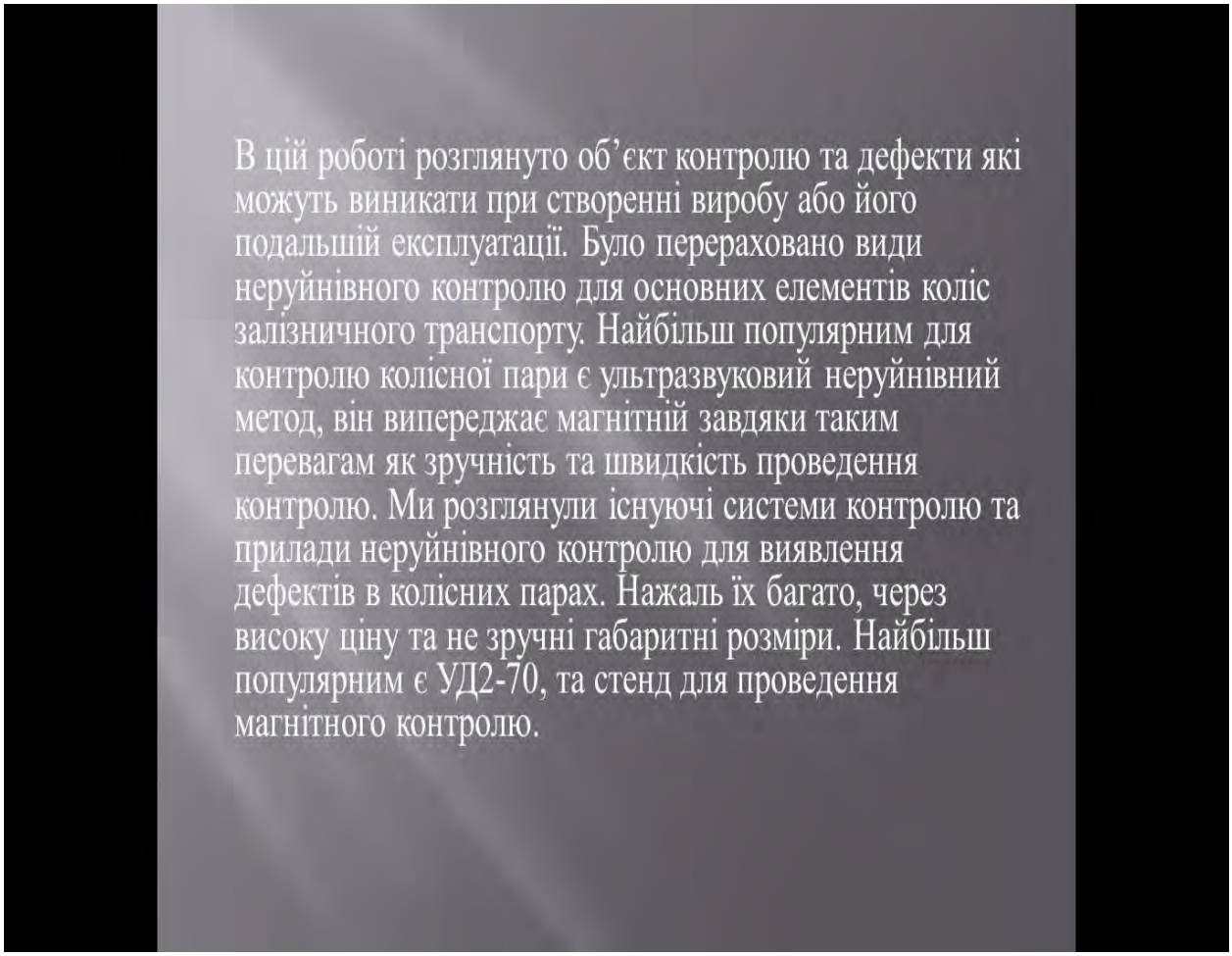
- проаналізувати сучасні засоби ультразвукового неруйнівного контролю;
- обґрунтувати необхідність та можливість розробки автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту;
- обґрунтувати вибір автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого ультразвукового неруйнівного контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.

Предметом дослідження є методи та засоби ультразвукового неруйнівного контролю основних елементів коліс залізничного транспорту.



Зовнішній вигляд основних елементів ходової частини рухомого складу залізничного транспорту з дефектами у вигляді тріщини

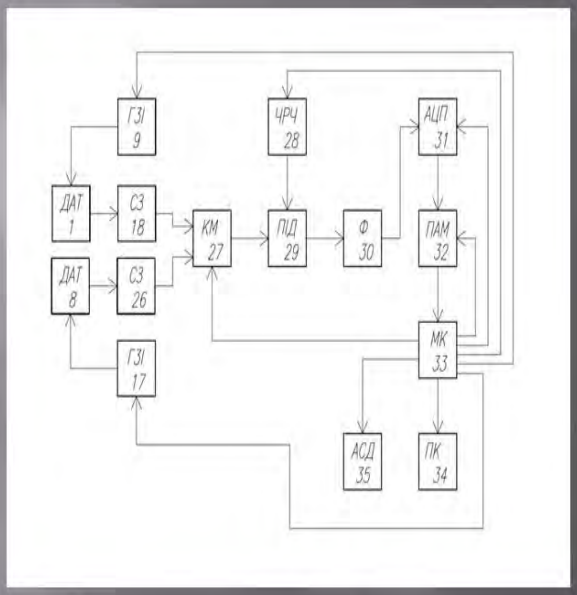

В цій роботі розглянуто об’єкт контролю та дефекти які можуть виникати при створенні виробу або його подальшій експлуатації. Було перераховано види неруйнівного контролю для основних елементів коліс залізничного транспорту. Найбільш популярним для контролю колісної пари є ультразвуковий неруйнівний метод, він випереджає магнітній завдяки таким перевагам як зручність та швидкість проведення контролю. Ми розглянули існуючі системи контролю та прилади неруйнівного контролю для виявлення дефектів в колісних парах. Нажаль їх багато, через високу ціну та не зручні габаритні розміри. Найбільш популярним є УД2-70, та стенд для проведення магнітного контролю.

- Зовнішній вигляд ультразвукового дефектоскопу УД2-70

Як працює система та її характеристики?

До переваг можна віднести точність контролю, можливість отримання координат та просторову орієнтацію дефекту в об'єкті контролю, розмір дефекту. Є можливість створення бази даних, яка буде класифікувати об'єкти контролю що пройшли перевірку даною системою.

До недоліків можна віднести великі розміри системи, необхідність завантаження об'єкта контролю, ціна та час проведення перевірки одного виробу, що складає приблизно 10 хвилин.



Було складено структурну схему блоку дефектоскопія автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту, яка за поставленими умовами буде перевіряти об’єкт контролю на наявність дефектів

Алгоритм роботи автоматизованої системи ультразвукового контролю основних елементів коліс залізничного транспорту
Початок
Внесення в систему початкових даних
Створення зондуючого імпульсу
Аналогова обробка сигналу
АЦП
Передача цифрових данних
Зміна позиції контролю
Кут 360°
Ні
Так
2
1

Розрахована інструментальна похибка відповідає поставленому завданню.

Проведення моделювання АВД діаграми з урахуванням обраної моделі акустичного тракту показало що розроблена система може виявити дефект розміром більшим за 2 мм.

На основі проведених розрахунків були розроблені структурна та принципові схеми.

Проведений аналіз стартап-проекту продемонстрував реальні можливості ринкового впровадження даної системи контролю та потенційних напрямів реалізації.