

**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 осей колісних пар»**

Виконав :  
студент ІV курсу, групи ПК-71мп  
Баглай Євгеній Олегович \_\_\_\_\_

Керівник:  
к.т.н.  
Лисенко Ю. Ю. \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стар-тап проекту:  
к.е.н., доц.  
Бояринова К. О. \_\_\_\_\_

Рецензент: \_\_\_\_\_

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

Київ – 2018 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**

**Баглаю Євгенію Олеговичу**

1. Тема дисертації «Ультразвукова система контролю осей колісних пар», науковий керівник дисертації Лисенко Юлія Юріївна, к.т.н., затверджені наказом по університету від «05»Листопада 2018р. №4078-с
2. Термін подання студентом дисертації 14 грудня 2018р
3. Об'єкт дослідження: процес автоматизованого акустичного неруйнівного контролю осей колісних пар.
4. Вихідні дані : матеріал осей колісних пар – сталь , середня довжина осей – 2100 мм , контрольовані параметри – наявність внутрішніх дефектів та порушення структури матеріалу осей, частота випромінювання ультразвуку – 5 МГц, апаратна похибка не більше 2 %.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити :аналіз методів контролю осей колісних пар, аналіз існуючих систем та приладів для контролю осей колісних пар, розробка та розрахунок ультразвукової системи контролю осей колісних пар, 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	Бояринова Катерина Олександрівна, к.е.н., доц.		

## 9. Дата видачі завдання 03 вересня 2018р

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд існуючих приладів та систем контролю осей колісних пар	1.09.18-30.09.18	
2	Аналіз автоматизованих ультразвукових систем контролю осей колісних пар	1.10.18-15.10.18	
3	Розробка системи	15.10.18-01.11.18	
4	Моделювання АВД діаграми	01.11.18-05.11.18	
5	Розрахунок розмірів п'єзоперетворювача	05.11.18-09.11.18	
6	Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту	09.11.18-20.11.18	
7	Розрахунок похибок	20.11.18-25.11.18	
8	Розробка алгоритму системи	25.11.18-27.11.18	
9	Розробка стартап-проекту	27.11.18 – 02.12.18	
10	Аналіз результатів та написання висновків	02.12.18 – 09.12.18	

Студент

Баглай Є.О.

Науковий керівник дисертації

Лисенко Ю.Ю.

## РЕФЕРАТ

Дана магістерська дисертація складається з 76 сторінок, 17 ілюстрацій, 25 таблиць, 19 джерел за переліком посилань.

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 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

This master's dissertation consists of 76 pages, 17 illustrations, 25 tables, 19 sources according to the list of references.

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. Аналітичний огляд.....	11
1.1. Огляд об'єкта дослідження та опис основних дефектів.....	11
1.2. Методи контролю вісей колісних пар.....	14
1.2.1. Магнітна дефектоскопія.....	14
1.2.2. Ультразвукова дефектоскопія.....	15
1.2.3. Аналіз існуючих систем та приладів для контролю вісей колісних пар.....	17
2. РОЗДІЛ 2. Аналіз автоматизованих ультразвукових системи контролю осей колісних пар.....	26
3. РОЗДІЛ 3. Розробка автоматизованої ультразвукової системи контролю осей колісних пар.....	33
3.1. Розроблення узагальненої структури автоматизованої системи ультразвукового контролю осей колісних пар.....	34
3.2. Алгоритм роботи системи.....	39
3.3. Моделювання АВД діаграми.....	41
4. РОЗДІЛ 4. Розрахункова частина.....	44
4.1. Розрахунок параметрів п'єзопретворювача.....	44
4.2. Моделі розрахунку акустичного тракту.....	44
4.3. Вибір моделі розрахунку акустичного тракту.....	46
4.4. Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту.....	47
4.5. Розрахунок похибок.....	52
4.5.1. Похибка АЦП.....	52
4.5.2. Похибка підсилювача (дрейф нуля).....	54
4.5.3. Сумарна похибка.....	54

5. РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	56
5.1. Опис ідеї проекту.....	56
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	58
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	59
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	67
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	70
Висновки.....	75
Список використаних джерел.....	76

## 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	Автоматизована система
РШХ	Ревербераційношумова характеристика



## ВСТУП

Найбільш широко для контролю металовиробів в промисловості і на транспорті застосовується акустичний неруйнівний контроль, зокрема ультразвуковий луна-імпульсний метод. Завдяки здатності ультразвукових хвиль до проникнення вглиб металевих об'єктів (деталей, конструкцій тощо) існує можливість виявляти поверхневі, підповерхневі та дефекти, що знаходяться глибоко в середині. Такі переваги ультразвукових методів неруйнівного контролю, як відносна проста конструкції приладів, висока продуктивність контролю та можливість її подальшого підвищення за рахунок автоматизації розшифровки та інтерпретації результатів, забезпечили їм одне з провідних місць в дефектоскопії металовиробів.

Проведення контролю основних елементів рухомого складу залізниць та метрополітенів без повного розбирання вузлів являє собою унікальну особливість ультразвукового методу. Цей метод незамінний, наприклад, при дефектоскопії передпідматочинних частин і шийок осей колісних пар, що приєднані до колісних центрів та кілець роликотітників, а також валів тягових електродвигунів в зоні під залізним осердям якоря. Відсутність необхідності повного розбору цих вузлів в процесі проведення ремонтних робіт збільшує їх термін експлуатації, приносить величезну економію коштів і підвищує продуктивність ремонту рухомого складу. Це обумовлює його сучасне застосування в процесі контролі колісних пар. Проте, на сьогодні все ще актуальною задачею є необхідність удосконалення систем ультразвукового контролю осей колісних пар, які б забезпечували високий рівень автоматизації процесу контролю, підвищення його швидкодії та високу інформативність.

*Метою магістерської дисертаційної роботи є розробка автоматизованої системи ультразвукового контролю осей колісних пар та*

моделювання процесів формування сигналів. Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- проаналізувати сучасні засоби акустичного неруйнівного контролю та існуючі методи аналізу сигналів перетворювачів, обґрунтувати необхідність та можливість розробки автоматизованої системи ультразвукового контролю осей колісних пар ;

- обґрунтувати вибір автоматизованої системи ультразвукового контролю осей колісних пар.

*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.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР

В даному розділі наведено стислий огляд наукових праць, які стосуються методів акустичного неруйнівного контролю та їх практичної реалізації на сучасному етапі розвитку науки і техніки. Особлива увага приділена питанням розвитку методів контролю осей колісних пар, та можливість їх повної автоматизації. На основі зробленого огляду сформульовані мета та завдання дослідження, що покладені в основу даної роботи.

### 1.1. Огляд об'єкта дослідження та опис основних дефектів

В даній магістерській дисертації об'єктом дослідження є процес автоматизованого акустичного неруйнівного контролю осей колісних пар.

Осі виготовляються з вуглецевої сталі, заготівля яких може бути здійснена методом кування або прокаткою на прокатному стані. Після кування заготовку осі піддають термообробці - нормалізації з метою зняття внутрішніх напружень. В результаті цього метал заготовки повинен відповідати за механічними властивостями встановленим характеристикам. Заготівлю обробляють на токарних верстатах з подовженою станиною. Середина осі позначається сферичним керном, при цьому різниця розмірів від напольгливих торців предпоступічних частин до керна не повинна перевищувати 1мм. Шейки осі, подступічніє і середні частини з їх галтелями упрочняють методом накатки, яку виробляють на спеціальному накатну або токарному верстатах, обладнаних накатними пристроями. Методом накатки осей отримують необхідну шорсткість поверхні, а також підвищують втомну міцність і збільшують поверхневу твердість металу на 20-30%. При цьому глибина зміцненого шару становить 4-5мм.

Переходи між частинами осі різних діаметрів виконані плавними, т.зв. галтелі для зниження концентрації напружень. Ось складається з наступних частин: середня (міжпередматочинна), вільна від елементів; передпідматочинних для посадки в гарячому стані лабіринтових кілець букс; підматочинних для напрессовки колісних центрів; шийки осі для посадки в гарячому стані внутрішніх кілець підшипників букс і різьбові для осьової корончатої гайки. У торцевих частинах осі в спеціально виконаних пазах встановлюють стопорні планки. В глибині паза під стопорну планку є два різьбові отвори під болти кріплення планки. В глибині паза під стопорну планку є два різьбові отвори під болти кріплення планки і центральний отвір, що використовується для установки при осі на верстаті при її обробці.

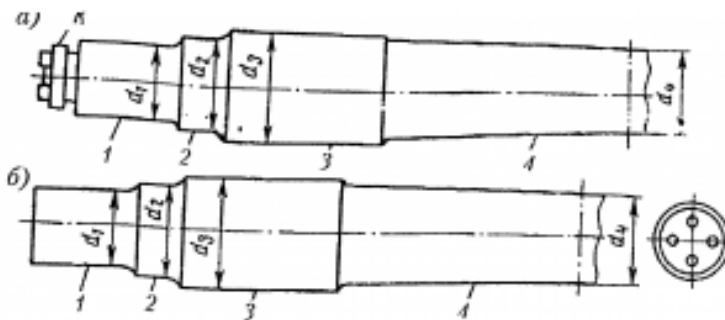


Рис 1.1. – Осі колісних пар: а — РУ1; б — РУ1Ш; К — нарізна частина осі; 1 — шийка; 2 — передпідматочинна частина; 3 — підматочинна частина осі; 4 — середня частина осі;  $d_1$  — діаметр шийки;  $d_2$  — діаметр передпідматочинної частини;  $d_3$  — діаметр підматочинної частини;  $d_4$  — діаметр середньої частини.

Сама по собі вагонна вісь є складовою частиною колісної пари і являє собою сталевий брус круглого, змінного по довжині поперечного перетину. Осі розрізняються між собою розмірами, які визначаються в залежності від заданого навантаження; формою шийки осі відповідно з застосовуваним типом підшипника - для підшипників кочення і

підшипників ковзання; формою круглого поперечного перерізу – суцільні або порожнисті; способом торцевого кріплення підшипників кочення на шийці осі – корончатою гайкою або шайбою.

В процесі експлуатації вісь працює при нестационарному режимі навантаження при обертанні колісної пари. Тому вона відчуває знакозмінні напруги з амплітудами змінної величини. такий нестационарний режим вимагає застосування комплексу заходів щодо підвищення межі витривалості осьової сталі.

Специфіка роботи вагонної осі полягає в тому, що при навантаженні вона відчуває напруги згину, які за площею поперечного перерізу розподіляються нерівномірно.

Основні типи дефектів виявляються в осі колісної пари при контролі:

- тріщини на циліндричних поверхнях шийок і передступічних частинах;
- тріщини в галтелях шийок і передпідматочинних частин;
- тріщини в підматочинній частини;
- поперечні тріщини в середній частині.
- раковини ;
- не суцільності.

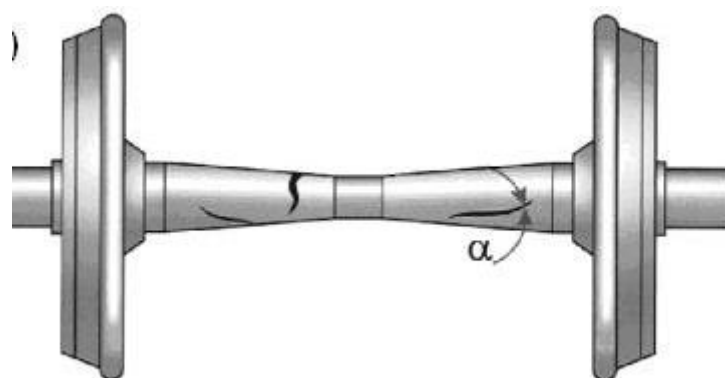


Рис.1.2. Тріщини в різних частинах вісі колісної пари

З метою виявлення в елементах колісних пар тріщин та дефектів інших типів, які ставлять під питання безпеку експлуатації вагонів поїздів,

впродовж усього технологічного процесу обстеження та ремонту колісних пар передбачено проведення магнітної та ультразвукової дефектоскопії.

## 1.2. Методи контролю осей колісних пар

### 1.2.1. Магнітна дефектоскопія

Відомо, що магнітна дефектоскопія широко використовується для контролю шийок і передматочинних частин осей колісних пар в процесі візуального обстеження зі зніманням кілець, внутрішніх кілець роликів підшипників на гарячій посадці без знімання останніх, середньої частини осі колісних пар, підматочинних частин осі після проведення обточування і накатки їх перед запресовуванням[12]. Традиційні магнітні методи контролю ґрунтуються на реєстрації магнітного поля розсіювання, викликаного наявністю дефектів в ОК, шляхом візуального огляду ОК. Виявлення магнітного поля розсіювання проводиться з використанням феромагнітного порошку, що має здатність під дією цього поля скупчуватись на граничних межах дефекту в середині ОК.

Технологія магнітопорошкового методу контролю передбачає наступні етапи:

- підготовка елементів колісної пари для контролю та діагностики (в тому числі й очищення);
- намагнічування колісної пари;
- візуальний контроль ОК після нанесення магнітного порошку, суспензії;
- у випадку виявлення дефекту в середині ОК, його бракування;
- розмагнічування ОК.



Рис.1.3. Стенд для магнітного контролю вісі

На колісну пару, що підлягає контролю, магнітний порошок наносять двома способами: сухим або мокрим. При застосуванні першого способу для виявлення тріщин застосовують сухий магнітний порошок марки ПЖ6М 1-ї або III-ї категорії (ГОСТ 9849-74), при другому — суспензію з магнітними властивостями. Для контролю колісних пар в діючому змінному магнітному полі застосовують дефектоскопи солеїдного типу: переносні ДКМ-1Б, ДГЕ, ДГС-М; стаціонарні ДГН та ОД1-1 з роз'ємним солеїдом.

#### 1.2.2. Ультразвукова дефектоскопія

Ультразвукові методи контролю засновані на властивості ультразвукових хвиль відбиватися від неоднорідностей в середовищі, по якій вони поширюються, або поглинаються цим середовищем[6]. Перевагами ультразвукових методів є можливість контролю внутрішніх і закритих зон виробів, можливість автоматизації розшифровки результатів контролю, а недоліками їх є необхідність «акустичного контакту» перетворювача (шукача) з контрольованим виробом, а також труднощі

його застосування для контролю виробів з грубими, неочищеними поверхнями і неоднорідною структурою

Ультразвукова дефектоскопія застосовується для контролю: підматочинних частин осі при повному огляді у колісних пар для підшипників кочення, що не вимагають ремонту зі зміною елементів; шийок і передпідматочинних частин осей для роликів підшипників - при повному огляді колісних пар без зняття внутрішніх і лабіринтових кілець з циліндричними роликівими підшипниками на гарячій посадці і без зняття лабіринтових кілець з роликівими підшипниками на втулкової посадці; осей з метою перевірки «прозвучування» їх у знов сформованих колісних парах[11].

В якості випромінювача і приймача ультразвукових коливань застосовують п'єзоелементи з титану барія або цирконату титану свинцю, які мають здатність перетворювати електричну напругу, що підведена до них, на механічні коливання, які передаються у вісь, що підлягає контролю. Для контролю колісних пар застосовують прямі (площинні) шукачі з нахилом (призматичні).

Для ультразвукової дефектоскопії осей колісних пар використовують такі технологічні методи:

- наскрізний контроль поздовжніми ультразвуковими хвилями шляхом їх введення з торця осі за допомогою прямого ультразвукового шукача (перевіряється найближча до точки введення шийка осі і віддалена від неї підматочинна частина і половина середньої частини осі);

- контроль поздовжніми хвилями шляхом їх введення з нахилом з торця за допомогою шукача, який нахилено під малим кутом падіння  $6^\circ$  ( $8^\circ$ ), при цьому перевіряється найближча до крапки введення підматочинна частина осі з більш високою чутливістю, ніж у першому методі;



– контроль поперечними хвилями шляхом їх введення з нахилом з циліндричної поверхні осі за допомогою шукача, який нахилено під кутом падіння  $37^\circ$  ( $40^\circ$ ).

Метод використовується для підтвердження дефекту, який виявлено одним з перших двох методів. Кожна вісь перевіряється не менш, ніж двома типами шукачів: прямим шукачем  $0^\circ$  і призматичним 6 (8 ) або  $37^\circ$  ( $40^\circ$ ). У вагонних депо розповсюджені дефектоскопи УД2-70 та універсальні дефектоскопи ДУК-66П та УД-10П.

### 1.2.3. Аналіз існуючих систем та приладів для контролю осей колісних пар

Найбільш широко на підприємствах використовують прилад УД2-70[15]. Прилад був створений ТОВ «Ультракон-Сервіс» в 1999 році, коли на вітчизняному ринку стояла проблема дефіциту порівняно недорогих приладів такого класу. У першому кварталі 2000 р УД2-70 внесений до Державного реєстру України.

Навесні 2001 року на П'ятій конференції-виставці "Неруйнівний контроль - 2001" була вперше продемонстрована модернізована модель дефектоскопа УД2-70. Маючи ті ж функціональні можливості, прилад зменшився за вагою в 2,5 рази, за обсягом - в 3,7 рази.

Роботи з удосконалення приладу не припиняються, він постійно допрацьовується і т. О. набуває все нові і нові можливості. В даний час випускаються прилади версії 5,0.



Рис.1.4.Ультразвуковий дефектоскоп УД2-70

Таблиця 1.1. Основні технічні характеристики дефектоскопа УД2-70

Діапазон частот	1,25; 1,8; 2,5; 5; 10 (0,4) МГц
Діапазон контролю (по сталі)	0...5000 мм
Динамічний діапазон посилення прийомного тракту	100 дБ
Динамічний діапазон тимчасової регулювання чутливості (ВРЧ)	60 дБ
Абсолютна похибка при вимірюванні глибини залягання дефекту $N_x$	$\pm (0,5 + 0,02 N_x)$ мм
Абсолютна похибка при вимірюванні відношення амплітуд сигналів $N_x$	$\pm (0,2 + 0,03 N_x)$ дБ
Час безперервної роботи від акумуляторної батареї, не менше	7 год
Маса дефектоскопа (з акумуляторною батареєю)	3,5 кг
Габаритні розміри (без ручки)	245x145x75 мм

Далі розглянемо елементи типової ультразвукової системи (на прикладі УД2-70) та її режими роботи, які дозволяють значно підвищити

продуктивність контролю при одночасному підвищенні його достовірності, а також забезпечують об'єктивне і наочне документування результатів контролю.

Система автоматичної сигналізації дефекту (АСД) забезпечує автоматичне спрацьовування світлової або звукової сигналізації в разі виявлення дефекту. До особливостей зазначеної системи відносять:

- використання двох незалежних стробів;
- спрацьовування по перевищенню або неперевищенню луна-сигналом рівня першого строба та те саме для другого строба;
- вищезазначене спрацьовування для обох стробів одночасно;
- установка рівня спрацьовування сигналізації;
- включення і відключення звукової сигналізації;
- спрацьовування сигналізації в залежності від кількості перевищень (не перевищень) луна-сигналом рівня строба.

Система автоматичного вимірювання амплітуд забезпечує автоматичне вимірювання амплітуди луна-сигналу щодо стандартного рівня (середини екрану). До особливостей системи відносять:

- вимір амплітуди сигналу, що знаходиться в межах першого стробу, щодо стандартного рівня;
- те саме для другого строба;
- додатковий вивід вимірюваного значення в робочу частину екрану (правий верхній кут).

Система автоматичного вимірювання координат (глибиномір): забезпечує автоматичне вимірювання координат виявленого дефекту. Можливості системи:

- вимірювання глибини (Н) для прямого п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП) або трьох координат для похилого ПЕП (відстань по променю - S, по горизонталі - X, по вертикалі - Y);
- вимірювання відстані між зондуєчим імпульсом і луна-сигналом в першому стробі;

- вимірювання відстані між двома луна-сигналами в першому і в другому стробі;
- вимірювання по максимальному рівню або по фронту луна-сигналу;
- вимірювання реальних координат в процесі контролю багаторазово відбитими променями;
- вимірювання швидкості ультразвуку в об'єкті контролю за відомою відстанню;
- вимірювання часу затримки ультразвуку в призмі ПЕП по відомій відстані і швидкості ультразвуку;
- додатковий вивід однієї з виміряних координат в робочу частину екрану (правий верхній кут).

Система тимчасового регулювання чутливості (ТРЧ) призначена для вирівнювання ехосигналів за амплітудою, наприклад, для компенсації загасання ультразвуку в об'єкті контролю. Може також використовуватися для "вирізування" постійно присутніх заважають сигналів із зони контролю. До особливостей зазначеної системи відносять:

- глибина регулювання рівня до 60 дБ;
- кількість точок регулювання від 2 до 64, в залежності від діапазону;
- включення/вимикання системи без скидання встановленої кривої ТРЧ;
- режим включення ТРЧ з відображенням кривої на екрані;
- то ж без відображення кривої ТРЧ на екрані;
- захист від випадкового скидання встановленої кривої.

Іншою подібною системою контролю є ультразвуковий дефектоскоп УД4-Т «Томографік», який призначено для пошуку дефектів в зварних швах і виробках з металів. Діапазон вимірюваних глибин: від 0,5 до 5 000 мм. Працює в режимі дефектоскопа, товщиноміра, тензометра.



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

Дефектоскоп проводить автоматичну настройку ТРЧ, вимірює параметри кожного застосовуваного ПЕП. Вимірює еквівалентну площа дефекту, оцінює його конфігурацію і розміри. Вимірює акустичні властивості матеріалів без використання додаткового обладнання.

Розширений динамічний діапазон до 140 дБ, дає можливість виявляти малі і великі дефекти без перемикання чутливості.

Цифрова обробка даних дозволяє істотно поліпшити якість і достовірність контролю: компенсація РШХ для виявлення підповерхневих дефектів на малих глибинах; Фур'є-аналіз сигналу для візуалізації параметрів акустичного тракту; цифрові фільтри.

Програмований генератор дозволяє оптимально підібрати форму зондуючого імпульсу для датчиків з різними характеристиками. Це збільшує чутливість і покращує виявлення дефектів.

Табл.1.3.2. Основні технічні характеристики дефектоскопа УД4-Т «Томографік»

Робочі частоти	0,2...10 МГц
Діапазон контролю (по сталі)	0,5...5000 мм
Динамічний діапазон посилення прийомного тракту	140 дБ
Динамічний діапазон тимчасової регулювання чутливості (ВРЧ)	80 дБ
Абсолютна похибка при вимірюванні глибини залягання дефекту $N_x$	не більш ніж 0,1мм
Абсолютна похибка при вимірюванні відношення амплітуд сигналів $N_x$	$\pm (0,2 + 0,03 N_x)$ дБ
Час безперервної роботи від акумуляторної батареї, не менше	10 год
Маса дефектоскопа (з акумуляторною батареєю)	2,2 кг
Габаритні розміри (без ручки)	125x210x85 мм

З метою виявлення поверхневих поперечних тріщин в зовнішніх шийках осей локомотивних колісних пар, хвостовиках автозчепів широко застосовують неруйнівного контролю магнітопорошковим методом. Гарним прикладом такого приладу є дефектоскоп магнітопорошковий МД12 ПЕ.



Рис.1.6. Дефектоскоп магнітопорошковий МД12 ПЕ

Діаметр робочого отвору 200 мм матеріалів. Дефектоскоп магнітопорошковий МД-12ПЕ застосовується для намагнічування різних деталей рухомого складу за рахунок використання способу прикладеного

поля з метою виявлення поверхневих поперечних тріщин методом магнітопорошкового контролю і подальшого розмагнічування в зовнішніх шейках осей локомотивних колісних пар, хвостовиках автозчеплення та інших деталях з магнітом'якої сталі. Для намагнічування використовується пристрій ексцентричного типу - виконання МД-12 ПЕ. Він призначений для контролю осей колісних пар і інших деталей діаметром або максимальним розміром поперечного перерізу не більше 180 мм. Намагнічує пристрій дефектоскопа виконано у вигляді ексцентричного соленоїда з робочим отвором діаметром 235 мм. У корпусі соленоїда з однієї зі сторін котушки поміщений плоский кільцевої магнітопровід. Ексцентричний соленоїд створює несиметричне магнітне поле. При проведенні контролю деталі оглядають з боку, протилежної магнітопроводу (на цій стороні соленоїда є тумблер для його включення).

Принцип дії магнітопорошкового дефектоскопа базується на явищі тяжіння частинок магнітного порошку в місцях виходу на поверхність магнітного потоку, пов'язаного з наявністю в контрольованій деталі порушень суцільності. Намагнічення контрольованої деталі проводиться пристроєм. У намагнічених деталях дефекти викликають перерозподіл магнітного потоку і вихід частини його на поверхню. На поверхні деталі створюються локальні магнітні полюси, що притягають частинки магнітного порошку, в результаті чого місце дефекту стає видимим.

Стенд магнітопорошкового контролю великогабаритних деталей УМПК-39 призначений для магнітопорошкового контролю великогабаритних деталей при їх випуску з виробництва і після ремонту[14].

Стенд забезпечує виявлення поверхневих дефектів поздовжньої і поперечної орієнтації, мокрим магнітопорошковим методом, різними способами намагнічування (циркулярне, полюсне) з використанням змінного (АС), випрямленої трифазного (FWDC), імпульсного струму. Матеріал об'єкта контролю - феромагнітні матеріали з магнітними властивостями, що



дозволяють створювати в місцях порушення цілісності магнітні поля розсіювання, достатні для притягання частинок магнітного порошку.

Стенд універсальний, стаціонарного типу, вбудовується в технологічну лінію виробничої дільниці або може експлуатуватися самостійно як окрема позиція магнітопорошкового контролю.



Рис.1.7 . Стенд УМПК-39

Для приготування магнітної суспензії використовується вода з тонким очищенням від механічних домішок, що не містить жирових включень і пройшла повну дегазацію або гасомалярна суспензія з в'язкістю до 5 мм<sup>2</sup> / 1с. Характеристики, що виставляються до об'єкта контролю наступні:

- форма та розміри – даний прилад дозволяє проводити магнітопорошкову дефектоскопію великогабаритних об'єктів складної форми (максимальний діаметр - 400 мм; максимальна довжина - 3000 мм)
- максимальна маса об'єкта контролю - 350 кг;
- температура об'єкта контролю - від плюс 3 ° С до плюс 45 ° С.

До основних технічних характеристик стану відносять:



- забезпечує циркулярне та полюсне намагнічування об'єктів контролю методом прикладеного поля або залишкової намагніченості,
- забезпечує розмагнічування об'єктів контролю шляхом зменшення амплітуди змінного поля з максимального значення до значення близького до нуля,
- напруженість магнітного поля в центрі приставних соленоїдів - не менше 16 кА / м.
- струм циркулярного намагнічування - змінний, частотою 50 Гц, плавно регульований від 500 до не менше 10000 А.
- струм циркулярного намагнічування - випрямлений трьохполуперіодний, плавно регульований від 500 до не менше 10000 А.
- струм циркулярного намагнічування - імпульсний, плавно регульований від 500 до не менше 15000 А:
  - тривалість імпульсу - 0,5 с;
  - кількість імпульсів - від 1 до 5;
  - частота проходження імпульсів - 1 Гц.

#### Висновки до розділу 1

В першому розділі було розглянуто об'єкт контролю, його опис та дефекти які в ньому виникають. Також проаналізовані методи контролю осей колісних пар. Найбільш поширені методи контролю осей є ультразвуковий та магнітопорошковий. Ультразвуковий контроль використовують частіше, бо він є швидшим за процес контролю магнітним методом.

Також було проведено огляд існуючих приладів та систем контролю осей колісних пар. Нажаль систем контролю не так багато, через їх вартість та габаритні розміри. Найбільш поширеними на підприємствах є ультразвуковий дефектоскоп УД2-70, та стенд для проведення магнітного контролю.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР

Надійність і безперебійність роботи залізничного транспорту в значній мірі залежить від якості колісних пар залізничних вагонів, зокрема осей. Тому дуже важливо забезпечити достовірну дефектоскопію осей на етапі їх виробництва. На жаль, на більшості підприємств переважає ручний контроль випускаються осей, так як тільки деякі підприємства змогли придбати дороге імпортне обладнання для автоматизованого неруйнівного контролю (НК) в потоці. Застосування ручного НК не дозволяє проводити контроль всієї поверхні осей через низьку продуктивність. Крім того, сучасні ручні дефектоскопи дозволяють зареєструвати сигнали дефектних зон контрольованої продукції, але при цьому не здатні забезпечити повну реєстрацію всіх результатів контролю з отриманням підсумкового протоколу контролю кожної осі незалежно від впливу «людського фактора». Тому, тільки повна автоматизація НК осей дозволяє підвищити його ефективність і є важливим фактором підвищення якості та конкурентоспроможності продукції українських підприємств.

Існує автоматизована система (АС) ультразвукового контролю осей «САУЗК-1», яка успішно експлуатується на ряді підприємств. Установка забезпечує застосування всіх обов'язкових та додаткових методів УЗК до кожної контрольованої осі. В результаті забезпечується контроль структури металу і контроль на відсутність внутрішніх дефектів як поздовжньої, так і поперечної орієнтації[13].



Рис.2.1. Установка автоматизованої системи ультразвукового контролю

Структура металу оцінюється шляхом порівняння амплітуди ехосигналу від протилежного торця осі при прозвучу з кожної торцевої поверхні поздовжніми хвилями в осьовому напрямку з амплітудою ехосигналу в стандартному зразку, а також дзеркально-тіньовим предметом з циліндричної поверхні в радіальному напрямку - шляхом оцінки ослаблення донного сигналу.

Контроль на відсутність внутрішніх дефектів здійснюється ехоімпульсними методами:

A1 - з кожної торцевої поверхні поздовжніми хвилями в осьовому напрямку;

A2 - з циліндричних поверхонь поздовжніми хвилями в радіальному напрямку;

A3 - з циліндричних поверхонь поперечними хвилями в осьовому напрямку.

Установка забезпечує проведення 100% ультразвукового контролю, з наступним аналізом результатів контролю і прийняттям рішення про бракування осі, а також видачею повного протоколу контролю в електронному вигляді. Відображення короткого протоколу забезпечений на паперовому носії. Всі результати УЗК у вигляді Б-скан по всіх каналах для кожної проконтрольованої осі зберігаються на жорсткому диску з можливістю архівації на компакт-дисках.

Процес контролю повністю автоматизований. Оператору потрібно тільки натиснути кнопку «Контроль», а сама установка вбудовується в технологічну лінію замовника. Налаштування чутливості контролю проводиться за АВД діаграмами (АВД – амплітуда-відстань-діаметр). Є можливість знімання нових АВД кривих і їх корекції для врахування впливу зносу датчика. Час контролю однієї осі менш десяти хвилин. В результаті чого досягається продуктивність - до 6 осей на годину. При виявленні неприпустимих дефектів спрацьовує світлова та звукова сигналізація.

Завантаження осі з вхідного лотка на позицію контролю здійснюється за допомогою робота перевантажувача. На позиції контролю до осі опускається балка зі сканерами, вводиться датчик кутових переміщень.

Уже можна підбити датчики до об'єкта контролю, включається подача контактної рідини (індустріального масла), починається обертання осі і датчики починають рух уздовж ОК. Після того як вісь зробила один повний оборот включається подача, і каретки з перетворювачами починають зміщуватися вздовж осі. При цьому датчики описують по поверхні осі спіралеподібну траєкторію з кроком сканування 7 мм, що дозволяє здійснити рівномірний прозвучу всього контрольованого об'єкта. Коли датчик досягає кінця своєї зони контролю, подача його каретка відключається, а після одного повного обороту датчик відводиться від осі. При цьому інші датчики продовжують контроль.



Рис.2.2. Сканування поверхні осі ультразвуковими перетворювачами

Табл.2.1. Метрологічні та технічні характеристики СНК

Назва характеристики	Значення характеристик
Амплітуда зонduючого імпульсу генератора не менше, В	200
Тривалість зонduючого імпульсу, нс	$60 \pm 10$
Тривалість фронту не більше, нс (на активному опорі 51 Ом)	20
Номинальні частоти УЗК, МГц	2,5; 5,0
Діапазон частоти проходження зондувальних імпульсів, Гц	від 1 до 1000
Відношення сигнал / шум не менше, дБ	10
Діаметр мінімального виявляемого плоскодонного отвору, мм: - канали торцеві: - на відстанях (10 ... 380 мм): - на відстанях (381 ... 700 мм): - на відстанях (701 ... 1110 мм):	  3 6 9

- канали шийки, передпідматочинних, підступичної частини, галтельні переходи середньої частини:	3
Діапазон вимірювань координати розташування дефекту вздовж осі X, мм:	від 0 до 1110

У процесі сканування відбувається безперервний збір даних по всіх каналах - з кожного перетворювача. Всі дані накопичуються в керуючому комп'ютері і зберігаються в його пам'яті.

Після того як всі датчики просканують свої зони контролю, здійснюється їх повернення в початкове положення. Відводиться балка зі сканерами, а сама вісь видаляється з позиції контролю в вихідний лоток роботом перевантажувачем. Тим часом головний комп'ютер проводить обробку даних, після чого видає короткий протокол результатів контролю і зберігає повні результати в базі даних. Всі збережені дані можна в будь-який момент переглянути на комп'ютері. В отриманому протоколі результатів контролю міститься детальна інформація про кожний знайдений недолік:

- просторова орієнтація дефекту;
- координати дефекту;
- амплітуда луна-сигналу від дефекту;
- протяжність дефекту;
- еквівалентна площа і діаметр виявленого дефекту.

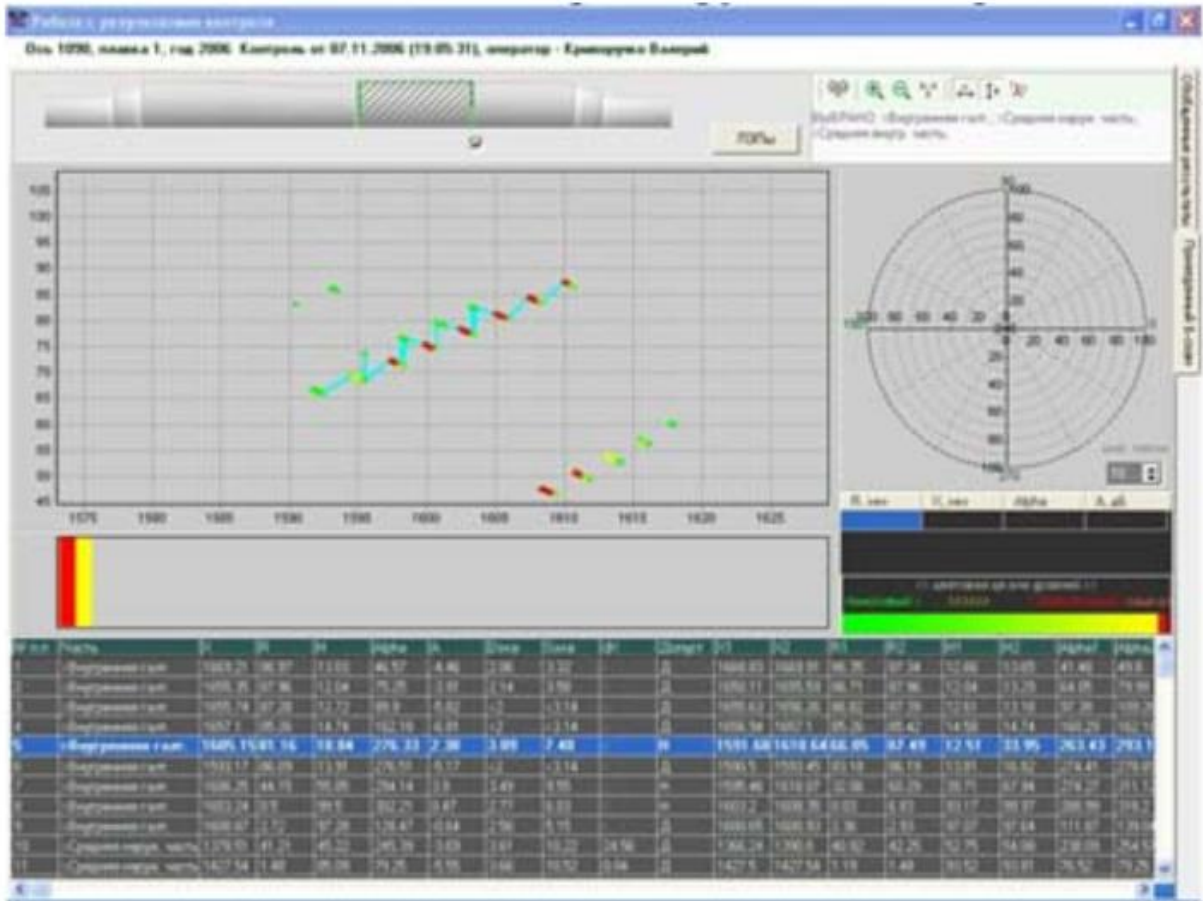


Рис 2.3. Програма перегляду результатів контролю

Система дозволяє створювати бази даних по виробам, що пройшли процес контролю. Також передбачена архівація даних на компакт диски або інші носії за бажанням споживача. Особлива конструкція рамок-власників перетворювачів дозволяє створити надійний, а головне стабільний акустичний контакт між ПЕП і ОК, що в свою чергу дозволяє знехтувати поверхневими дефектами (такими як, подряпини щербини вм'ятини), охороняє від зношування робочу поверхню ПЕП, забезпечує стабільність подачі контактної рідини. Все це забезпечує високу достовірність результатів контролю.

Кожна конструктивна частина осі контролюється «своїм» датчиком, що дозволяє значно знизити час контролю однієї осі, а конструкція кожного перетворювача забезпечує повне і рівномірне прозвучу всієї зони контролю.

У той же час, щоб знизити тривалість контролю в цілому, контроль середній частині осі здійснюється чотирма перетворювачами. Таким чином, стовідсоткове прозвучу відбувається за значно менший проміжок часу.

## Висновки до розділу 2

В другому розділі було проведено аналіз типової автоматизованої ультразвукової системи контролю осей колісних пар, описано роботу системи, та її основні технічні характеристики .

Основними перевагами даної системи є можливість отримати просторову орієнтацію дефекту, його координати, амплітуду луна-сигналу від дефекту, еквівалентну площу дефекту. Крім того існує можливість створення бази даних по виробам, що пройшли сканування зазначеною системою.

До недоліків варто віднести час контролю однієї осі, який становить трохи менше десяти хвилин, великі габаритні розміри, необхідність використання робота завантажувача, висока вартість.



### РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР

З метою ультразвукової дефектоскопії осей колісних пар використовують такі основні технологічні прийоми:

а) наскрізний контроль поздовжніми ультразвуковими хвилями шляхом їх введення з торця осі за допомогою прямого ультразвукового перетворювача ; при цьому може бути перевірена ближня до точки введення шийка осі і віддалені від неї підступична частина і половина середньої частини осі;

б) контроль поздовжніми хвилями шляхом їх похилого введення з торця за допомогою похилого перетворювача з малим кутом падіння ( $6-8^\circ$ ); при цьому перевіряється ближня до точки введення підматочинна частина з більш високою чутливістю, ніж при першому прийомі;

в) контроль поперечними хвилями шляхом їх похилого введення з циліндричної поверхні осі з допомогою похилого перетворювача з кутом падіння близько  $37 - 40^\circ$ . Цей метод використовується, як правило, лише при підтвердженні дефекту, виявленого одним з перших двох методів, оскільки він, хоча і більш чутливий, вимагає великих витрат часу. Таким чином, кожна вісь перевіряється не менше ніж двома типами шукачів: прямим шукачем  $0^\circ$  і призматичним  $6^\circ$  ( $8^\circ$ ) або  $37^\circ$  ( $40^\circ$ ).

Підматочинні частини осей для роликів підшипників контролюють прямим і призматичним  $37^\circ$  -ними перетворювачами з боку шийок і з боку середньої частини осі. Осі типів РУ1 і РУ1Ш додатково контролюють без зняття внутрішніх кілець підшипників в зовнішній і внутрішній зонах підматочинної частини шукачем  $37^\circ$  ( $40^\circ$ ), який встановлюють на середню частину осі. Якщо в зоні контролю з'являється одиночний імпульс, який перевищує рівень перешкод в кілька разів (за умови, що перешкоди в зоні контролю будуть не вище 5 - 10 мм), то це типова ознака для бракування а

також неспроможності осі-відсутність донного відображення і відображення від далекої галтелі при прямому перетворювачі.

Контроль осей колісних пар методом наскрізного проникання прямим перетворювачем здійснюється обов'язково з обох торців при перевірці осей всіх типів. Цей метод застосовують для виявлення небезпечних поперечних тріщин і інших прихованих дефектів в будь-якій частині осі, а також для бракування осей з крупнозернистою структурою.

Осі колісних пар, у яких не виявляють донне відображення і відображення від галтелей (це показує на велике поглинання ультразвуку, викликане крупнозернистою структурою металу), є «неспроможними». Колісні пари з такими осями підлягають розформуванню для перевірки підступичної частини осі магнітним методом за умови, якщо з дня останнього формування вони перебували в експлуатації більше восьми років. Підматочинні частини «неспроможних» осей з терміном експлуатації до восьми років повинні бути перевірені призматичним шукачем  $37^\circ$  ( $40^\circ$ ) з боку шийки і з боку середньої частини осі. При відсутності сигналів, відбитих від поверхні посадки і граней маточини (що свідчить про неспроможність контрольованої ділянки осі), колісні пари підлягають розформуванню.

Тож для системи необхідно врахувати всі фактори, що впливають на процес контролю, і розробити систему, що матиме високу достовірність результатів при досить швидкому проведенню контролю. Для пришвидшення, система матиме 4 канали для перетворювачів.

### 3.1. Розроблення узагальненої структури автоматизованої системи ультразвукового контролю осей колісних пар

Для нашої системи контроль осі колісної пари будемо проводити луно-імпульсним методом. В даному випадку використовують один перетворювач, який працює на випромінювання та прийом ультразвукові хвилі. Від ПЕП

періодично виходять короткі ультразвукові імпульси, які поширюються по контрольованій деталі. В проміжку між імпульсами ПЕП приймає відбиті від дефектів і різних стінок деталі ультразвукові хвилі. В умовах нормального падіння хвиль, коли стінки ОК паралельні на екрані дефектоскопа виникають сигнали від дефекту і сигнали від протилежної стінки. При похилому падінні ультразвукових хвиль на екрані дефектоскопа в загальному випадку з'являється тільки сигнал від дефекту. Наявність дефекту визначають по появі сигналу на екрані дефектоскопа, а глибину залягання його - за часом проходження ультразвуку. Луно-імпульсним методом виявляють дефекти менших розмірів[1].

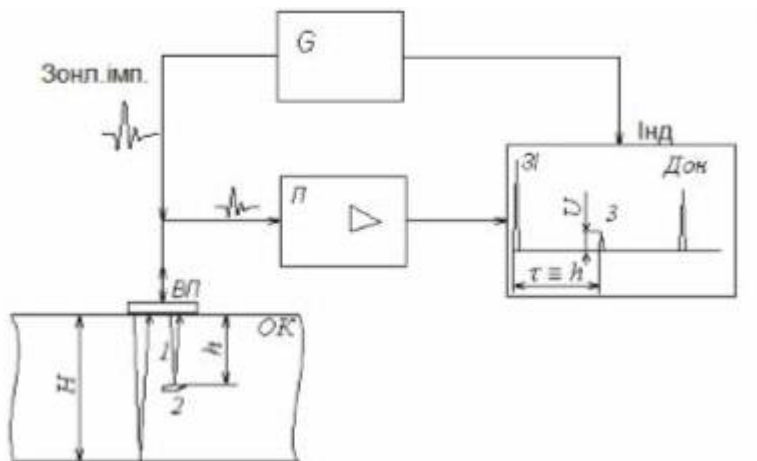


Рис.3.1. Загальна схема лунаїмпульсного методу:

ВП - випромінювач-приймач, ОК - об'єкт контролю, П - підсилювач,  
G - генератор імпульсів, Инд - індикатор.

Система контролю складається з таких блоків:

- механічний (служує для переміщення ПЕП та подачі контактної рідини на ОК.)
- блок дефектоскопії
- блок обробки інформації

На основі лунаїмпульсного методу, було розроблено структурну схему блоку дефектоскопії, що буде контролювати наш ОК, згідно з поставленим завданням. На рис. 3.2. приведено структурну схему блоку дефектоскопії

розробленої системи контролю, де 1..8 – набір п'єзодатчиків; 9..17 – генератори зондуючих імпульсів; 18..26 – схеми захисту; 27– комутатор; 28 – схема часового 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.

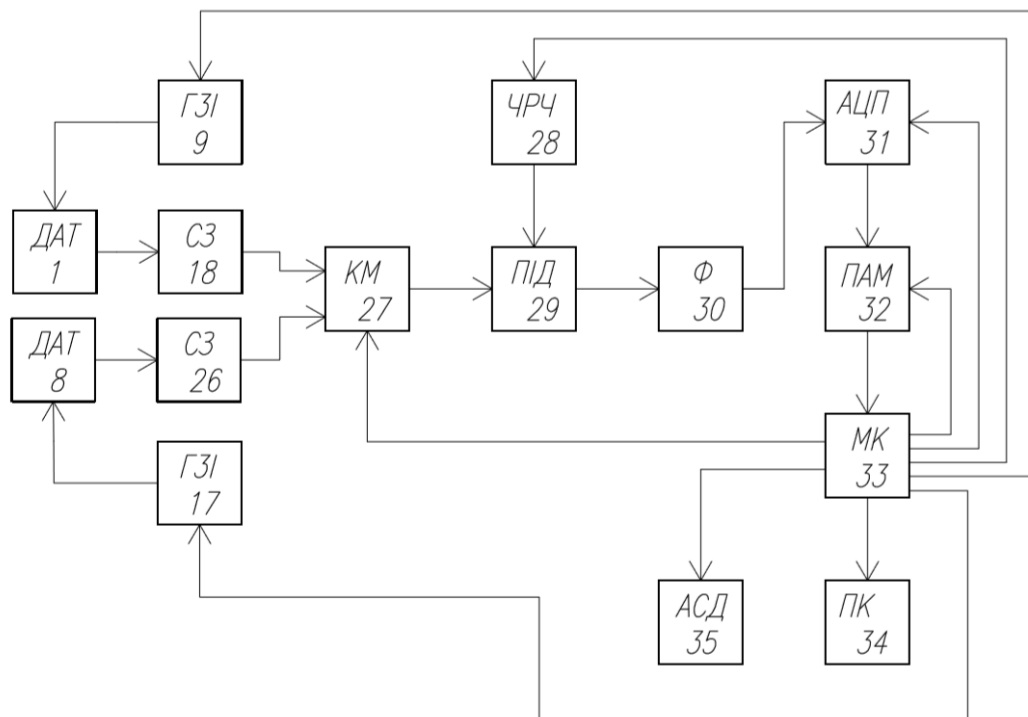


Рис. 3.2. Структурна схема блоку дефектоскопії

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

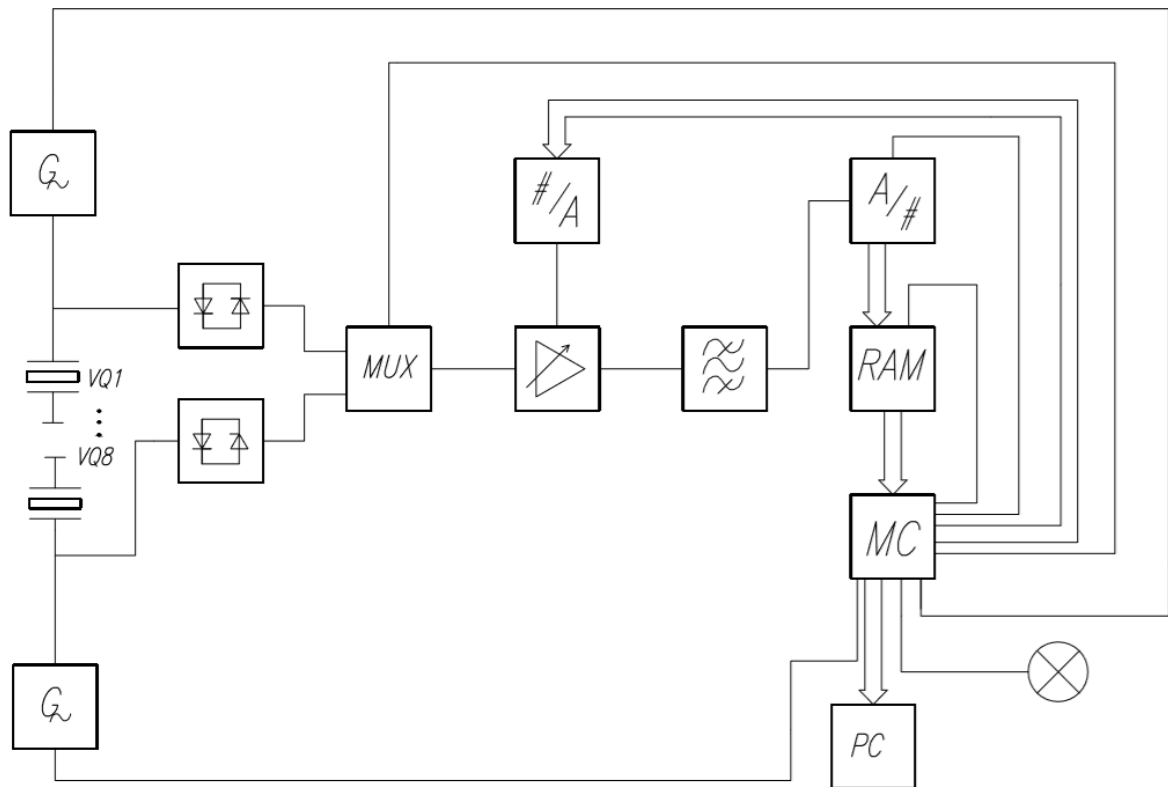


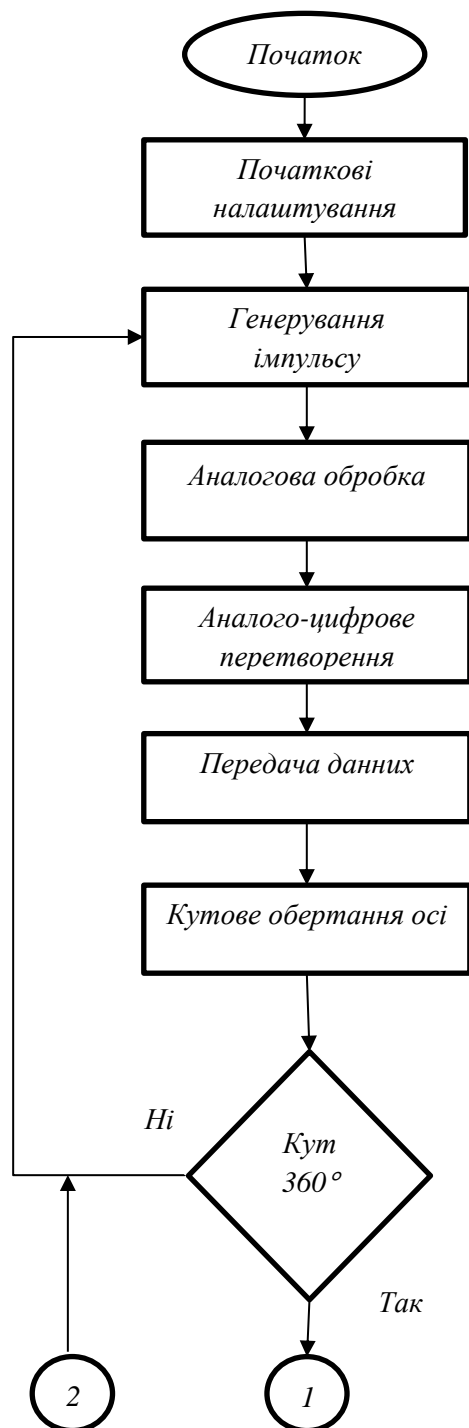
Рис.3.3. Функціональна схема блоку дефектоскопії

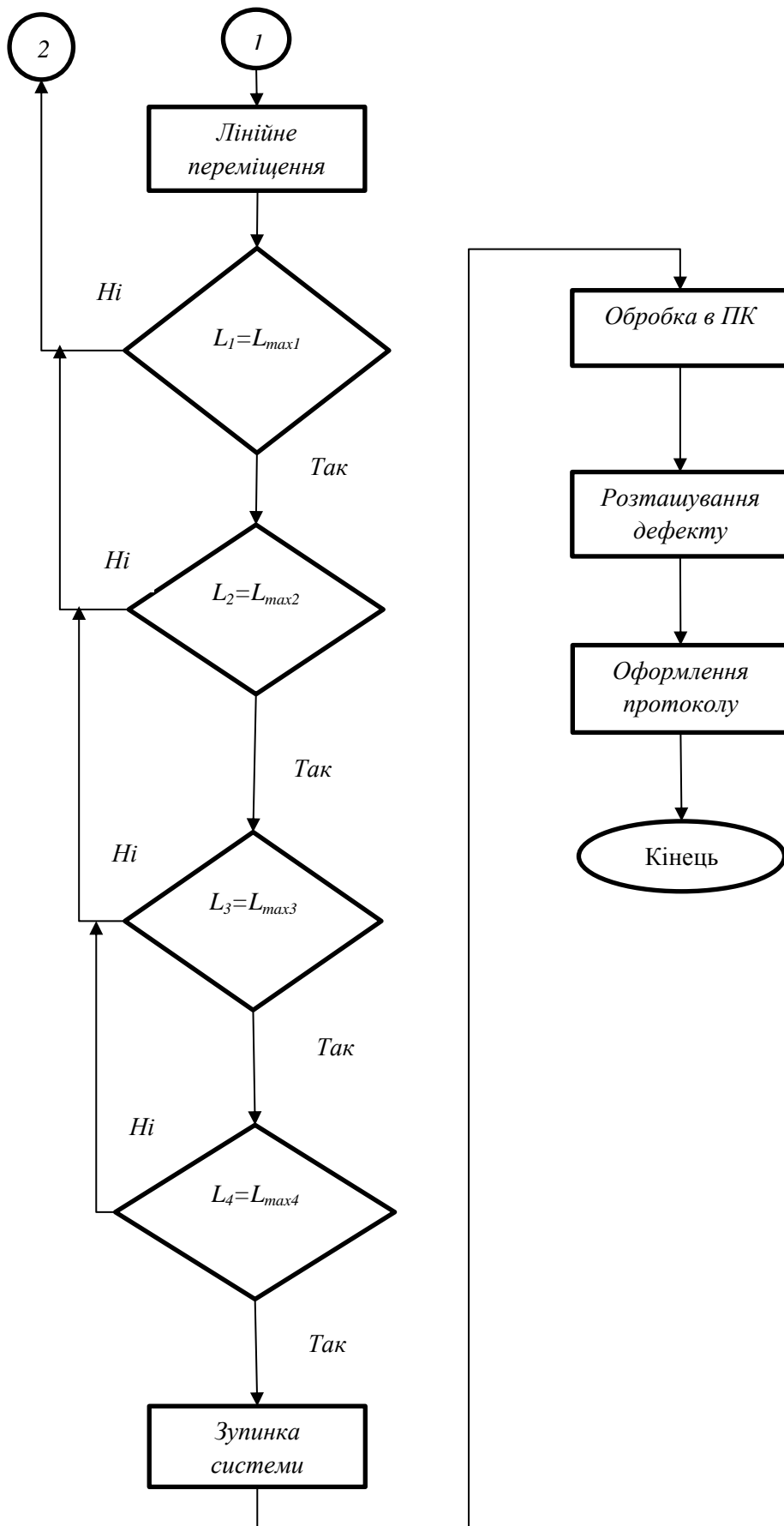
Мікроконтролер подає на генератор зондувальних імпульсів сигнал керування після чого останній генерує сигнал, що поступає на первинні перетворювачі, які збуджують в об'єкті контролю ультразвукову хвилю. Через деякий час перетворювачі приймають відбиті від дефекту сигнали, проходячи через схему захисту за допомогою комутатора всі сигнали комутуються. Після сигнал потрапляє на схему часового регулювання чутливості (ЧРЧ) де підсилюється згідно із певним законом. Підсилений сигнал поступає на смуговий фільтр де відтинаються зайві гармоніки і проходить лише інформативна складова. Далі відфільтрований сигнал приходить на аналогово-цифровий перетворювач де перетворюється в цифровий код. Потім цей код записується в оперативну пам'ять звідки він зчитується мікроконтролером. Мікроконтролер аналізує отриманий код і передає його на ПК, на якому програма видає результати контролю. Також

наявність дефекту може відображати автоматичний сигналізатор дефекту, який при перевищенні певного встановленого рівня буде про це повідомляти.

Наведена функціональна схема було покладена в основу принципово-електричної схеми блоку дефектоскопії розроблюваної автоматизованої системи неруйнівного контролю осей колісних пар (див. Додаток 1).

### 3.2. Алгоритм роботи системи







### 3.3. Моделювання АВД діаграми

На практиці АВД-діаграма (або шкала) забезпечує перерахунок амплітуди сигналу від будь-якого опорного рівня, наприклад, донного сигналу, до сигналу від плоскодонного відбивача заданих розмірів, що знаходиться на певній глибині, що дозволяє налаштувати дефектоскоп на бракувальний, пошуковий та ін. рівні чутливості. Оскільки вручну на папері скласти діаграму вкрай затратно по часу, а спеціально створені для цього програми знаходяться в платному доступі, актуальним рішенням проблеми є побудова АВД-діаграми в програмі Mathcad[10].

Для розрахунку амплітуди луна-сигналу від дефекту в широкому діапазоні відстаней і розмірів дефектів застосовуються АВД-діаграми - сімейство кривих, що встановлюють залежність між амплітудою луна-сигналу від дискового відбивача, орієнтованого перпендикулярно акустичної осі ПЕП і відображає до 100% падаючої на нього ультразвукової енергії, відстанню від випромінювача до відбивача і розміром - площею або діаметром рефлектора. Відклавши по горизонтальній осі відстань між відбивачем (дефектом) і випромінювачем (ПЕП), віднесене до відстані від перетворювача до дефекту, отримаємо групу кривих, що показують залежність від відстані до дефекту. Кожній кривій відповідає певний розмір (діаметр) відбивача, віднесений до діаметру п'єзоелемента.

В даній роботі буде розрахована АВД-діаграма для сталі, із швидкістю поширення повздовжніх хвиль  $C_l=5980$  м/с. Контроль буде здійснюватися прямим суміщеним перетворювачем з частотою  $f=5\text{МГц}$ , радіус перетворювача  $d = 6$  мм. Максимальну глибину прозвучування оберемо  $r=100$  мм. Коефіцієнт загасання звуку на заданій частоті дорівнює 6 дБ/м. Математично криві задаються за допомогою рівнянь акустичного тракту, при експериментах моделі дефектів замінюються штучними відбивачами.

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

Використовуючи рівняння акустичного тракту диска з площею  $s$ , для дефектів 1, 2, 3, 4, 5, 6 і 8 мм відповідно(4.1), і нескінченної площини, для донного сигналу(4.2), задамо сімейство кривих.

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

Отримана АВД-діаграма зображена на рис. 4.5., де по осі ординат відкладено відношення амплітуд зондуєчого сигналу до сигналу відбитого від дефекту в децибелах із знаком мінус, по осі абсцис відстань до дефекту в метрах.

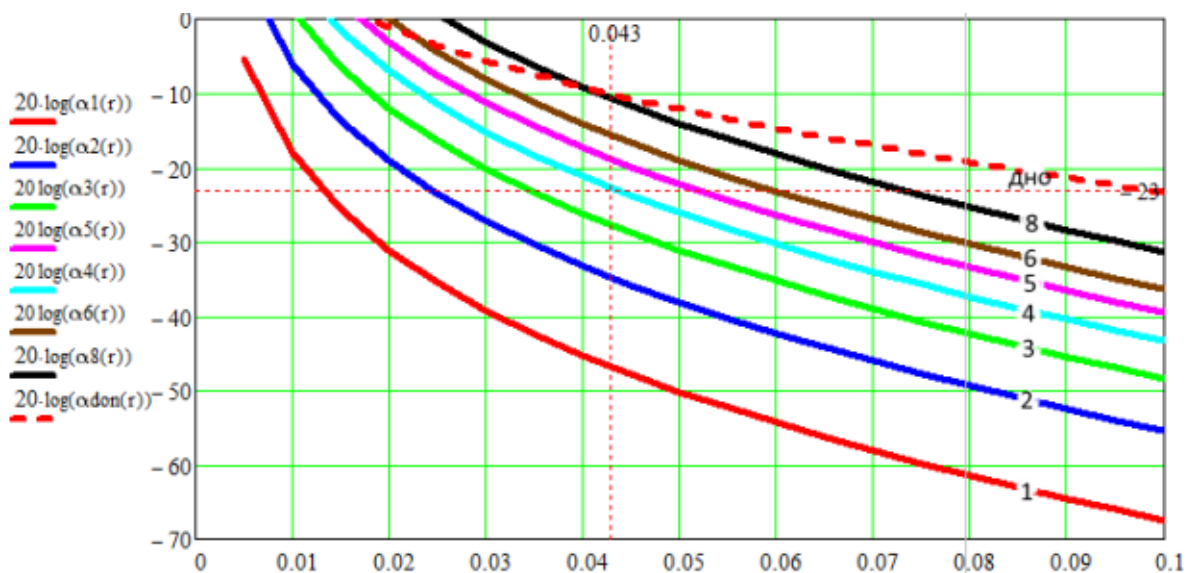


Рис.3.4. АВД-діаграма для сталі

Виходячи з даної АВД-діаграми легко помітити, що мінімальний виявлений розмір дефекту при прозвучуванні виробу на відстані 100 мм дорівнює 2 мм, так як різниця в амплітуді між даним відбивачем і донною поверхнею не перевищує 40 дБ, тобто на 6 дБ менше, чим різниця між амплітудою донного сигналу і рівнем шумів. Таким чином можна стверджувати, що сигнал від дискового відбивача діаметром 2 мм, що

знаходиться на максимальній відстані при цьому напрямку прозвучування буде чітко видно над рівнем шумів (перевищувати його на 6 дБ).

### Висновки до розділу 3

В третьому розділі було розроблено систему на основі луна-імпульсного методу, який було обрано за його наступні переваги:

- односторонній доступ;
- найбільша чутливість до виявлення внутрішніх дефектів;
- висока точність визначення координат дефектів.

З метою розрахунку амплітуди луна-сигналу перетворювача від дефекту було проведено моделювання в середовищі Matlab. Для моделювання АДД діаграми було використано такі дані, як швидкість ультразвуку в матеріалі ОК, частотою, діаметром перетворювача.

Аналіз діаграми показав, що мінімальний розмір дефекту, який можна виявити розробленою системою в процесі прозвучування виробу на глибині 100 мм дорівнює 2 мм.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1. Розрахунок параметрів п'єзоперетворювача

В якості матеріалу п'єзоелементу обираємо ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю), дуже поширеного матеріалу із якого виготовляють подібні п'єзопластини[5].

Для зручності діаметр перетворювача дорівнюватиме 6 мм. Треба розрахувати його товщину. З метою отримання резонансу в п'єзокераміці, довжина хвилі яку вона збуджує, має бути вдвічі більшою за її товщину.

$$h = \frac{\lambda_{цтс}}{2} \quad (4.1)$$

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

$$\lambda_{цтс} = \frac{C_{цтс}}{f} \quad (4.2)$$

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

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

Визначимо висоту перетворювача із формули (3.1):

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

Отже, товщина перетворювача становить 0,33 мм.

### 4.2. Моделі розрахунку акустичного тракту

Акустичним трактом називають шлях ультразвуку від випромінювача до дефекту і потім до приймача[1]. Акустичний тракт – це виключно механічний тракт. Аналіз акустичного тракту в основному зводиться до

складання його схеми, розрахунку звукових полів випромінювання-прийому з урахуванням характеристик акустичного тракту. Формули акустичного тракту визначають ослаблення ультразвукового сигналу на цьому шляху..

$$K_{a.m.} = \frac{P_{\Pi}}{P_B}, \quad (4.3)$$

де  $p_{\Pi}$  і  $p_B$  - акустичний тиск в приймаючому і випромінюючому перетворювачах, що виникає в процесі випромінювання-прийому сигналів.[]

Коефіцієнт акустичного тракту – числова величина. Розкривається коефіцієнт акустичного тракту через формулу акустичного тракту. Формула акустичного тракту враховує променеву картину, характеристики спрямованості випромінювання-прийому і структурну схему акустичного тракту (акустичні характеристики і розміри середовищ, що перетинаються акустичним променем).

Акустичні тракти відрізняються значною різноманітністю: схема тракту залежить від методу контролю, типу використовуваних хвиль, характеристик середовищ проходження і самого відбивача, вимог до похибки вимірювання або достовірності контролю і ін..

Остаточні розрахункові співвідношення коефіцієнта ослаблення акустичного тракту залежать від розміру дефекту і його положення в характеристиці напрямленості випромінювання. У зв'язку з цим розглядають чотири базові моделі акустичного тракту, де використовують об'ємні хвилі (рис. 4.1).

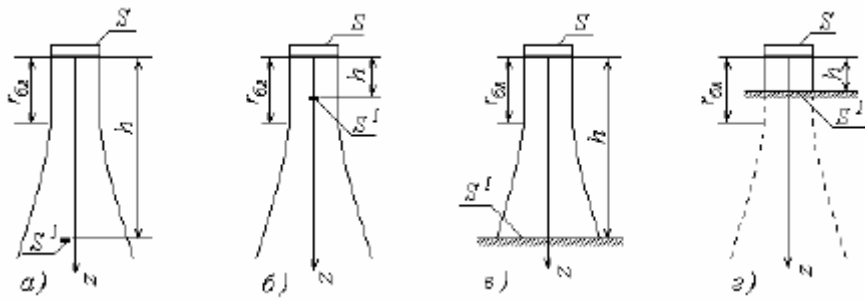


Рис. 4.1. Моделі розрахунку акустичного тракту в разі нормального введення:

а -  $h \gg r_{0a}, S^1 < S$ ; б -  $h < r_{0a}, S^1 < S$ ;

в -  $h \gg r_{0a}, S^1 > S$ ; г -  $h \gg r_{0a}, S^1 > S$ .

#### 4.3. Вибір моделі розрахунку акустичного тракту

Розрахунок акустичного тракту розпочинають з визначення розрахункової моделі. Для цього будується еквівалентна схема акустичного тракту, за якою визначається базова розрахункова модель (рис. 4.2).

При похилому введенні із заломленням променя визначається положення і розмір уявного випромінювача. При цьому випрямляється акустична вісь, а середовища падіння і заломлення променя замінюються одним середовищем.

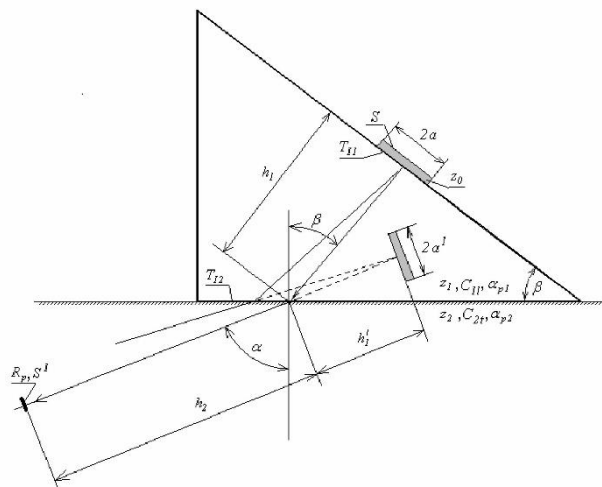


Рис. 4.2. Тракт з трансформацією хвиль з похилим кутом введення

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

$$2a' = 2a \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}; \quad h_1' = h_1 n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = h_1 \frac{C_{II}}{C_{2t}} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \quad (4.4)$$

В нашому випадку дефект менший за розміром ніж ПЕП, отже акустичний тракт підпадає під першу розрахункову модель. Коефіцієнт акустичного тракту буде представлений у вигляді:

$$K_{a.m.} = \frac{S_d S \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}}{\lambda_t^2 (h_2 + h_1')^2} T_{11} T_{12} R_p e^{-2(h_1 \cdot \delta_{po} + h_2 \cdot \delta_{pct})} \quad (4.5)$$

де  $S$  - площа ПЕП;  $S_d$  - площа дефекту;  $h_1'$  - довжина променя від уявного ПЕП до лінії перетину середовищ;  $h_2$  - довжина променю від лінії перетину середовищ до дефекту;  $\lambda_t$  - довжина поперечної хвилі в ОК;  $T_{11}$  - коефіцієнт проходження ультразвукового променя по інтенсивності через межу ПЕП – оргскло;  $T_{12}$  - коефіцієнт проходження ультразвукового променя по інтенсивності через межу оргскло – ОК;  $R_p$  - коефіцієнт відбиття променя від поверхні дефекту;

#### 4.4. Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту

Вихідні дані, необхідні для розрахунку коефіцієнта акустичного тракту, наступні:

- діаметр п'єзоперетворювача -  $d = 6 \cdot 10^{-3}$  м;
- робоча частота -  $f = 5 \cdot 10^6$  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 –  $C_{ст} = 5980$  м/с, в п'єзоперетворювачі –  $C_{II} = 3300$  м/с.

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

$$\beta_{кр.1} = \arcsin\left(\frac{C_o}{C_{СТ}}\right) \quad (3.6)$$

$$\beta_{кр.1} = 25.984^\circ$$

Щоб розрахувати 2-й критичний кут спочатку розрахуємо чому дорівнює швидкість поперечної хвилі в сталі: Коефіцієнт Пуассона для сталі  $\nu_{СТ} = 0,28$ .

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

$$C_{СТ(t)} = 3306 \text{ м/с}$$

$$\beta_{кр.2} = \arcsin\left(\frac{C_o}{C_{СТ(t)}}\right) \quad (4.8)$$

$$\beta_{кр.2} = 52,429^\circ$$

З розрахунків робимо висновок що хвилю слід вводити в сталь в межах  $25,98^\circ \div 52,43^\circ$  градусів. Оберемо кут введення в  $\beta_i = 35^\circ$  градусів.

Розрахуємо чому дорівнює кут заломлення хвилі в сталі. Спочатку запишемо закон Снеліуса для хвиль що падає і заломлюється, а з нього виразимо шуканий кут:

$$\frac{\sin(\beta_i)}{C_o} = \frac{\sin(\alpha_t)}{C_{СТ(t)}} \quad (4.9)$$

Звідси:

$$\sin(\alpha_t) = \frac{\sin(\beta_i) \cdot C_{СТ(t)}}{C_o} \quad (4.10)$$

$$\alpha_t = \arcsin(\sin(\alpha_t)) = 46,358^\circ$$



Ще однією з умов контролю при похилому введенні є те, що в матеріалах призми повинна завжди знаходитися лише ближня зона променя. Знайдемо чому вона дорівнює:

$$\lambda_o = \frac{C_o}{f} \quad (4.11)$$

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

$$r_{\text{біт}} = \frac{(d/2)^2}{\lambda_o} \quad (4.12)$$

$$r_{\text{біт}} = 17 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Тепер проведемо еквівалентні перетворення для розрахунку коефіцієнта акустичного тракту. Запишемо початкові дані:

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

$$h_1' = h_1 \cdot \frac{C_o \cos(\alpha_t)}{C_{CT} \cos(\beta_t)} \quad (4.13)$$

$$h_1' = 2,215 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$d' = d \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\beta_t)} \quad (4.14)$$

$$d' = 5,06 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$S' = S \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\beta_t)} = 0,238 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (4.15)$$

Проведемо розрахунки коефіцієнтів проходження і відбиття. Вихідні дані:

- густина оргскла –  $\rho_o = 1200 \text{ кг/м}^3$ ;
- густина п'єзоперетворювача –  $\rho_{\Pi} = 7400 \text{ кг/м}^3$ .

$$z_o = \rho_o \cdot C_o \quad (4.16)$$

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

$$z_{II} = \rho_{II} \cdot C_{II} \quad (4.17)$$

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

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

$$T_{II} = \frac{4 \cdot z_{II} \cdot z_o}{(z_{II} + z_o)^2} \quad (4.18)$$

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

Для розрахунку коефіцієнту проходження на межі оргскло - сталь слід скористатися графічним зображенням залежності коефіцієнта проходження при падінні поздовжньої хвилі із оргскла в сталь (рис. 3.4):

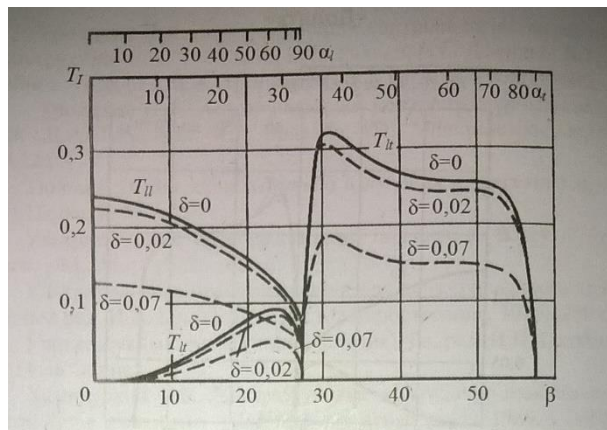


Рис. 4.4. Залежність коефіцієнта проходження при падінні поздовжньої хвилі із оргскла в сталь

Приймемо товщину контактного шару, віднесеного до довжини хвилі рівною  $\delta=0,02$ . З урахуванням кута введення коефіцієнт проходження складає:

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

Оскільки, ми, в нашому проекті, шукаємо переважно повітряні вклучення задамося коефіцієнтом відбиття наближеним до одиниці:

$$R_p = 0,99$$

Ще одним етапом перед розрахунком коефіцієнту акустичного тракту є визначення довжини поперечної хвилі в сталі:

$$\lambda_{CT} = \frac{C_{CT(0)}}{f} \quad (4.19)$$

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

Тепер розрахуємо величину мінімального дефекту який можна виявити. Вона дорівнює половині довжини поперечної хвилі в сталі:

$$d_{\text{д}} = \frac{\lambda_{CT}}{2} \quad (4.20)$$

$$d_{\text{д}} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Прийmemo розмір дефекту трохи більше мінімального розрахованого значення:

$$d_{\text{д}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_{\text{д}} = \pi \cdot \frac{d_{\text{д}}^2}{4} \quad (4.21)$$

$$S_{\text{д}} = 0,196 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Оскільки всі параметри відомі можемо розрахувати коефіцієнт ослаблення акустичного тракту для дефекту мінімальних розмірів:

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

Тепер розрахуємо коефіцієнт акустичного тракту для дефекту максимальних розмірів. Максимальний діаметр дефекту дорівнює:

$$d_{\text{дmax}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_{\text{дmax}} = \pi \cdot \frac{d_{\text{д}}^2}{4} \quad (4.22)$$

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

Тоді коефіцієнт акустичного тракту дорівнює для дефекту максимальних розмірів:

$$K_{a.m.max} = 0,069$$

#### 4.5. Розрахунок похибок

У разі вимірювання фізичних величин складними приладами та пристроями, приладова похибка визначається по залежностям, які вказані в паспорті приладу. Вимірювальні прилади завжди вносять свій внесок в похибку вимірювання, що залежить від точності приладу. Відповідну величину прийнято називати приладовою похибкою. У загальному випадку вона може мати дві складові - систематичну і випадкову. У правильно налаштованого вимірювального приладу систематична похибка або відсутня, або досить просто враховується.

##### 4.5.1. Похибка АЦП

Є декілька джерел похибки АЦП. Основною з них є похибка квантування. Помилка квантування є наслідком обмеженої роздільної здатності АЦП. Цей недолік не може бути усунутий ні при якому типі аналого-цифрового перетворення.

Перетворення аналогового сигналу в цифровий складається з двох етапів: дискретизації за часом і квантування по амплітуді. Дискретизація за часом означає, що сигнал представляється у вигляді відліків (семплів), взятих через рівні проміжки часу. Чим більша частота, тим точніше цифровий сигнал відповідає аналоговому.

Для відновлення форми сигналу, вибираємо частоту АЦП, яка буде вища за максимальну частоту сигналу в спектрі (за теоремою Котельникова). 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:

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{E}{U_{\text{ПД min}}} \cdot 100\% \quad (4.23)$$

$$E = n \cdot Q \quad (4.24)$$

де  $n$  1 або 2;  $Q$  – крок квантування.

Крок квантування розраховується за наступною формулою:

$$Q = \frac{U_{\text{АЦП max}}}{2^N} \quad (4.25)$$

$$Q = 1.221 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

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

Прийmemo  $n$  рівним 1. Розрахуємо похибку квантування АЦП:

$$\delta_{\text{АЦП}} = 0.66 \%$$

З розрахунків бачимо що похибка задовольняє встановленим вимогам.

#### 4.5.2. Похибка підсилювача (дрейф нуля)

Для розрахунку похибки підсилювача потрібно знати напругу зміщення на підсилювачі. Дізнатися її можна з даташиту підсилювача. В нашому випадку напруга зміщення  $U_{3M}$  складає 3 мВ. Розрахуємо чому дорівнює похибка:

$$\delta_{II} = \frac{U_{3M}}{U_{BX}} \cdot 100 \% \quad (3.26)$$

$$\delta_{II} = 0.015 \%$$

#### 4.5.3. Сумарна похибка

Є два основних закони розподілу випадкових величин: нормальний (Гауса) і рівномірний. Різні похибки мають різні закони розподілу. У нашому випадку за нормальним законом розподіляються похибки підсилювача, а за рівномірним – АЦП, індикатора і атенюатора.

Для кожного типу розподілу дисперсія рахується окремо.

Дисперсія для нормального розподілу:

$$\sigma_{II} = \frac{\delta_{II}}{3} \quad (4.27)$$

$$\sigma_{II} = 0.005 \%$$

Дисперсія для рівномірного розподілу:

$$\sigma_{АЦП} = \frac{\delta_{АЦП}}{\sqrt{3}} \quad (4.28)$$

$$\sigma_{АЦП} = 0.352 \%$$

$$\sigma_A = \frac{\delta_A}{\sqrt{3}} \quad (4.29)$$

$$\sigma_A = 0.458 \%$$

Сумарна похибка знаходиться за формулою:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \sigma_{AIII}^2 + \sigma_A^2 + \sigma_D^2} \quad (4.30)$$

$$\sigma_\Sigma = 0.635 \%$$

За граничною теоремою, сума великої кількості незалежних випадкових величин, що впливають на результат вимірювання, підкоряється нормальному закону розподілу:

$$\delta_\Sigma = \pm 3 \cdot \sigma_\Sigma \quad (4.31)$$

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

#### Висновки до розділу 4

В четвертому розділі було проведено розрахунки розмірів п'єзоперетворювача, та вибір моделі акустичного тракту. Враховуючи, що розроблена система контролю повинна мати можливість визначення положення та розміру випромінювача, було передбачено використання перетворювача із похилим введенням хвиль. В процесі розрахунку акустичного тракту, було розраховано кути введення ультразвукової хвилі в ОК.

Крім того, було проведено розрахунок інструментальної похибки системи. Зважаючи на вихідні дані до магістерської дисертації, вона не повинна перевищувати 2 %, отже результат в 1.905 % задовольняє умови, зазначені у завданні.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 5.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах різноманіття систем, приладів та їх характеристики, бачимо, що є необхідність у модернізації існуючих та розробка нових систем, для покращення методики проведення контролю. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту автоматизованої системи контролю вісей колісних пар.

Ідея проекту полягає в тому, щоб забезпечити максимально автоматизований спосіб контролю вісей колісних пар, при цьому точність системи відповідає вимогам, а також прискорення процесу ультразвукового контролю вісей колісних пар, із збереженням результатів контролю в електронному вигляді.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних 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 людського фактору
	2. Вагоноремонтні заводи	Збереження результатів контролю в електронному вигляді для подальшого аналізу

Отже, пропонується нова система автоматизованого контролю, яка є вигіднішою для підприємств тим, що проведення контролю буде в декілька



разів швидше, та точніше від аналогічних методик контролю, де має вплив людський фактор .

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

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

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

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

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

№ п / п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	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	+	+	+	-		+	
----	--	---	---	---	---	--	---	--

Висновок: у даній таблиці визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначено попереднє кола конкурентів, що вже існують на ринку, та визначено слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту. Із таблиці видно, що слабких сторін проекту немає. Щодо сильних сторін – це низька вартість системи, та час, який витрачає система для контролю однієї вісі.

## 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо 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

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

Даний аналіз з урахуванням стану ринкового середовища дозволить спланувати напрями розвитку проекту, пропозицій проектів-конкурентів та потреб потенційних клієнтів. 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%

Отже, аналізуючи таблицю можна зробити висновок, що ринок є досить привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо 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 швидкість 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.

Проте, нажаль існують певні загрози при застосуванні даної технології. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а

також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 5.6). Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища.

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 контролю 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 вісей колісних пар	Підвищення рівня кваліфікації персоналу для отримання ліцензії, удосконалення прилад
2.	Економічний	Зменшення податків на даний вид виробництва	Збільшення обсягів виробництва та зменшення ціни на продукцію
3.	Технічний	Точний контроль, 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 конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції-олігополія	Існування невеликої кількості компаній, що працюють в даній сфері	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 держзамовлення 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

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	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 держзамовлень	Постачальники не впливають на умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та простої в керуванні продукції	Більш відомі компанії захоплюють ринок

Проаналізувавши дані з таблиць можна зробити висновок, що в даний час з огляду на конкурентну ситуацію, щоб вийти на ринок та бути конкурентоспроможним проект повинен не поступатись в якості системам



автоматизованого контролю більш відомих компаній, але в той же час повинен пропонуватися за дещо нижчою ціною ніж в конкурентів.

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 METEER_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 автоматизованої системи контролю вісєй колісних пар. Основною перевагою та головним досягненням є швидкий час контролю, висока якість продукту та сервісне обслуговування на протязі всього терміну його використання споживачем.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є 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

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Швидкий час контролю</li> <li>2. Собівартість продукції нижча, ніж в конкурентів</li> <li>3. Якісне сервісне обслуговування</li> <li>4. Висока точність</li> </ol>	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Залежність ціни продукції від ціни постачальників на комплектуючі елементи та матеріали</li> </ol>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вихід та закріплення на ринку</li> <li>2. Вихід на міжнародний ринок</li> <li>3. Отримання держзамовлення</li> <li>4. Збільшення попиту на систему</li> <li>5. Ліцензійне виробництво</li> </ol>	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Інфляція</li> <li>2. Поява нових конкурентів на ринку</li> <li>3. Зростання цін на компоненти</li> <li>4. Невчасне постачання компонентів</li> <li>5. Вихід з ладу приладу чи збої і точності вимір</li> </ol>

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

Отже, розглянувши можливості ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що основною альтернативою є отримання держзамовлення на прилад, оскільки ймовірність отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші.

#### 5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 5.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Приватні та	Продукт	Високий		

державні компанії, промислові компанії, вагонобудівні та вігоноремонтні заводи	затребуваний		Помірна	Необхідність мати ліцензію
<p>Які цільові групи обрано:</p> <p>Провівши аналіз цільових груп споживачів було прийнято рішення співпрацювати як з приватними і державними компаніями так із вагоноремонтними заводами.</p>				

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для котрих будемо пропонувати автоматизовану систему ультразвукового контролю вісей колісних пар 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	Диференціація

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

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

Таблиця 5.14. Визначення стратегії позиціонування

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

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

### 5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

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

Таблиця 5.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	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 конкурентів	Збільшення кількості клієнтів за рахунок ціни та якості продукції
3.	Швидкість контролю	Швидкість 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.Точність контролю	99%	
	2.Час контролю однієї вісі	4 хв	
	3.Обробка та зберігання даних в цифровому вигляді	+	
	Якість: ГОСТ 14782-86 контроль неруйнівний		
Пакування:			
Марка: «Ультразвукові системи НК» МЗ			
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 описуємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

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

Таблиця 5.17. Визначення меж встановлення ціни

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

В даній таблиці проведено аналіз ринкової ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За допомогою отриманих даних встановлюємо верхню та нижню межу на нашу систему.

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, Установка та налаштування системи.	Висока	Оптовий продаж продукції



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 Точність	Донести переваги даної продукції	

### Висновки до розділу 5

Аналіз стартап-проекту показав можливість ринкової комерціалізації проекту. Це обумовлено високим попитом на автоматизовані системи ультразвукового контролю вісей колісних пар. Також в ході аналізу було підтверджено рентабельність проекту. Але, незважаючи на наявну конкуренцію певного рівня, ринок надає можливості впровадження продукту в обіг з огляду на наявність цільової аудиторії, яка зацікавиться даним продуктом. Здатність подолати бар'єри для доступу до ринків такі як набір клієнтської бази та необхідність сертифікації обладнання перед випуском її в вільний продаж. На ринку вже присутні аналоги продукту який розробляється, і це необхідно пам'ятати. Отже для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту такі властивості, які будуть значно виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є

конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

- Вдосконалити конструкцію та технологію виробництва приладу
- Провести масштабну рекламну компанію
- На початковому етапі провести презентацію приладу та установити обмежену кількість приладів із знижкою.
- Не зупинятися над покращенням продукту
- Прислуховуватись до споживачів

В ході досліджень в якості альтернативи було вибрано дослідження методів підвищення точності результатів контролю, а також підвищення швидкості контролю, що в наш час є доволі актуальним.

В подальшому є можливість виведення проекту на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що швидкість контролю лише 4 хв, а головне те, що автоматизовані ультразвукові системи даного типу можуть швидко проводити обробку інформації та зберігання її для подальшого аналізу, а також визначати одразу браковану вісь, що є великою перевагою над компаніями-конкурентами.

## ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації було проведено дослідження можливості розробки ультразвукової системи контролю осей колісних пар.

В результаті аналізу існуючих систем та методів контролю осей було очевидним, що найбільш ефективним є луна-імпульсний метод контролю, адже він має ряд переваг: односторонній доступ до ОК, високу точність визначення координат дефектів, висока чутливість до внутрішніх дефектів та ін.

Розглянуті основні технічні характеристики ультразвукової системи САНК-3. Проаналізовано процес контролю та можливості. Було запропоновано багатоканальну систему з автоматичним проведенням контролю, яка включає в себе вісім п'єзоперетворювачів які комутуються чотирьма каналами.

Також були проведені розрахунки послаблення акустичного тракту та розмірів п'єзоперетворювача. Розрахована інструментальна похибка відповідає вимогам. Проведення моделювання АДВ діаграми з урахуванням моделі акустичного тракту показало що наша система може виявити дефект розміром більш ніж як 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.

## 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. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник. - М.: Металлургия, 1991. - 752 с.
4. Гурвич А. К. Неразрушающий контроль / А. К. Гурвич, И. Н. Ермолов, С. Г. Сажин. – М, 1992. – 181 с.
5. Методичні вказівки «Акустичні перетворювачі» / Уклад.: Цапенко В. К.- Київ, 2004.- 86с
6. Ключев В.В. Неруйнівний контроль і діагностика / Соснін Ф.Р. /Довідник під редакцією Ключева В.В. - Машинобудування 1995 р.
7. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / Высшая школа. – Москва, 1991. – 283 с
8. Кретов Е. Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. — 3 изд. — М.: СВЕН, 2007. — 296 с.
9. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
10. Очков В. Ф. MathCAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов.—СПб.:БХВ-Петербург,2007.—368с.
11. Беркута В.Г., Валевиц С.М. Ультразвукова дефектоскопія. Навчальний посібник. - Кіровоград: ТОВ «Імекс-ЛТД», 2006. -177с
12. Неразрушающий контроль, Справочник в 7 томах под ред. В.В.Ключева, том 3, Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2004.

13. Система автоматизированного контроля осей колесных пар СНК-3 [Электронный ресурс] // [ndt.com.ua](http://ndt.com.ua) — Режим доступа до ресурсу: <http://www.ndt.com.ua/ru/products/at/ndt-of-railway-axles-snk-os-3>

14. Назначение УМПК-39 [Электронный ресурс] // [ndt.com.ua](http://ndt.com.ua) — Режим доступа до ресурсу: <http://www.ndt.com.ua/ru/products/at/umpk-39>

15. Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 [Электронный ресурс] // [ultracon-service.com.ua](http://ultracon-service.com.ua) — Режим доступа до ресурсу: <http://www.ultracon-service.com.ua/index.php/ru/articles/item/6-ultrasonic-flaw-detector-ud2-70-article>

16. Ермолов И.Н., Вopilкин А.Х., Бадалян В.Г. Расчеты в ультразвуковой дефектоскопии (краткий справочник). НПЦ «ЭХО+» М., 2000. -108с.

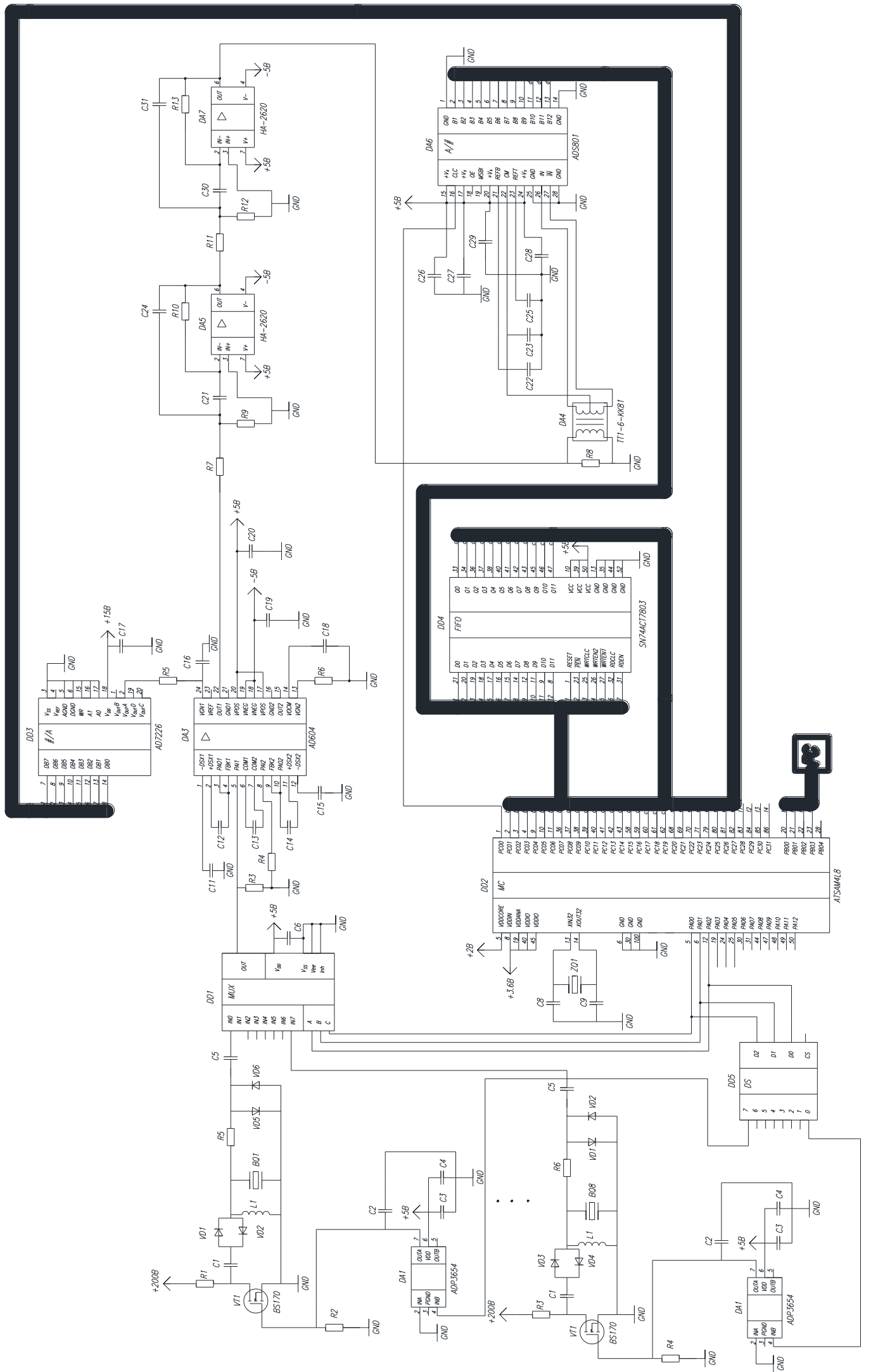
17. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання). Навчальний посібник. —Кіровоград: «Імекс ЛТД», 2006.- 448с.

18. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля. Под ред.И.Н.Ермолова. Машиностроение, М., 1986.-280с.

19. 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.

20. 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/>

21. Аналіз ультразвукової дефектоскопії осей колісних пар вагонів [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: [http://4ua.co.ua/transport/ta3ac79a4c43a89421306c36\\_0.html](http://4ua.co.ua/transport/ta3ac79a4c43a89421306c36_0.html)



ПК71м.010000.000.Е3	
Исполнитель	Исполнитель
Проверено	Проверено
Утверждено	Утверждено
Доработано	Доработано
Специально	Специально

Ультрафиолетовая система  
контроля осевых координат  
Схема электропитания программы  
ПК71м.010000.000.Е3