

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

Кафедра приладів та 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: «Ультразвуковий контроль елементів трубчастих конструкцій»

Виконав:

студент VI курсу, групи ПК-71мп
Курасов О.В.

Керівник:

Професор, доктор технічних наук
Маєвський С.М.

Консультант з розділу «Розробка стартап-проекту»:

Доцент, кандидат економічних наук
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

(підпис) (ініціали, прізвище)

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Курасову Олександрю Васильовичу

1. Тема дисертації «Ультразвуковий контроль трубчастих конструкцій», науковий керівник дисертації Маєвський Станіслав Михайлович, д.т.н., проф., затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. №4078-с
2. Термін подання студентом дисертації 14 грудня 2018р.
3. Об'єкт дослідження: процес знаходження дефектів основного металу трубопрокату.
4. Вихідні дані: метод визначення дефектів – розрахунок прийнятого сигналу, розрахунок приводу для переміщення системи.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: виконати літературний огляд за темою дослідження, провести аналіз існуючих систем контролю; розробити розрахункову частину системи та виконати її моделювання, обрати вид контролю та обґрунтувати вибір.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: результати моделювання роботи системи; оглядовий плакат розробленої системи; апаратна реалізація системи.

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікація однієї статті в XI науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні».

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання: 1 вересня 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел, аналіз існуючих систем контролю трубопроводу.	3 тижні	
2	Розробка структурної і функціональної схем.	2 тижні	
3	Розрахунок основних вузлів системи.	2 тижні	
4	Розрахунок механічних частин	2 тижні	
5	Моделювання роботи системи.	2 тижні	
6	Виконання та оформлення розділу «Розробка стартап-проекту».	1 тиждень	
7	Аналіз результатів та написання висновків	1 тиждень	
9	Оформлення пояснювальної записки, презентації та плакатів.	1 тиждень	

Студент

Курасов О.В.

Науковий керівник дисертації

Маєвський С.М.

Реферат

Дана магістерська дисертація складається з 87 сторінок, 21 ілюстрацій, 24 таблиць.

В даній магістерській дисертації було розроблено автоматичну УЗ систему контролю труб з використанням технології LRUT.

Дана тема є актуальною на сьогодні оскільки в умовах автоматизації та великих обсягу неруйнівного контролю, необхідні системи, які можуть з цим справлятися.

Запропонована в даній роботі система складається з сучасних технологій в УЗК. Для забезпечення акустичного постійного контакту між об'єктом контролю і системою, використано новітні ідеї. Моделювання роботи системи проводилось з використанням сучасного програмного забезпечення.

Також проведено розробку потенційного стартап проекту, й розглянуто можливість виходу системи на міжнародний та вітчизняний ринки.

Мета магістерської дисертаційної роботи дослідити можливості використання ультразвукового контролю труб великого діаметра та розміру.

Розроблена система може бути застосована в неруйнівного контролю в якості основної чи допоміжної. Також завдяки універсальності алгоритмів роботи з мінімальними змінами може бути перебудована під інший спосіб знаходження дефектів в трубопроводах.

Ключові слова: контроль трубопроводу, LRUT, ПЕП, автоматизований НК.

Abstract

This master's dissertation consists of 87 pages, 21 illustrations, 24 tables.

In this master's thesis an automatic ultrasonic control system for pipes using LRUT technology was developed.

This topic is relevant today as automation and large volumes of non-destructive testing require systems that can handle this.

The system proposed in this paper consists of modern technologies in UZK. To ensure acoustic constant contact between the object of control and the system, the latest ideas are used. The simulation of the system was carried out using modern software.

Also, development of a potential startup of the project was conducted, and the possibility of the system's exit to the international and domestic markets was considered.

The purpose of the master's thesis is to explore the possibility of using ultrasonic control of large diameter and size pipes.

The developed system can be applied to non-destructive control as a primary or auxiliary. Also, due to the versatility of the algorithms, work with minimal changes can be rebuilt for another way of finding defects in the pipelines.

Keywords: pipeline control, LRUT, PEP, automated NDT.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
Вступ.....	8
Розділ 1. Огляд літературних джерел.....	10
1.1 Об'єкт контролю: труби сталеві безшовні гарячодеформовані.....	10
1.2 Область застосування.....	11
1.3 Контрольовані показники якості.....	12
1.4 Методи випробувань труб.....	13
1.5 Класифікація пошкоджень і дефектів.....	13
1.6 Обґрунтування доцільності застосування методу ультразвукової дефектоскопії.....	15
1.7. Теоретичні основи методу ультразвукової дефектоскопії.....	16
1.8 Метод ультразвукової дефектоскопії.....	25
1.9 Огляд існуючих систем.....	26
РОЗДІЛ 2. ОПИС ПРИНЦИПУ ДІЇ СИСТЕМИ.....	49
2.1 Принцип дії системи.....	49
2.2 Опис структурної схеми.....	51
2.3 Опис функціональної схеми.....	53
2.4 Алгоритм роботи.....	55
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	57
3.1. Розрахуно акустичної частини.....	57
3.2. Розрахунок механічної частини.....	65
4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	69
4.1 Опис ідеї проекту.....	69
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	71
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	71
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	78
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Нижче наведено список умовних позначень, та скорочень, які використовуються в даній магістерській дисертації:

ОК - об'єкт контролю, тобто та продукція, її частина чи ділянка, контроль якості(або діагностика) якої проводиться.

НК – контроль якості або стану(діагностика) ОК неруйнівними методами контролю.

ПЕП – п'єзоелектричні перетворювачі

УЗ – скорочення слова «ультразвуковий», наприклад УЗ датчик, УЗ контроль.

УЗК – ультразвуковий контроль

Вступ

Покращення якості продукції, збільшення її надійності і довговічності – одне з завдань неруйнівного контролю, успішне рішення якого залежить від належного контролю на всіх етапах виробництва, починаючи від заготовок і напівфабрикатів і закінчуючи готовими виробами, а також контролю в процесі експлуатації.

Призначення неруйнівних методів контролю полягає в тому, щоб не допустити до експлуатації вироби з деталями або вузлами, що мають відхилення від загальних норм придатності. Застосування неруйнівного контролю забезпечує збільшення надійності, довговічності експлуатації виробів, а в ряді випадків і продовження ресурсу з верх установлених норм.

Доцільність застосування неруйнівного контролю визначається відношенням затрат на його застосування до одержаного економічного ефекту. Практика показує, що навіть при дуже ретельному виготовленні і контролі якості неможливо повністю уникнути появи виробничих дефектів.

Ріст вимог до якості продукції примушує більш широко застосовувати методи неруйнівного контролю, бути забезпеченими дефектоскопами і іншими засобами контролю і спеціалістами, що працюють на них. Ефективність визначення задач неруйнівного контролю суттєво залежить від вибраного виду контролю і його методу.

Метою магістерської дисертаційної роботи є розробка автоматизованої системи ультразвукового контролю елементів трубчастих конструкцій. 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 елементів трубчастих конструкцій;
- обґрунтувати вибір автоматизованої системи ультразвукового контролю елементів трубчастих конструкцій.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого акустичного неруйнівного контролю елементів трубчастих конструкцій.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого акустичного контролю елементів трубчастих конструкцій.

Розділ 1. Огляд літературних джерел

1.1 Об'єкт контролю: труби сталеві безшовні гарячедеформовані.

Сталеві безшовні труби гарячої прокатки давно користуються популярністю в нафтогазовій, хімічній, військової промисловості і, наприклад, машинобудування. Такі труби є однією з найпоширеніших різновидів трубопровідної арматури. Вони досить міцні і володіють високими технічними характеристиками, в першу чергу завдяки відсутності швів та інших допоміжних з'єднань. Це дуже важлива якість для систем, протікання яких не припустимі. Ці вироби прокочують, використовуючи спеціальне, прокатне устаткування.

Сталеві безшовні труби, як правило, проводяться методом прокатки в гарячому стані. Після цього вона піддається додатковій прокатці в холодному стані. Для гарячедеформованих труб характерні популярні розміри від 25 до 700 мм в діаметрі. Товщина стінок такої труби коливається від 2,5 до 75 мм. Такі труби як правило великого діаметра - мінімальний можливий діаметр при використанні цього методу 57 міліметрів. При використанні редуційних станів з натягу, мінімальний діаметр можна зменшити до 5 мм, отримаємо діаметр менше - технічно неможливо. Чим ширше труба тим більше передбачувана на неї навантаження, а значить міцність її повинна бути вище, саме тому практично всі гарячедеформовані безшовні труби товстостінні - товщина стінки від 3 мм.

Труби мають різною довжиною і формою. Розрізняють чотири їх основні види. Перший з них - труби немірної довжини. Вони коливаються в межах від 4 до 12,5 м. Другий вид - труби мірної довжини. Наступний вид - труби кратної мірної довжини. Їх тривалість така ж, але з урахуванням припусків на кожен рез приблизно по 0,5 см. І останній різновид труби приблизною довжини. Вони коливаються в тих же межах, що і всі інші.

Гарячодетформовані сталеві труби класифікують за кількома основними параметрами:

1. За точністю виготовлення (по зовнішньому діаметру, товщині стінки):

звичайної точності;

підвищеної точності — П;

високої точності— В.

2. За формою поперечного перерізу::

круглі;

квадратні;

прямокутні.

3. За товщиною стінки::

тонкостінні;

товстостінні.

4. За характеристикою довжини:

немірної довжини - від 4 до 12,5 м;

мірної довжини - в межах немірної - М;

довжини кратної мірної - в межах немірної з припуском на

кожний різ по 5 мм - КР;

приблизної довжини - в межах немірної;

обмеженої довжини - ОГ.

Позначення готових труб проводять за наступною схемою. Так для труб із зовнішнім діаметром 219 мм, товщиною стінки 10 мм, немірної довжини, звичайної точності виготовлення, зі сталі марки Ст4сп, категорія стали 1, виготовляється по групі Б ГОСТ 8731 із злитка.

1.2 Область застосування.

Сфера застосування безшовних труб, створених методом прокатки в гарячому стані, досить широка, а тому поширені вони повсюдно. Це - вироби з легованої і вуглецевої сталі загального призначення. Вони виготовляються по

зовнішньому діаметру, довжині і товщині стінки. Регулюється цей процес по ГОСТ 8731-78. [2]

З причини високої міцності готових труб, вони використовуються в тих галузях, де до трубопровідної арматури висуваються дуже високі вимоги. Це і нафтова промисловість, і газова сфера, а також ряд інших напрямків, де аварія може призвести не просто до серйозних збитків, а й зашкодити життю та здоров'ю людей, а також стати причиною забруднення навколишнього середовища.

Крім того, труби сталеві безшовні застосовуються в автомобілебудуванні в якості окремих деталей машин, і в котельних установках. Такі труби використовуються всюди, де потрібна міцність і велика пропускна здатність. Крім того гарячедеформовані труби використовують в якості заготовок при виготовленні балонів.

1.3 Контрольовані показники якості

Сортамент всіх горячедеформованих безшовних труб повністю регламентується Держстандартом, а саме - ГОСТ 8732-78. [3] Важливо, щоб граничні відхилення в довжині труб не перевищували певної позначки. Така у виробках мірної довжини разом з трубами кратної мірної довжини не повинна перевищувати рівня в 10 мм, за умови, якщо довжина труби до шести метрів.

Якщо ж трубопровідна арматура в довжину більше 6 метрів, або має зовнішній діаметр понад 152 мм, то максимальне відхилення становить 15 мм, не більше. Якість трубопровідної арматури також має свою градацію і свої характеристики. Зокрема, її ділять на п'ять груп, які позначені першими п'ятьма буквами українського алфавіту.

Група «А» включає в себе труби, які виконані зі сталі марок Стбсп, Ст5сп, Ст4сп і Ст2сп. Нормування механічних властивостей даних виробів регламентується по ГОСТ 380-94.

Група «Б» включає в себе вироби з тієї сталі, як це обумовлено в ГОСТ ГОСТ 19281, ГОСТ 380, ГОСТ 4543 і ГОСТ 1050. Тут регламентується норма хімічного складу.

Третя ж група якості - «В» - регулюється тим же Держстандартом, що і вироби групи «Б». Тут задається не просто хімічний склад, але і механічні властивості. Сталь використовується тих же марок, що і в попередній групі.

Четверта група якості - «Г». У цю групу входять труби по ГОСТ 19281, ГОСТ 4543 і ГОСТ 1050. Головна характеристика даної групи - контроль механічних властивостей виробів на тих зразках, які пройшли термічну обробку. До експлуатації допускаються лише ті вироби, які відповідають заданим стандартам якості сталі.

Остання група - «Д». Тут не приділяється настільки серйозну увагу хімічним складом і механічними властивостями. Основний акцент зроблений на випробування гідравлічного тиску.

1.4 Методи випробувань труб

Розглянемо основні методи випробувань. Труби сталеві безшовні гарячохолоднодеформовані піддаються таким випробуванням:

- Метод випробування на загин (ГОСТ 3728-78);
- Метод випробування на сплющування (ГОСТ 8695-75);
- Метод випробування гідравлічним тиском (ГОСТ 3845-75);
- Метод ультразвукової дефектоскопії (ГОСТ 17410 – 78).

1.5 Класифікація пошкоджень і дефектів

Існує ще одна група ушкоджень і дефектів труб - на це раз їх стінок, в тому числі місць зварних з'єднань і швів. Вони виникають в результаті не регламентовані транспортування, прокладки газопроводу, а також його експлуатації.

Пошкодження на стінках газопровідної труби можуть бути наступними: Невеликі пошкодження (як наскрізні, так і непрямі) вузької форми у вигляді тріщин. Вони зазвичай мають кут близький до 90 градусів і напрямок в сторону поверхні стінки труби. Розшарування металу і утворення паралельних шарів.

Відсутність сплошности металу великої довжини в напрямку прокатки (захід). Металеве відшарування, що має різну товщину і величину.

Воно проходить в сторону прокатки і однією стороною з'єднується з основним металом (полону). Розрив металу, що має різну розкрити форму. Він окислений і розташовується зверху або під кутом в бік прокатки (рванина).

Зміст в трубі неметалічних речовин (ізоляція). Канавка на металевій поверхні труби, що має подовжню форму. Вона утворюється в результаті зіткнення в процесі прокатки металу труби з гострими виступами.

Всі ці дефекти пов'язані з виробничим металургійним шлюбом. Але дефекти утворюються також і в результаті транспортування труб, їх прокладання та експлуатації. Вони класифікуються наступним чином: Наднормативне зменшення товщини стінок металу на значній території трубопроводу.

Поодинокі і локальні дефекти на поверхні газопровідної труби. Лінійні дефекти протяжної форми. Процес стоншення стінок металу на трубопроводі, як правило, викликаний корозійними ушкодженнями, які мають суцільний рівномірний і нерівномірний характер. Критичним критерієм при технічній оцінці ураженої корозією зони газопроводу є не стільки величина пошкодженої площі об'єкта, скільки фіксація мінімальної товщини стінки металу.

Дефекти труби, мають лінійно-протяжну форму, є пошкодження, в яких довжина більше ширини і глибини. До них відносяться задираки і подряпини, які, як правило, утворюються в результаті механічних впливів на об'єкт.

Можливість безпечного та ефективного використання газопровідної труби з подібними ушкодженнями залежить від напруженості металу в зоні дефекту. Зазначені дефекти і пошкодження металевої поверхні трубопроводу, розглянуті, перш за все, з точки зору якісної оцінки, а не кількісної, яка також має свою класифікацію і ґрунтується в стандартах.

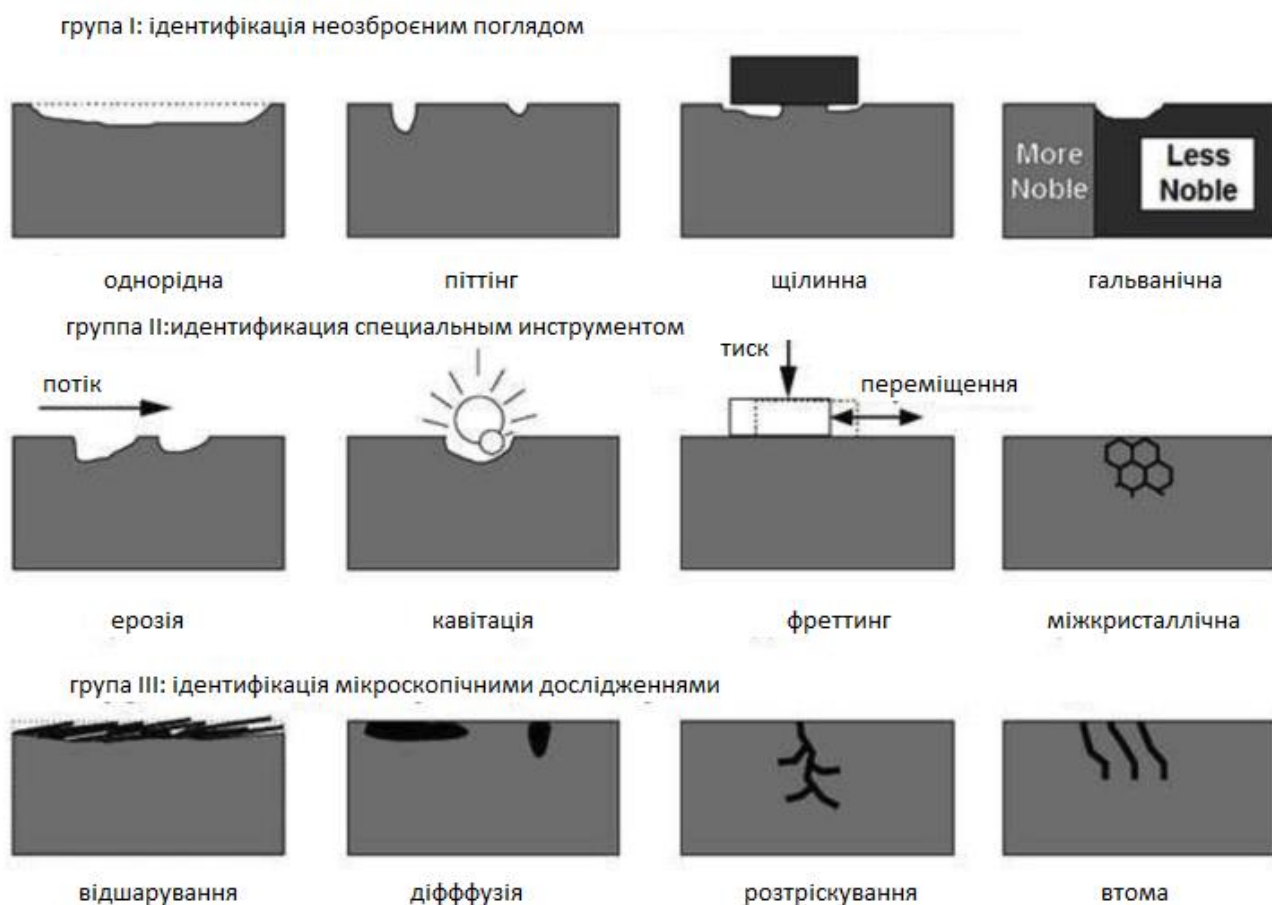


Рис.1 Дефекти труб

1.6 Обґрунтування доцільності застосування методу ультразвукової дефектоскопії

Труби сталеві безшовні піддають численним випробуванням для визначення їх якості. Проводять випробування на хімічний склад труби, випробування на

розтяг, на твердість, відчувають труби на загин, сплющивание, бортованіе, гідравлічним тиском і т.д.

Більш докладно зупинимося на методі ультразвукової дефектоскопії, так як цей метод виявляє різні дефекти (типу порушення цілісності і однорідності металу), розташовані на зовнішній і внутрішній поверхнях, а також в товщі стінок труб, що походять від тільки ультразвукової дефектоскопічної апаратури.

1.7. Теоретичні основи методу ультразвукової дефектоскопії

1.7.1 Об'ємні хвилі

У всіх середовищах (крім вакууму) можуть існувати коливання розтягування-стиснення. Хвилі з такими коливаннями - це поздовжні хвилі, або хвилі розтягу-стиску. При поширенні в твердому тілі коливання частинок середовища в поздовжньої хвилі в основному відбуваються вздовж напрямку поширення хвилі. У твердому тілі існують також хвилі зсуву. Частинки в них коливаються поперек напрямку поширення хвилі. Їх тому називають поперечними або зсувними хвилями.

Швидкість поширення поперечної хвилі приблизно в 2 рази (точніше, в 1,8 ... 1,9 рази) менше, ніж поздовжньої. Наприклад, в стали швидкість поздовжньої хвилі $c_l = 5,92$ мм / мкс, а поперечної $c_t = 3,23$ мм / мкс. Поперечні хвилі, що поширюються похило до будь-якої поверхні (наприклад, до поверхні введення коливача) або уздовж неї, поділяють на хвилі з напрямком коливача, паралельним поверхні (їх називають горизонтально-поляризованими, SH, TH), і хвилі з напрямком коливача, перпендикулярним до цієї поверхні (їх називають вертикально-поляризованими, SV, TV). Вони по-різному відбиваються від поверхонь і структурних неоднорідностей.

На практиці зазвичай застосовують SV-хвилі, проте по відношенню до поверхні відбивача вони можуть бути SH-хвилею або мати SV- і SH-складові.

1.7.2 Хвилі Релея

У твердому тілі крім об'ємних існують також специфічні хвилі, що поширюються уздовж поверхні, поверхневі і головні. Поверхнева хвиля (хвиля Релея) представляє лінійну комбінацію поздовжньої і поперечної хвиль. Така комбінація дає можливість задовольнити умову рівності нулю напруг на вільній поверхні, уздовж якої поширюється хвиля.

Швидкість релеєвської хвилі ζ , приблизно дорівнює 0,93 швидкості поперечних хвиль (для сталі - 3,01 мм / мкс). Траєкторія коливань частинок ОК - еліпси з великою віссю, перпендикулярної до поверхні. Витягнутість еліпсів збільшується зі збільшенням глибини від поверхні. Амплітуда релеєвської хвилі має максимум на поверхні і зменшується в 10 раз на глибині $\sim \lambda$ - довжини поверхневої хвилі. Релеєвського хвиля поширюється на великі відстані (близько 1 ... 2м), слідує вигинів поверхні, огинаючи плавні опуклості і западини на поверхні ОК. На опуклою поверхні швидкість її збільшується, а на увігнутій зменшується і одночасно зростає загасання.

Хвиля Релея поширюється на поверхні уздовж межі розділу двох середовищ (рисунок 1.1).

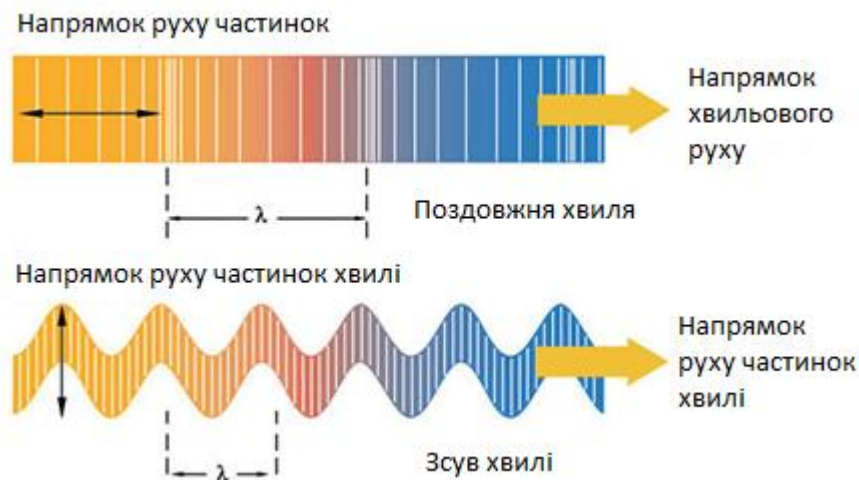


Рис.2– Хвиля Релея

Властивості хвилі Релея:

1. Має мале загасання, порівнянне з об'ємною поздовжньої хвилею;

2. Існує тільки в твердих тілах;
3. При проходженні прямого кута близько 50% хвилі проходить, 37% відбивається і 13% розсіюється;
4. Для ідентифікації хвилі використовують метод пальпірованіє;
5. При навантаженні поверхні розділу рідиною релеєвскому хвиля перетворюється в специфічну, швидко загасаючу, що поширюється в двох середовищах одночасно хвилю, зі швидкістю, менше ніж швидкість УЗВ в рідині.

1.7.3 Підповерхневі головні хвилі

1. Головні хвилі - це хвилі, що біжать уздовж поверхні ОК.
2. Загальні властивості цих хвиль:
3. Хвилі поширюються на глибині $k\lambda$ (на поверхні відсутні);
4. Коливання часток відбувається по еліпсу під кутом до поверхні ОК;
5. Існують в твердих тілах;
6. Безперервно випромінюють відповідні трансформовані хвилі, в результаті чого дуже швидко згасають;
7. Швидкості відповідних головних хвиль рівні швидкостям об'ємних хвиль;
8. Чи не забезпечують виявлення поверхневих дефектів;
9. Через великого впливу перешкод від трансформованої хвилі застосовуються для контролю деталей товщиною понад 20мм.

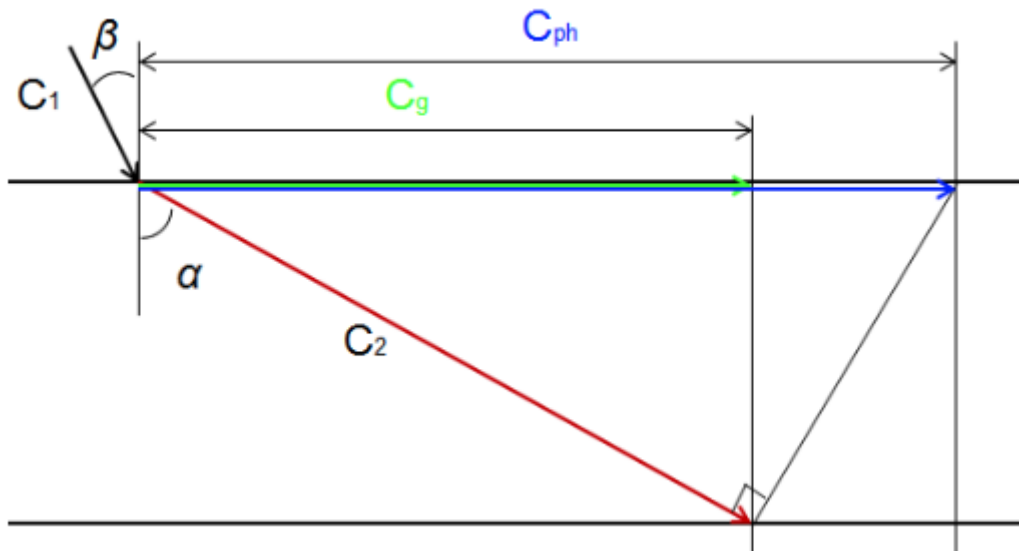


Рис. 3 – головні хвилі: а) головний поперечна хвиля б) головний поздовжня хвиля

$C_L^{\text{гол}}$ – поздовжня підповерхнева головний хвиля

$C_t^{\text{гол}}$ – поперечна підповерхнева головний хвиля

$C_L^{\text{тран}}$ – трансформована поздовжня хвиля.

$C_t^{\text{тран}}$ – трансформована поперечна хвиля.

1.7.4 Хвилі в пластинах і стрижнях

В обмежених твердих тілах (пластинах, стрижнях) існують хвилі в пластинах (хвилі Лемба) і хвилі в стрижнях (хвилі Порхгаммера). Їх загальна назва - нормальні хвилі. У напрямку, перпендикулярному до поверхні пластини або стрижня, нормальні хвилі як би утворюють стоячу хвилю. В пластині або стрижні певної товщини можуть поширюватися різні типи нормальних хвиль з різним розподілом коливань по товщині.

Хвилі в пластинах застосовують для УЗК тонких листів, труб, оболонок, а хвилі в стрижнях - для контролю дротів, стрижнів, труб (при поширенні уздовж осі труби). Швидкість поширення цих хвиль змінюється в залежності від частоти

(явище дисперсії швидкості), пружних властивостей матеріалу і поперечних розмірів пластини або стрижня.

1.7.5 Проходження і відображення УЗВ

При проходженні УЗВ через кордон розділу двох середовищ частина хвилі проходить, а частина - відбивається. Частка відбитої хвилі буде визначатися різницею акустичних властивостей середовища, які характеризуються акустичним імпедансом (акустичним опором).

Акустичний імпеданс $Z, \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$:

$$Z = \frac{P}{V_n} = \frac{\rho \cdot c}{\cos \theta} \quad (2)$$

где P – акустичний тиск;

V_n – швидкість коливального руху;

ρ – щільність матеріалу;

Коефіцієнт відображення по амплітуді R :

$$R = \frac{z_1 - z}{z + z_1} \quad (3)$$

де z_1 – акустическій імпеданс першої середовища,

z – акустичний імпеданс другого середовища.

Коефіцієнт проходження по амплітуді D :

$$D = \frac{2 \cdot z}{z_1 + z} \quad (4)$$

На практиці використовують коефіцієнти не по амплітуді, а по енергії:

- частка минулої хвилі визначається за формулою:

$$\bar{D} = \frac{W_{\text{прош}}}{W_0} \quad (5)$$

де W_0 – падаюча енергія,

$W_{\text{прош}}$ – прошедша э енергія.

- частка відбитої хвилі визначається за формулою:

$$\bar{R} = \frac{W_{\text{отр}}}{W_0} \quad (6)$$

где W_0 – падаюча енергія,

$W_{\text{отр}}$ – відображена енергія.

При похилому падінні УЗВ в другому об'єкті існує поздовжні і поперечні хвилі, і коефіцієнти відбиття і проходження визначаються за формулами:

- коефіцієнт відображення \bar{R} :

$$\bar{R} = \left(\frac{z_e \cdot \cos^2 2\alpha + z_t \cdot \sin^2 2\alpha - z_1}{z_e \cdot \cos^2 2\alpha + z_t \cdot \sin^2 2\alpha + z_1} \right)^2 \quad (7)$$

Для прямого ПЭП:

$$\bar{R}_l = \left(\frac{z_l \cdot \cos^2 2\alpha - z_1}{z_e \cdot \cos^2 2\alpha + z_1} \right)^2 \quad (8)$$

Для похилого ПЭП:

$$\bar{R}_t = \left(\frac{z_t \cdot \sin^2 2\alpha - z_1}{z_t \cdot \sin^2 2\alpha + z_1} \right)^2 \quad (9)$$

- коефіцієнт проходження \bar{D} :

$$\bar{D} = \frac{4 \cdot z_l \cdot z_1 \cdot \sin^2 2\alpha}{(z_l \cdot \cos^2 2\alpha + z_t \cdot \sin^2 2\alpha + z_1)^2} \quad (10)$$

Для прямого ПЕП:

$$\bar{D} = \frac{4 \cdot z_l \cdot z_1 \cdot \cos^2 2\alpha}{(z_l \cdot \cos^2 2\alpha + z_1)^2} \quad (11)$$

Для похилого ПЕП:

$$\bar{D} = \frac{4 \cdot z_t \cdot z_1 \cdot \sin^2 2\alpha}{(z_t \cdot \sin^2 2\alpha + z_1)^2} \quad (12)$$

1.7.6 Закон Снеллиуса. Критичні кути

Якщо нижня і верхня середовища тверде тіло, то в них при падінні пружною хвилі на кордон виникає відразу дві хвилі: поздовжня і поперечна (рисунок 1.3). Явище перетворення одного типу хвиль в інший називають трансформацією хвиль. Якщо якась небудь середовищі рідина або газ, то поперечні хвилі в ній відсутні. Напрямок відображених і заломлених, поздовжніх і поперечних хвиль визначається законом синусів (законом Снеллиуса):

$$\frac{\sin \beta}{C_1} = \frac{\sin \beta_t}{C_{t1}} = \frac{\sin \alpha}{C_{l2}} = \frac{\sin \alpha_t}{C_{t2}}, \quad (13)$$

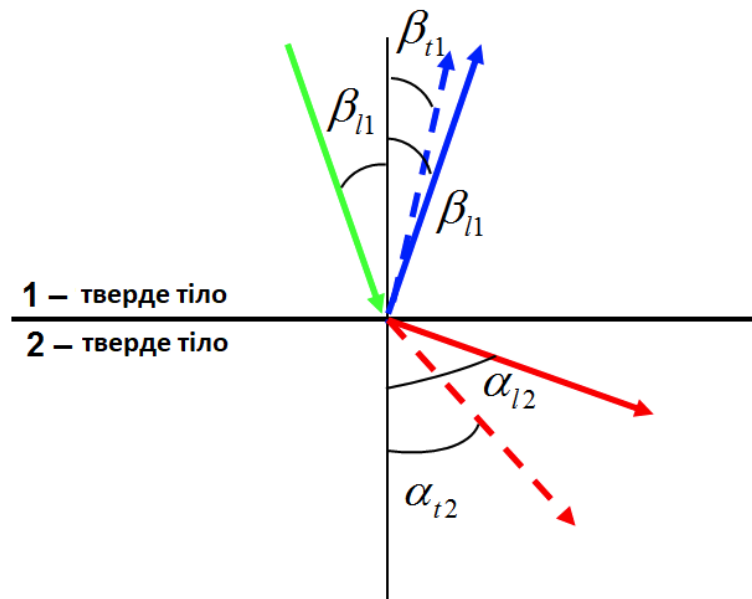


Рис.4 – Закон Снеллиуса

Позначення кутів показані на рисунку 1.3 C_1 , C_{l1} , C_{t1} , C_{l2} , C_{t2} – швидкості хвиль падаючої, відбитої поздовжньої, відображеної поперечної, преломленої поздовжньої, преломленої поперечної.

При УЗК найчастіше зустрічається випадок, коли падає поздовжня хвиля, а в результаті заломлення і трансформації виникають поздовжня і поперечна хвилі, причому швидкість обох хвиль більше, ніж швидкість падаючої хвилі. Виникають також відбиті хвилі: поздовжня, якщо верхня середу рідка; поздовжня і поперечна, якщо верхня середу тверда.

Якщо збільшити кут падіння, то при деякому його значенні кут заломлення для поздовжньої хвилі буде дорівнює 90° . заломлення поздовжня хвиля буде поширюватися уздовж поверхні, як би стаючи головним. Цей кут падіння називають першим критичним. При ще великих кутах віддзеркалення в другому середовищі залишиться тільки поперечна хвиля: при другому критичному вугіллі

поперечна хвиля піде уздовж поверхні, то Тобто обидві заломлені хвилі зазнають повне внутрішнє відбиття. Критичні кути розраховуються за формулою:

$$\beta = \arcsin \frac{C}{C'} \quad (14)$$

де C швидкість падаючої хвилі;

C' – швидкість поздовжньої або поперечної преломленої хвилі.

Найбільш поширений спосіб збудження поперечних хвиль у виробі - за допомогою перетворювача з призмою, кут якої лежить між першим і другим критичними кутами). Для кордону органічне скло (плексиглас) -сталь перший критичний кут падіння поздовжньої хвилі в плексигласу дорівнює $27,50$. При цьому кут заломлення для поздовжньої хвилі 90^0 , а для поперечної $\alpha = 32^0$. Другий критичний кут $\beta = 57,50$. При цьому куті падіння збуджується поперечна головний хвиля, але помітити її вкрай важко. При углі, трохи більшому другого критичного $\beta = \arcsin (C / C_r)$ виникає поверхнева релєєвського хвиля зі швидкістю C_R . Для оргскло-сталь кут падіння, при якому порушується ця хвиля (третьої критичний кут), дорівнює $\beta = 65^0$. Подібним способом порушуються також підповерхневі головні хвилі.

1.7.7. Ультразвукова дефектоскопія

Ультразвукова дефектоскопія - пошук дефектів в матеріалі виробу ультразвуковим методом, тобто шляхом випромінювання і прийняття ультразвукових коливань, відбитих від внутрішніх несплошностей (дефектів), і подальшого аналізу їх амплітуди, часу приходу, форми та інших характеристик за допомогою спеціального обладнання - ультразвукового дефектоскопа. Є одним з найпоширеніших методів неруйнівного контролю. [10]

Звукові хвилі не змінюють траєкторії руху в однорідному матеріалі. Відображення акустичних хвиль походить від розділу середовищ з різними питомими акустичними опорами. Чим більше розрізняються акустичні опору, тим більша частина звукових хвиль відбивається від кордону розділу середовищ.

Так як включення в металі часто містять повітря, що має на кілька порядків більший питомий акустичний опір, ніж сам метал, то відображення буде практично повне.

Роздільна здатність акустичного дослідження визначається довжиною використовуваної звукової хвилі. Це обмеження накладається тим фактом, що при розмірі перешкоди менше чверті довжини хвилі, хвиля від нього практично не відбивається. Це визначає використання високочастотних коливань - ультразвуку.

З іншого боку, при підвищенні частоти коливань швидко зростає їх загасання, що обмежує доступну глибину контролю. Для контролю металу найбільш часто використовуються частоти від 0.5 до 10 МГц.

Ультразвукове дослідження не руйнує і не пошкоджує досліджуваній зразок, що є його головною перевагою. Можливо проводити контроль виробів з різноманітних матеріалів, як металів, так і неметалів. Крім того можна виділити високу швидкість дослідження при низькій вартості і небезпеки для людини (в порівнянні з рентгенівської дефектоскопії) і високу мобільність ультразвукового дефектоскопа.

Застосовується для пошуку дефектів матеріалу (пори, волосовини, різні включення, неоднорідна структура та ін.) І контролю якості проведення робіт - зварювання, пайка, склейка і ін.

Ультразвуковий контроль є обов'язковою процедурою при виготовленні і експлуатації багатьох виробів.

1.8 Метод ультразвукової дефектоскопії

Одним з провідних методів випробувань є метод ультразвукової дефектоскопії, контрольований стандартом ГОСТ 17410 - 78. [9] Цей стандарт поширюється на прямі металеві одношарові безшовні циліндричні труби, виготовлені з чорних і кольорових металів і сплавів.

При контролі якості суцільності металу труб застосовуються луна-метод, тіньовий або дзеркально-тіньовий методи. Введення ультразвукових коливань в метал труби здійснюється іммерсійним, контактним або щілинним способом.

Контроль металу труб на відсутність дефектів досягається скануванням поверхні контрольованої труби ультразвуковим пучком. Для збільшення продуктивності і надійності контролю допускається застосування багатоканальних схем контролю, при цьому перетворювачі в контрольній площині повинні розташовуватися так, щоб виключити взаємний вплив їх на результати контролю.

1.9 Огляд існуючих систем

1.9.1 Ультразвуковий контроль довгого діапазону (LRUT)

Ультразвуковий контроль довгого діапазону (LRUT), також відомий як ультразвуковий контроль з керованими довжин хвиль (GWUT), являє собою ультразвуковий метод, в якому ультразвукові хвилі передаються вздовж стінки труби (напрямні стінки) довжиною до 180 метрів.

GW LRUT - Ультразвуковий контроль з контроль з керованими довжин хвиль контроль - це метод швидкого скринінгу для оцінки цілісності трубопроводів, незв'язаних підземних трубопроводів, вертикальних або важкодоступних трубопроводів (наприклад, верхніх трубних стелажів) або трубопроводів з епоксидним покриттям для виявлення областей потенційного розкладання або інженерних проблем і грубих розривів для цілеспрямованої оцінки та інспекції.

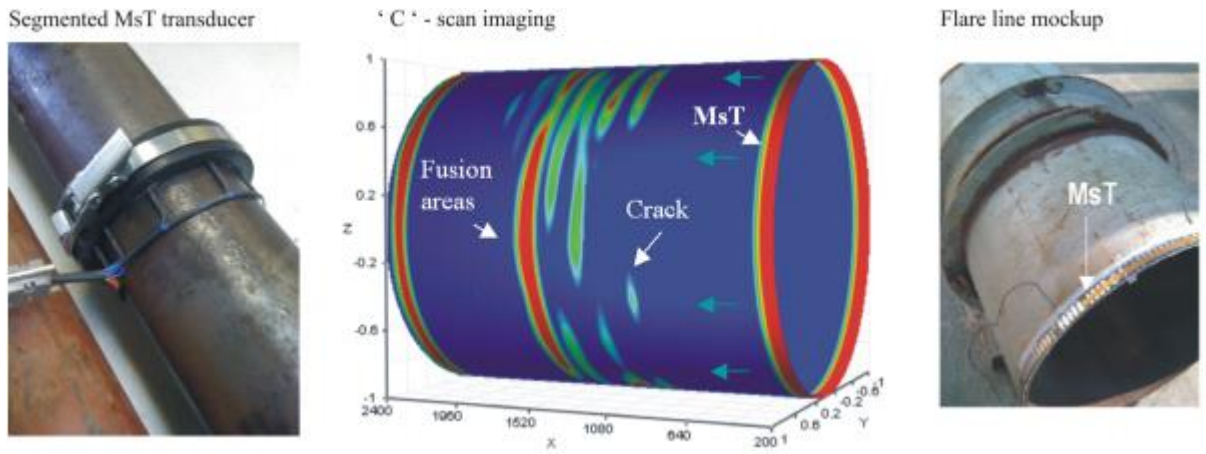


Рис.5 Робота системи по всій окружності

У той час як звичайні методи випробувань неруйнівного контролю забезпечують локальну інспекцію, під або поблизу датчиків, LRUT може протестувати 100% окружну стіну на десятки метрів довжини труби від місця єдиного огляду (контактної точки).

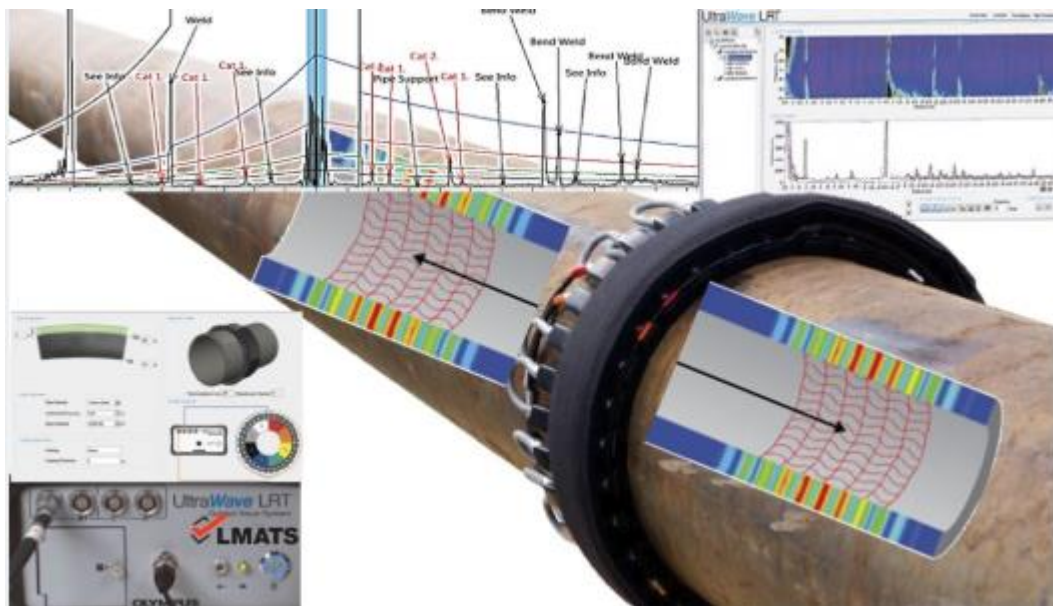


Рис.6 Робота системи LRTU

Керована хвиля LRUT використовується для перевірки 100% окружності труби уздовж довжини труби з одного місця. Низькочастотні (15-85 кГц)

крутильні або поздовжні керовані хвилі генеруються в корпус труби (360 градусів по всьому колу труби) з обох сторін ущільнювальної втулки перетворювача.

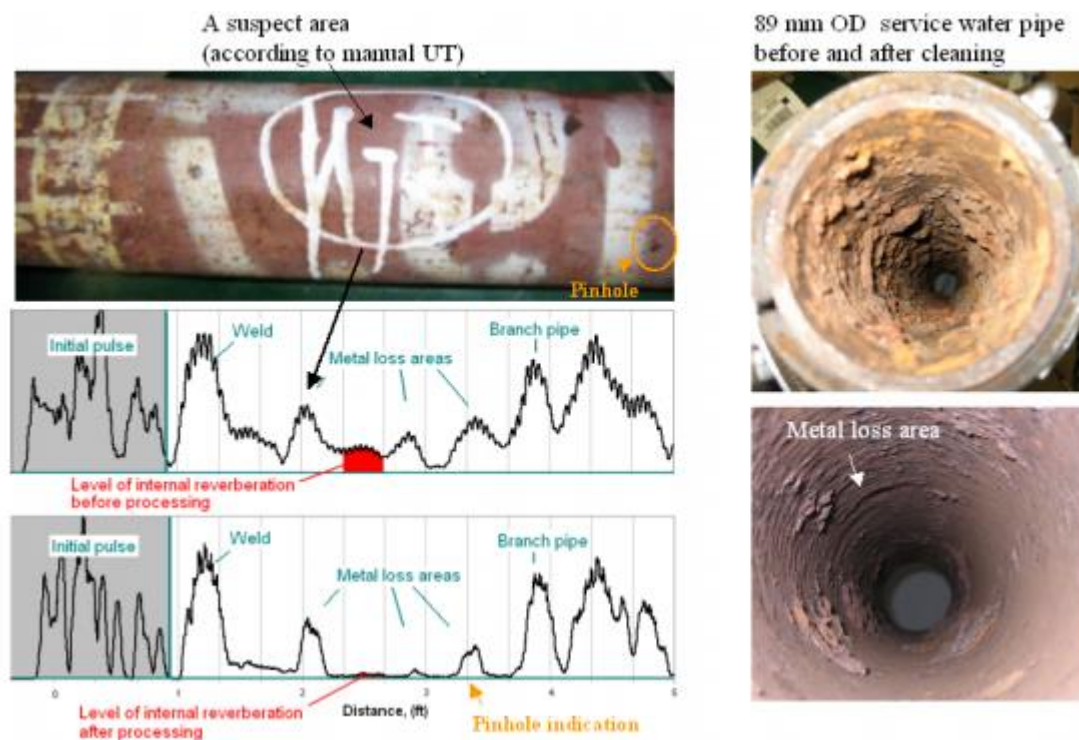


Рис.7 Стан труби за час експлуатації

Ці ультразвукові хвилі поширюються в осьовому напрямку труби до тих пір, поки вся енергія не буде ослаблена або розсіюється. Коли ці керовані хвилі перетинають області зміни поперечного перерізу, такі як стикові зварні шви, опори труб, лікті, фланці або грубі розриви, такі як сильна корозія, ерозія, точкові кластери і т. Д.; вони відображають ламінарні хвилі назад до датчиків в місці ініціювання хвилі (Воротник збірки перетворювача).

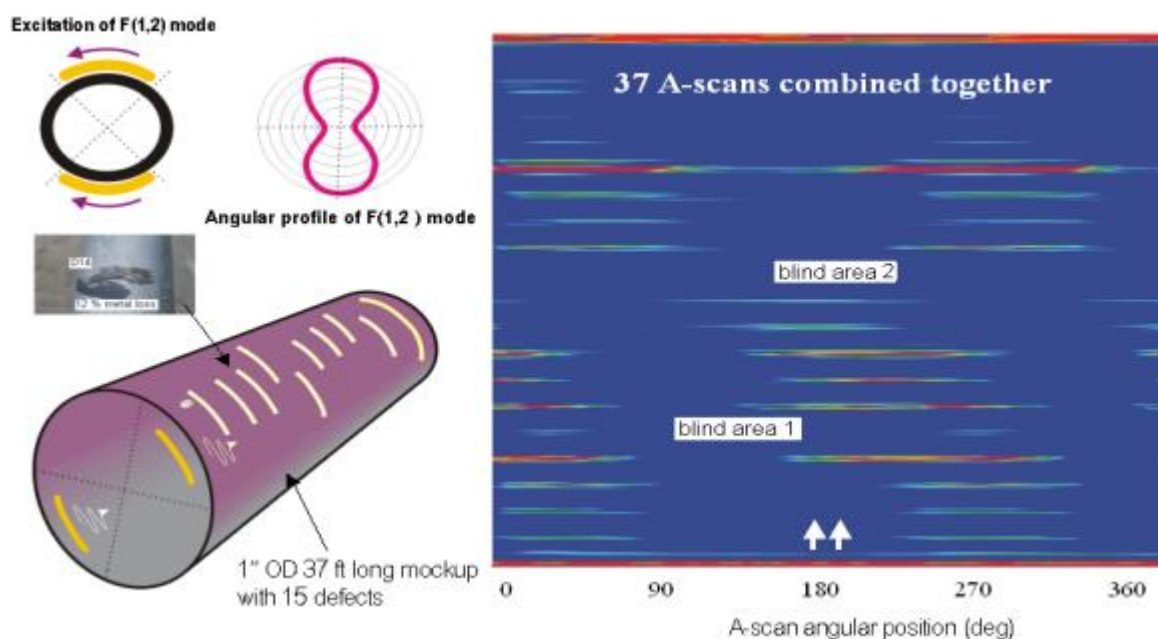


Рис.8 А-скан

Одночасно і аналізуються сигнали з декількома частотами. Проаналізовано час прольоту для кожного відображення і його домінуючою частоти, щоб визначити його місце розташування від датчика. Квадранти визначають периферичний становище функції на стінці труби.

Амплітуда сигналу визначає значимість дефекту відносної втрати поперечного перерізу (LCS). Мінімальна LCS (втрата площі поперечного перерізу), яка може бути в даний час впевнено виявлена, складає 3% від загальної площі поперечного перерізу, що розглядається труби. Один із прикладів репрезентативного кластера показаний на наступному зображенні. Мінімальна LCS (втрата площі поперечного перерізу), яка може бути в даний час впевнено виявлена, складає 3% від загальної площі поперечного перерізу, що розглядається труби. Один із прикладів репрезентативного кластера показаний на наступному зображенні.

Мінімальна LCS (втрата площі поперечного перерізу), яка може бути в даний час впевнено виявлена, складає 3% від загальної площі поперечного

перерізу, що розглядається труби. Один із прикладів репрезентативного кластера показаний на наступному зображенні.

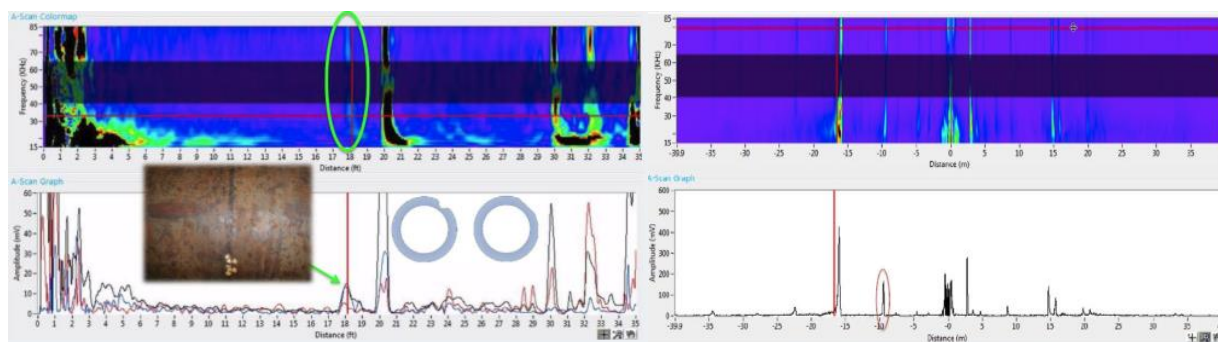


Рис.9 Виявлений дефект

Керована хвиля LRUT в першу чергу застосовується до трубопроводів з обмеженим доступом або тільки до локалізованого доступу; щоб уникнути непотрібних розкопок, установки для видалення покриттів або будівельних лісів.

Використання LRUT значно знижує витрати на технічне обслуговування і є досконалим методом контролю для некерованих труб або недоступних секцій труб. LRUT можна використовувати на діаметрах труб від 38 мм (1,5 дюйма) до 1200 мм (48 дюймів) для виявлення втрати поперечного перерізу (LSC) або таких областей, як корозійні або ерозійні кишені навколо кола труби.

Чутливість LRUT зазвичай становить 2,5% LSC, в рівній мірі чутливої як до ID, так і до OD труби. Абсолютний розмір дефекту буде залежати від розміру труби (для великих OD і товщини стінки 5% може бути проникаючим дефектом).

Амплітуда сигналу буде залежати від форми розриву, наприкладувеліченної площі по периметру або збільшеною глибини в стіні. LRUT може виконуватися на робочих трубопроводах, що працюють в діапазоні від 0 ° C до 70 ° C. Тестування

можна проводити при більш високих температурах і до -30°C , але з винятковими планами управління ризиками.

Крім того, LRUT можна наносити на різні матеріали і різні діаметри труб з товщиною стінки до 40 мм.

ASTM E2775 описує процедуру використання GWUT на трубчастій вуглецевій сталі або виробках з низьколегованої сталі з номінальним розміром труби (NPS) від 2 до 48 дюймів і товщиною стінки від 3,8 до 25,4 мм.

Типовий діапазон сканування (інтерпретується) від єдиного місця випробування становить максимум ± 90 метрів в кожному напрямку (180 метрів двоспрямованістю) для надземних або герметизованих трубопроводів. Відстань інтерпретації від єдиного місця розташування можна зменшити за допомогою наступних параметрів.

Схема трубопроводу, така як кілька вигинів, вкладень, опор, гілок і суглобів
Дуже в'язкі рідкі відкладення на внутрішній або зовнішній трубі.

Весь трубопровід сильно корродировать (швидке затухання ультразвуку і надмірний шум зменшують інтерпретовані довжини трубопроводу)

Тип покриття, наприклад, бітумін - в'язка рідина, яка гасить ультразвук.
Надмірна товщина, діаметр і матеріал трубопроводу

Як правило, діапазон контролю встановлюється в залежності від спотвореного розміру дефекту (чутливості) і загасання звуку.

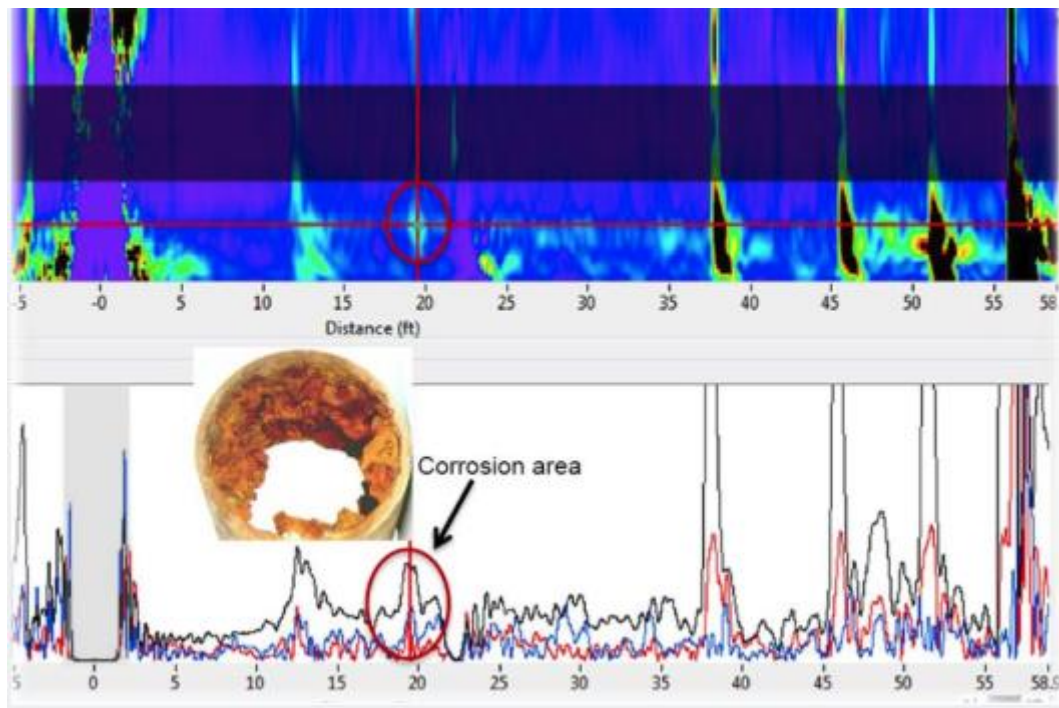


Рис.10 Виявлення корозії в трубі

Ультразвуковий контроль з використанням волноводного діапазону (GW LRUT) може використовуватися для:

- Швидка перевірка працездатних трубопроводів і трубопроводів для виявлення корозії або проблемних зон (LCS)
- Занурені трубопроводи в місцях виїмки ґрунту або на перетинах рівня
- Контейнерні (наскрізні) трубопроводи або лінії водопропускних труб або поліетиленові покриття
- Вертикальні труби або структурні круглі колони
- Недоступні трубопроводи, наприклад, верхня трубопровідна стійка
- Вимога до високошвидкісної оцінки для зниження витрат. Усуньте вартість повних будівельних лісів або використання піднятих робочих платформ, завдяки чому швидкість тестування знижується.

- Ізольовані трубопроводи і трубопроводи - немає необхідності видаляти всю ізоляцію трубопроводу

- Виявлення корозії на опорах труб, хомутах і трубних стійках

- Нафтопереробні, хімічні заводи, трубопроводи електростанцій

- Гумки та офшорні труби

- Лінії причалів і трубопроводи річкових переходів, лінії водопроводу і каналізаційні лінії

- Виявлення ерозії рудного кореня (Рис.10)

Переваги:

- Інспекційна інспекція запобігає виробничі втрати або простої.

- Висока продуктивність - скорочення часу інспекції на місці - максимальна швидкість дослідження становить 180 метрів на годину.

- Вивчить 180 метрів (90 м з кожного боку перетворювачів) з одного місця тестування

- Дослідить 100% окружний стінки труби з одного місця випробування (контактна точка)

- Скорочення витрат на технічне обслуговування, не видаляючи поверхнєве покриття всього трубопроводу, за винятком ширини 500 мм, що зазнає впливу прикладених перетворювачів.

- Немає необхідності в піскоструминної обробці або шліфуванні всій поверхні трубопроводу

- Немає необхідності викопувати весь неперерабативаемий трубопровід або випадкові вибіркові випробування

- Немає необхідності в соединителе, який необхідний в звичайних ультразвукових системах.

- Виявляє ерозію коренів шва швидше, ніж звичайні методи випробувань

- Виявляє корозію (втрату поперечного перерізу) на опорі труби

Обмеження:

- Керована хвиля LRUT - це метод перевірки екранів, і тому точне вимірювання мінімальної товщини стінки (наприклад, PAUT) неможливо. Після виявлення зони, середні вимірювання товщини стінки можуть бути завершені методом імпульсного вихретокового тестування (PECT) в якості більш швидкої технології. Для точних вимірювань товщини стінки рекомендується використовувати ультразвуковий контроль Phased Array (PAUT). Для локалізованого вимірювання товщини стінки можна застосовувати звичайне ультразвукове випробування на стиск (поздовжнє).

- Неможливо знайти ізольовану яму.

- Тестування криогенних трубопроводів можливо, але складно. Експоноване місце випробування буде сильно конденсуватися, а також датчик не може від'єднатися від поверхні стінки замороженої труби.

- Труби з бітуміновим покриттям або заглиблення труби, що контактують з вологим ґрунтом і мокрим мулом або сильно прорубані трубопроводи, сильно погіршують звук, і тому їх важко перевірити.

- 100% площа поверхні навколо зварного шва не може бути оцінена через спільних конфігурацій.

- Труби діаметром менше 1,5 дюймів в даний час недоцільно досліджувати.

- Мінімальна довжина труби повинна становити 5 метрів для економічного застосування LRUT.

1.9.2. ЕМА перетворювачі

Значна частина металоконструкцій і інших виробів, які використовуються в промисловості, мають складну форму і дуже часто виготовляються з не товста металу: труби, листи, гнуті профілі і т.п. Складна форма таких виробів дозволяє зменшити металоємність, але помітно ускладнює технологію неруйнівного контролю їх якості. Це обумовлено тим, що традиційні методи ультразвукового

контролю (УЗК) , що використовують п'єзоелектричні перетворювачі (ПЕП), при складній формі поверхні введення ультразвуку вимагають зміни форми контактної поверхні ПЕП.

Отже, для кожної кривизни поверхні виробу необхідно виготовляти окремий ПЕП. Витрати на проведення контролю істотно збільшуються. Тому найчастіше обмежуються УЗК зварних швів] і рідко контролюють основний метал. Істотні труднощі виникають при контролі металовиробів малої товщини або при необхідності виявляти поверхневі дефекти відповідно до вимог неруйнівного контролю використовують ультразвукові хвилі Релея або Лемба (для тонкостінних виробів). Однак, можливість використання ПЕП істотно обмежена через наявність контактної рідини на контрольованій поверхні об'єкта контролю (ОК) . Крапельки рідини на поверхні ОК призводять до появи помилкових відображених імпульсів і, відповідно, до помилкової бракування виробу.

Крім того, наприклад, для випадку УЗК труб широкий спектр температур сильно ускладнює роботу дефектоскопів. Температура труб в умовах експлуатації коливається від + 70°С влітку до - 35° взимку. Деякі трубні виробу мають зовнішню і внутрішню поверхню з хвилястістю, забоїн, вдавлення, надривами металу, істотно перевищують встановлені НТД глибини.

Ці нерівності поверхні мають випадкові розміри з плавним зміною форми і, як правило, якщо надмірно не зменшують товщину стінки, не становлять небезпеки при експлуатації. При ультразвуковому контролі труб за допомогою ПЕП нерівності поверхні не тінпозволяють виділити відлуння сигнали від тріщин на внутрішній і зовнішній поверхні навіть при контролі прямим променем.

Найменші зміни положення ПЕП щодо нормативно-технічної документації (НТД), наприклад при УЗК рейок, труб і т. ін. Для проведення такого виду ОК призводять до різкого погіршення достовірності контролю. Крім того, використання традиційних контактних методів УЗК вимагає застосування

спеціальної дорогої очищення поверхні труб. В останні роки знайшли розвиток безконтактні методи збудження і прийому ультразвукових імпульсів . Серед них, на сучасному етапі, знайшов найбільше застосування електромагнітної - акустичний (ЕМА) спосіб збудження і прийому ультразвукових імпульсів хвиль різного типу, в тому числі імпульсів хвиль Релея і Лемба . ЕМА спосіб дозволяє виключити використання контактних рідин для створення акустичного контакту, що в свою чергу підвищує технологічність контролю, його швидкість, надійність і дозволяє здійснювати дефектоскопію в умовах будь-яких морозів або спеки .

Однак відомостей про результати застосування імпульсів хвиль Релея і Лемба для виявлення дефектів, визначення фізико - механічних характеристик матеріалу металоконструкцій і інших виробів, що мають складну форму і виготовлених з не товста металу, ЕМА способом, опубліковано недостатньо.

При контролі хвилями Релея. На поверхню контрольного зразка з заданим дефектом Д, величина якого встановлена НТД на контроль, розміщують ЕМАП 1. Його живиться від ГЗІ 3 пакетними імпульсами струму з частотою заповнення і тривалістю, що встановлюються за допомогою відповідних регуляторів. Напруга імпульсів харчування на ЕМАП 1 спочатку встановлюється максимальним. Зафіксувавши на екрані дефектоскопа 5 сигнал, що надійшов від підсилювача 4, регулюють частоту заповнення та тривалість імпульсу струму харчування ЕМАП 1 до отримання максимальної амплітуди сигналу відбитого від дефекту.

Потім переходять на ОК і виконують його сканування. При виявленні дефекту фіксують відповідну йому величину амплітуди імпульсу. При даних дослідженнях фіксувалася величина відносини амплітуди луна сигналу від дефекту до амплітуди шуму, включаючи акустичні перешкоди.

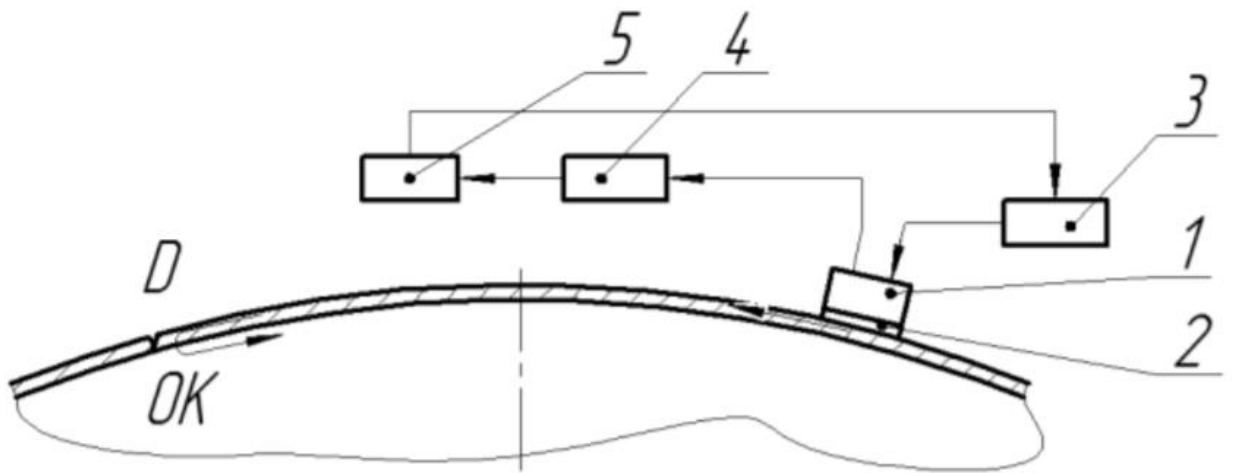


Рис. 11 - Блок-схема стану для проведення експериментальних досліджень виявлення дефектів поверхні металовиробів

1 - ЕМАП; 2 - протектор; 3 - генератор зондируючих імпульсів; 4 - підсилювач; 5 - серійний дефектоскоп

При контролі хвилями Лемба. При контролі тонкостінних виробів частоту заповнення зондируючих імпульсів встановлюють у відповідність до обраної модою нормальних хвиль, як правило, встановлюється НД на контроль і розраховується за висловом, наведеному в роботі . Її також встановлюють за допомогою відповідного регулятора ГЗІ 3. Інші операції проводять також, як і в попередньому випадку. На першому етапі були виконані дослідження переважно на зразках трубчастої форми. Попередньо була оцінена дальність розповсюдження поверхневої хвилі, що генерується станом, на обточених зразках безшовних труб діаметром 168 мм з різним ступенем обробки і на трубах в стані поставки з підприємств виробників.

На частоті 0,9 МГц поверхневі хвилі Релея, порушені ЕМАП в поверхневому шарі обточеного зразка труби, фіксували з відношенням амплітуд сигналу і шуму на рівні не менше 6 дБ на відстані близько 5 м від точки введення.

Відстань розраховувалося за сигналами багаторазового обегання імпульсами хвиль Релея труби по колу, рис.2.

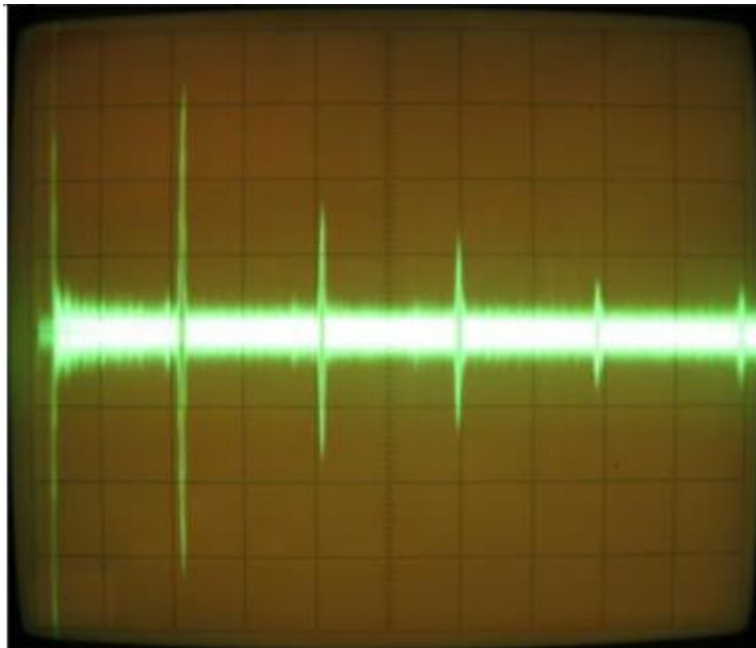


Рис. 12 - тимчасова розгортка на екрані з імпульсами багаторазового обегання по зовнішній окружності труби, сформованих від одного зондуєчого імпульсу.

Дослідженнями встановлено, що в міру збільшення шорсткості поверхні зразків труби відстань, на якому фіксується сигнал з амплітудою 6 дБ, зменшується. Для зразків безшовної труби з поверхнею в стані поставки (наявність іржі і окалини на поверхні) вказану відстань зменшується до 1,5 ... 1,7 м. Цього достатньо для проведення одним ЕМАП ультразвукового контролю луна методом труб діаметром до 500 мм. При зниженні частоти заповнення зондируючих імпульсів дальність поширення хвиль Релея збільшується через зменшення впливу стану поверхні ОК на ослаблення корисних сигналів.

Так, при частоті ультразвукових коливань 300 кГц дальність поширення хвиль Релея збільшується на Обточені зразку до 10 ... 12 м. Тобто є можливість контролю якості поверхні труб практично будь-якого діаметру, що застосовуються в промисловості. На другому етапі виконані дослідження по виявленню моделей дефектів, форма і розміри яких передбачені НД на контроль або виріб, наприклад [4]. Типові результати досліджень для частоти УЗ коливань 0,9 МГц і тривалості імпульсу, що дорівнює 6 періодів, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати досліджень моделей дефектів у вигляді пазів з різними параметрами, виготовлених на обточеній поверхні безшовної труби з зовнішнім діаметром 168 мм.

Модель дефекту	Відношення амплітуд відбитого луна сигналу імпульсу хвилі Релея і шуму, дБ
<p>Поздовжній паз на зовнішній поверхні довжиною 120 мм, розкриттям 15 мм і глибиною, мм:</p> <p style="text-align: center;">1,20</p> <p style="text-align: center;">1,05</p> <p style="text-align: center;">0,83</p> <p style="text-align: center;">0,56</p> <p style="text-align: center;">0,37</p> <p style="text-align: center;">0,22</p>	<p style="text-align: center;">34,49</p> <p style="text-align: center;">33,63</p> <p style="text-align: center;">33,26</p> <p style="text-align: center;">32,04</p> <p style="text-align: center;">30,37</p> <p style="text-align: center;">26,44</p>
<p>Поперечний паз на зовнішній поверхні 12,5 мм, розкриттям 0,15 мм і глибиною 0,6 мм</p>	<p style="text-align: center;">28,94</p>
<p>Поздовжній паз на внутрішній поверхні довжиною 32 мм, розкриттям 0,15 мм і глибиною 1,7 мм</p>	<p style="text-align: center;">33,98</p>
<p>Поздовжнє отвір в стінці вздовж котра утворює діаметром 2 мм просвердлений на глибину 34 мм</p>	<p style="text-align: center;">30,37</p>

Виявлення дефектів, що виникають в процесі виробництва: тріщин, волосовин, заходів, полон і ін. Встановлено, що поверхневими хвилями розроблений стенд впевнено виявляє дефекти, які мають області різкого зламу кордону металу, тобто дефекти типу тріщин, волосовин. Полон і заходи виявляються не завжди. У той же час добре виявляються внутрішні дефекти в тілі труби на глибині до 4,5-5 мм (співвідношення амплітуд луна-сигналу і шуму перевищує 6 дБ).

Виявлення імітаторів дефектів у вигляді поздовжнього паза прямокутного перетину довжиною 10 мм розкриттям 0,15 мм і різної глибини на поверхні безшовної труби діаметром 168 мм і товщиною стінки 10,4 мм. Дослідження показали, що на чорновій поверхні труби з плавними місцевими нерівностями глибиною 1 мм і більше поверхневими хвилями впевнено виявляються пази глибиною понад 0,2 мм[13].

Досліджено залежність виявлення дефектів від відстані між ЕМАП і дефектом. Встановлено, що виявлення дефекту довжиною 12 мм з розкриттям 0,15 мм і глибиною 0,6 мм залежить від відстані між ЕМАП і дефектом нелінійно, рис.3.

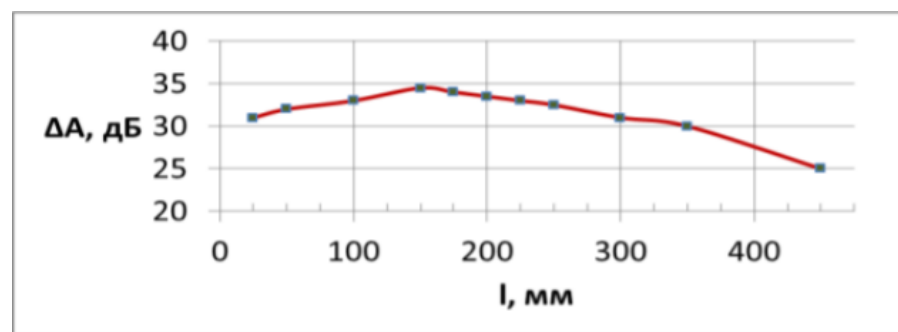


Рис. 13 - Залежність відношення амплітуд луна сигналів від дефекту і перешкод від його відстані до ЕМАП при використанні хвиль Релея, частота 500 кГц.

Аналіз наведених даних показує, що спочатку виявлення незначно зростає, а потім плавно зменшується. На інтервалі 25 ... 300 мм виміряна амплітуда

змінюється всього на 3,5 дБ. Оскільки залежність не є сильною то в значній кількості випадків така зміна амплітуди на відносно невеликих відстанях до дефекту можна не враховувати.

При суворих вимогах НТД до розміру виявлених дефектів необхідно таку залежність визначати до проведення контролю та вносити в пам'ять комп'ютера для подальшого обліку. Встановлено, що така залежність обумовлена особливостями конструкції окремо – совмещенного ЭМАП. Таким образом, из анализа результатов исследований установлено, что по всему периметру трубы зовнішнім діаметром близько 170 мм гранично допустимий дефект глибиною 5% від товщини стінки виявляється поверхневими хвилями відлуння методом надійно. При дослідженні труб іншого діаметра Також надійно виявляються дефекти на поверхні різних труб діаметром від 51 до 420 мм.

Аналогічні результати отримані при контролі тонкостінних виробів хвилями Лемба.

Сканер-дефектоскоп A2075 SoNet

Ультразвуковий безконтактний сканер-дефектоскоп «A2075 SoNet» призначений для вирішення завдання автоматизованого пошуку дефектів в стінках металевих труб діаметром від 720 мм до 1420 мм з товщиною стінки від 6 мм.

Ультразвуковий безконтактний сканер-дефектоскоп «A2075 SoNet»

Призначений для вирішення завдання автоматизованого пошуку дефектів в стінках металевих труб діаметром від 720 мм до 1420 мм з товщиною стінки від 6 мм.

Основною областю його застосування є робота в складі дефектоскопічних комплексів, призначених для вирішення завдання діагностики газопроводів, нафтопроводів, продуктопроводів при виконанні робіт з будівництва або ремонту.

Сканер-дефектоскоп успішно вирішує завдання пошуку і виявлення стрес-корозійних (КРН) та інших видів поверхневих і внутрішніх дефектів труб.



Рис. 14 Використання сканеру A20075 SoNet

Контроль виконується шляхом автоматизованого переміщення скануючого пристрою уздовж труби по її зовнішньої поверхні. При цьому виробляється 100% прозвучу тіла труби по колу, реєстрації луна-сигналів від дефектів і визначення їх координат з метою подальшого вимірювання параметрів дефектів за допомогою додаткових дефектоскопічних засобів.

Таблиця 2 - Характеристики

Параметр	Значение
Встановлена швидкість	3020

ультразвуку, м / с	
Робоча частота, МГц	0,5
Діапазон перебудови каліброваного підсилювача, дБ	0 - 40
Межа допустимого значення основної абсолютної похибки вимірювання координат дефектів по колу труби, мм, не більше	±100
Межа допустимого значення основної абсолютної похибки вимірювання координат дефектів в напрямку осі труби, мм, не більше	±20
Максимальна чутливість приймача, мкВ, не менше	20
Похибка вимірювання відносин амплітуд сигналів на вході приймача, дБ, не більше	±1
Джерела живлення	Аккумуляторные блоки
Номінальне значення напруги акумуляторних блоків, В	12
Час безперервної роботи від акумуляторних блоків при нормальних кліматичних умовах, ч, не менше	8

Габаритні розміри, мм	407x655x407
Маса, кг, не более	42
Середнє напруження на відмову, ч	30000
Середній термін служби, років, не менше	4
Умови експлуатації:	
- Температура повітря, °С	от -40 до +50
- відносна вологість повітря при	95

Особливості

- принцип роботи пристрою заснований на волноводном луна-імпульсному методі контролю. Ультразвукові коливання в металевому тілі труби порушуються і приймаються безконтактно (без застосування контактної рідини) за допомогою електромагнітної-акустичного (ЕМА) перетворювача.
- виявлення в основному металі труби стрес-корозійних і корозійних дефектів, виявлення дефектів прокату листів із зазначенням їх кількості, умовних розмірів та місця розташування (координат).связь между ПК оператора и сканером-дефектоскопом осуществляется посредством Wi-Fi связи, что обеспечивает большую мобильность оператора и возможность дистанционного контроля.

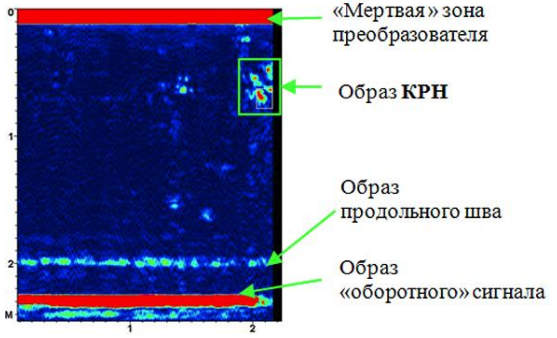
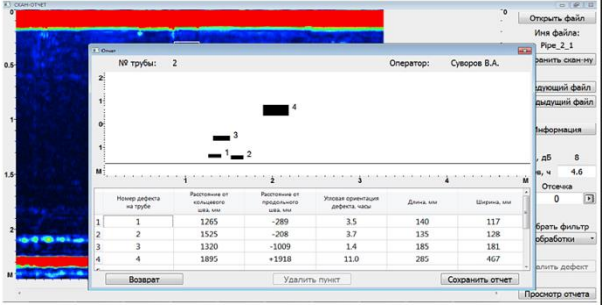
- отримання результатів контролю в режимі реального часу, що дає можливість прийняття оперативного рішення про призначення додаткового контролю.
- безперервне документування результатів контролю у вигляді сканограмми труби.
- можливість оперативного перегляду отриманих сканограмм на дисплеї ПК.
- постобработка сканограмм і реєстрація результатів із зазначенням величини, розташування, орієнтації і типу дефекту.
- час підготовки сканера до роботи становить 3 хвилини.
- можливість завантаження даних внутрішньотрубної діагностики та залучення їх до звіту.
- блокова структура сканера-дефектоскопа дозволяє забезпечити високу ремонтпридатність і швидко замінити блоків в польових умовах одним оператором.
- сканер управляється одним і транспортується двома операторами, що забезпечує високу мобільність.

Можливості

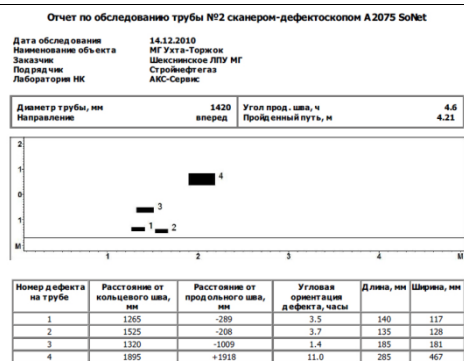
- продуктивність сканування становить до 7 м / хв.
- висока чутливість дозволяє виявляти КРН глибиною від 1 мм.
- Сканер працює на трубі після попереднього очищення газопроводу від старої ізоляції згідно ВСН 51-1-97 («Правила виробництва робіт при капітальному ремонті магістральних газопроводів») і забезпечує 100% повторюваність результатів.
- сканер-дефектоскоп забезпечує більш високий відсоток виявлення дефектів типу КРН і розшарувань у порівнянні з результатами ВТД.

- висока надійність дозволяє працювати в діапазоні температур від мінус 30 ° до плюс 50 ° С;

Таблиця 3 - Оператор отримує сканограми труб в режимі реального часу.

<p>Дана сканограмма отримана на трубі діаметром 1420 мм, довжиною 2200мм. У верхній частині знаходиться образ «мертвої» зони перетворювача, нижче - образ, відповідний дефекту типу «КРН», образи поздовжнього шва і «оборотного сигналу» (сигналу, що пройшов по колу труби).</p>	 <p>«Мертвая» зона преобразователя Образ КРН Образ продольного шва Образ «оборотного» сигнала</p>																														
<p>Після закінчення сканування труби оператор виділяє аномальні області, на основі яких формується звіт з координатами виявлених дефектів і схемою їх розташування на трубі.</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>№ дефекта на трубе</th> <th>Расстояние от начальной цап, мм</th> <th>Расстояние от продольного шва, мм</th> <th>Угловая ориентация дефекта, град</th> <th>Длина, мм</th> <th>Ширина, мм</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1265</td> <td>-289</td> <td>3.5</td> <td>140</td> <td>117</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1525</td> <td>-208</td> <td>3.7</td> <td>135</td> <td>128</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1320</td> <td>-1009</td> <td>1.4</td> <td>185</td> <td>181</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1895</td> <td>+1918</td> <td>11.0</td> <td>285</td> <td>467</td> </tr> </tbody> </table>	№ дефекта на трубе	Расстояние от начальной цап, мм	Расстояние от продольного шва, мм	Угловая ориентация дефекта, град	Длина, мм	Ширина, мм	1	1265	-289	3.5	140	117	2	1525	-208	3.7	135	128	3	1320	-1009	1.4	185	181	4	1895	+1918	11.0	285	467
№ дефекта на трубе	Расстояние от начальной цап, мм	Расстояние от продольного шва, мм	Угловая ориентация дефекта, град	Длина, мм	Ширина, мм																										
1	1265	-289	3.5	140	117																										
2	1525	-208	3.7	135	128																										
3	1320	-1009	1.4	185	181																										
4	1895	+1918	11.0	285	467																										

Приклад звіту, створеного на основі отриманої сканограмми. У звіті представляється основна інформація про об'єкт контролю. Чорними прямокутниками представлені відмічені оператором дефектні області. Горизонтальна смуга чорного кольору внизу схеми представляє поздовжній зварний шов, орієнтація якого вказується оператором при скануванні. Далі, в таблиці представлені координати і розміри виділених дефектних областей.



Висновки до розділу

В данному розділі було обрано за ОК труби сталеві безшовні гарячодіформовані. З причини високої міцності готових труб, вони використовуються в тих галузях, де до трубопровідної арматури висуваються дуже високі вимоги. Це і нафтова промисловість, і газова сфера, а також ряд інших напрямків, де аварія може призвести не просто до серйозних збитків, а й зашкодити життю та здоров'ю людей, а також стати причиною забруднення навколишнього середовища.

Розглянуті можливі дефекти, які можуть стати причиною аварії. Для спричинення аварії було використано УЗНК, який дає змогу знайти більшість порушень структури матеріалу. Також розглянуті теоретичні основи які будуть використані в наступних розділах.

Розглянуті новітні прилади, які використовують на даний момент в промисловості. На цих прикладах основана моя система .

РОЗДІЛ 2. ОПИС ПРИНЦИПУ ДІЇ СИСТЕМИ

2.1 Принцип дії системи.

Надійність і безперебійність роботи трубопроводу залежить від якості виготовлення, часу експлуатації, транспортування і зберігання. Тому дуже важливо забезпечити достовірну дефектоскопію на всьому етапі експлуатації труб. На жаль, на більшості підприємств переважає ручний контроль, який залежить від дефектоскопіста, тільки деякі підприємства змогли придбати дороге імпортоване обладнання для зменшення людського фактора.

Система УЗК трубчастих конструкцій унікальна тим, що збільшує продуктивність звичайної ультразвукової діагностики, а також використання звичних п'єзоперетворювачей здійснюється контроль ділянки конструкції безпосередньо в зоні дії перетворювача, як показано на рис. 20.

Тому такий контроль є надзвичайно повільним процесом при скануванні конструкції великих розмірів і часто буває необхідно вдаватися до вибіркової перевірки. Однак навіть такий підхід непридатний, коли до частини конструкції немає доступу внаслідок того, що вона знаходиться під землею або закрита шаром ізоляції.

Виконання контролю реалізується збудженням коливань напрямку утворюючої циліндру при використанні матеріалу стінки такого циліндру, як звукопроводу. Для цього збудження коливань реалізується при встановленні кута їх введення в контрольований матеріал який відповідає середньому значенні між першим і другим критичними кутами вводу.

Система використовує можливість контролю великої ділянки конструкції з одного місця розміщення перетворювачів, і це стає можливим при використанні спрямованих хвиль, які поширюються уздовж конструкції, а не вглиб структури, як це ілюструється на рис.15 б). Далі здійснюється поворот системи на певний кут, щоб здійснити поступовий контроль всієї труби.

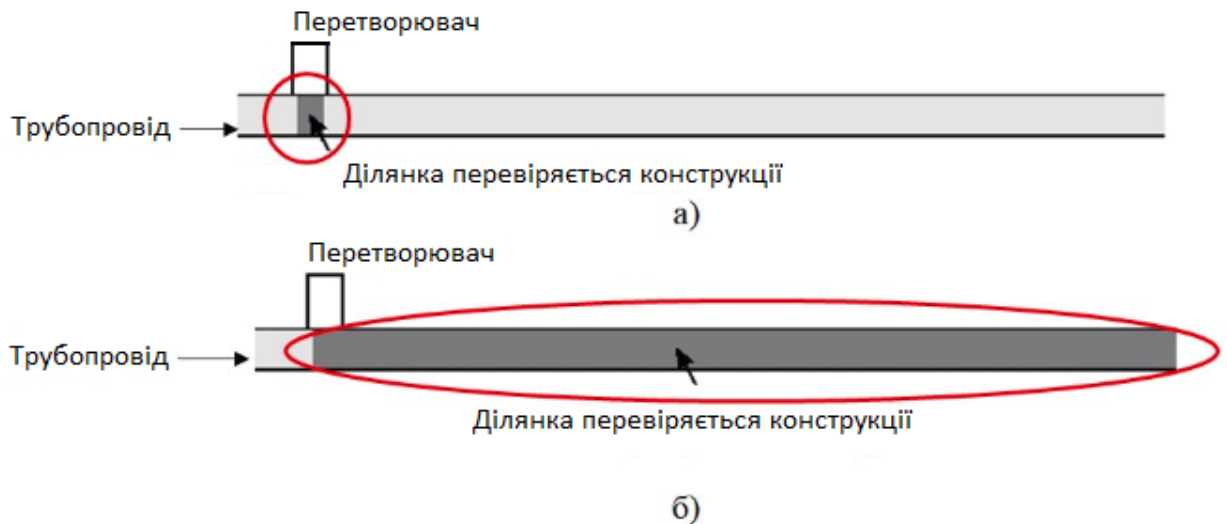


Рис.15- Контроль з використанням традиційної і довго хвильової дефектоскопії

В систему входить:

1. Корпус;
2. Ролики с ПЕП;
3. Вали з зубчастими колесами;
4. Асинхронний двигун;
5. Зубчасті передачі;
6. Спрямовуючий пояс;
7. Блок управління системи;
8. Антена.

Один кінець кільцевидного пояса кріпиться за повідне зубчасті колесо потім через трубу і іншим кінцем кріпиться за веденим зубчастим колесом. Це дає постійні контакт ПЕП з ОК. Двигун починає осьовий рух за рахунок зчеплення зубчасті передачі з ременем. Це дає змогу системі провести контроль навколо осі труби без додаткових зусиль.

Для забезпечення постійного контакту з поверхнею контролю використовується спеціальний ролик усередині якого знаходиться ПЕП з

контактний рідиною. Збудження коливань в каналах виконується шляхом підключення імпульсу напруги до відповідного п'єзоелектричного перетворювача встановленого на клиноподібному звукопроводі.

Амплітуда такого імпульсу визначається виходячи зі значення коефіцієнта відбиття коливань від дефекту бракувального рівня, умовно розташованого безпосередньо в зоні вводу коливань в середовище об'єкту контролю.

2.2 Опис структурної схеми.

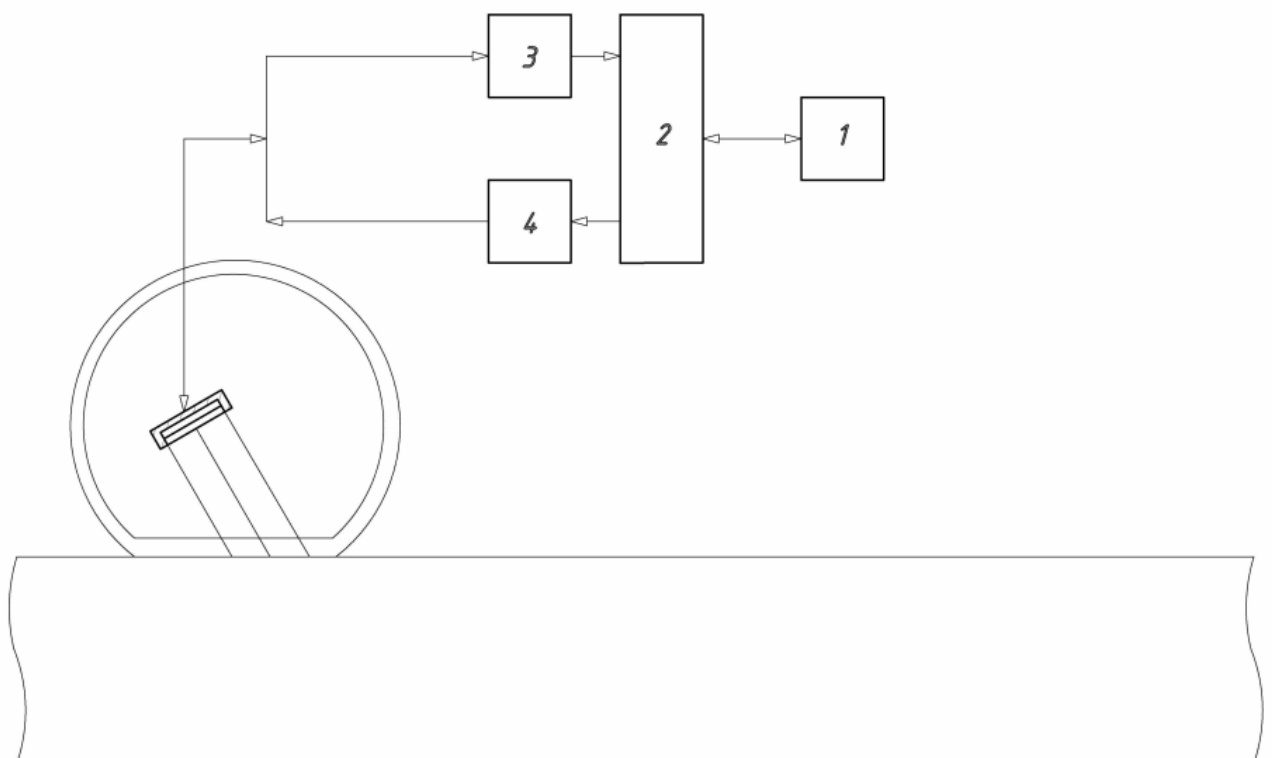


Рис.16 Структурна схема

1. Інтерфейс
2. Блок обробки і підсилення
3. Блок приймального підсилювача
4. Блок випромінювача

Блок випромінювача. Випромінювач включає в себе електронний ключ, генератор коливань і підсилювальний вихідний каскад, з виходу якого видається

напруга необхідна для збудження пьезокерамического елемента. Генератор попередньо налаштовується на резонансну частоту ультразвукового перетворювача. Резонансна частота залежить від типу датчика. Електронний ключ вмикає і вимикає генератор залежно від тривалості імпульсу запуску, тим самим формуються послідовності імпульсів випромінювання різної довжини.

Блок приймального підсилювача. Приймач складається з обмежувача, підсилювача з регульованим коефіцієнтом посилення, селективного підсилювача, вихідного підсилювального каскаду і компаратора. Сигнал, що приймається від ультразвукового перетворювача, може мати амплітуду в діапазоні від декількох мікрвольт до декількох вольт. Для забезпечення можливості подальшої обробки обмежувач відсікає амплітуди прийнятих сигналів до значень, що не перевищують $\pm 0,7$ В; це також захищає підсилювач від занадто високої напруги.

Сигнали, відбиті від дефекту, придушуються на підсилювачі з регульованим коефіцієнтом посилення. Цей же підсилювач спільно зі схемою управління посиленням перешкоджає зменшенню амплітуди відбитого сигналу при збільшенні відстані між вимірюваним об'єктом і датчиком. Призначення селективного підсилювача полягає в тому, щоб фільтрувати випадкові (паразитні, побічні) ультразвукові сигнали і пропускати до подальшої обробки тільки корисний сигнал. Цей сигнал демодулюється, детектується і тільки потім отримана огинає посилюється. Амплітуда обвідної порівнюється з попередньо встановленим порогом на компараторе. В разі коли граничну напругу перевищено, на виході виникає імпульс, рівний по амплітуді напруги харчування, і передається для обробки в електронну схему.

Блок обробки і управління. Крім випромінювача і приймача, сучасний ультразвукова система повинна мати в своєму складі електронну схему обробки сигналу і управління розподілом тимчасових інтервалів і функціонуванням вихідного каскаду датчика. Так як електронна частина датчика повинна

вирішувати складні завдання управління, краще застосовувати мікропроцесорну схему.

Додатковою перевагою в даному випадку є те, що алгоритм обробки може бути не жорстко встановленим, а гнучким і реалізованим у вигляді програми. Одна і та ж мікропроцесорна схема може застосовуватися для управління різноманітними вихідними каскадами або виконувати обробку сигналів по різних алгоритмах. Функціями, які виконуються вбудованим контролером, зазвичай є генерування тактової частоти, управління тривалістю випромінюваного імпульсу, визначення часу поширення відбитого сигналу, розпізнавання сигналів помехового походження, управління вихідним каскадом і самодіагностика.

2.3 Опис функціональної схеми

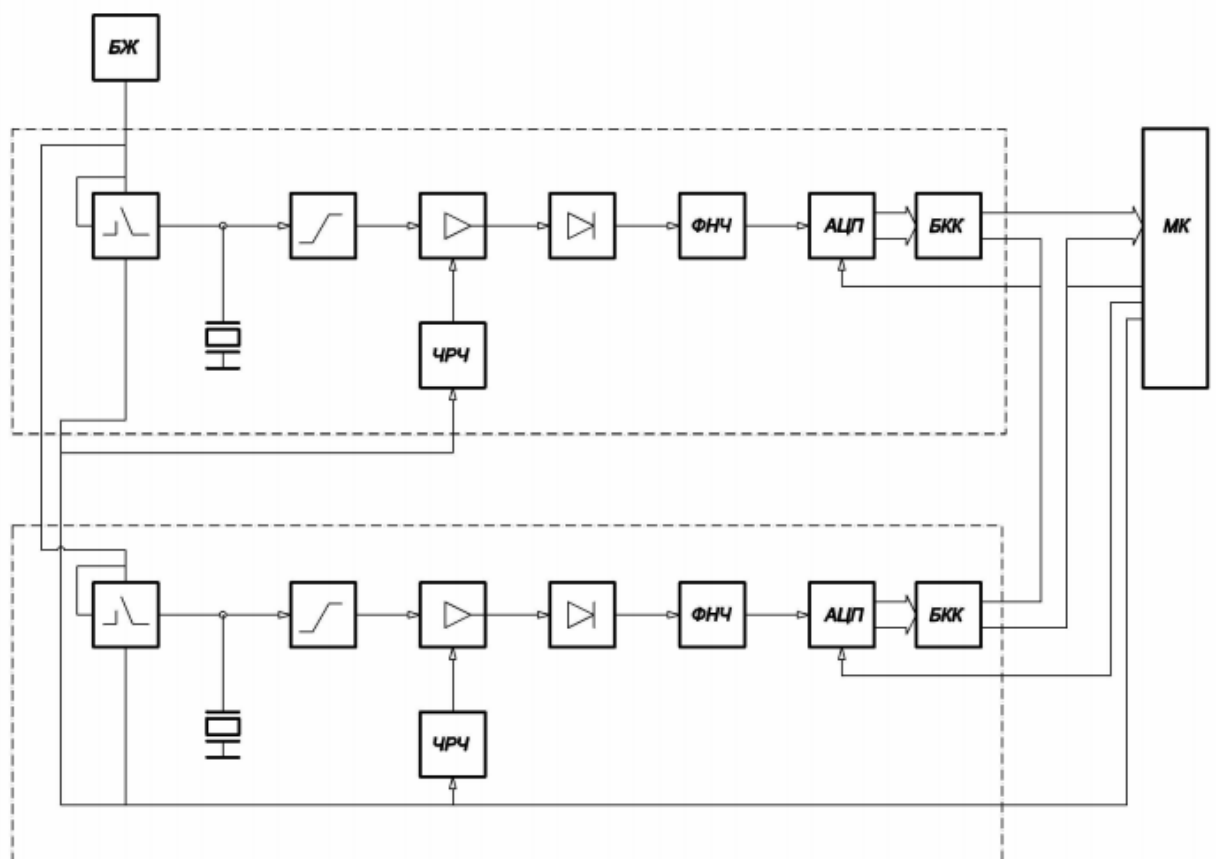


Рис.18 Функціональна схема

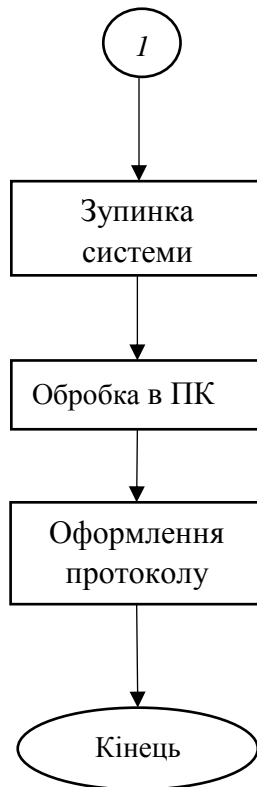
Коли на випромінювач подається стартовий імпульс генератором коливаний формує пачку імпульсів і подається на підсилювач вихідного каскаду, з виходу якого видається напруга необхідна для збудження п'єзопластини. (Електронний ключ включається і вимикається в залежності від тривалості імпульсу запуску, тим самим формуються послідовності імпульсів випромінювання різної довжини)

Після сигнал відбивається від ОК і приходять на приймач який має підсилювача з регульованим коефіцієнтом посилення спільно зі схемою управління посиленням перешкоджає зменшенню амплітуди відбитого сигналу при збільшенні відстані між вимірюваним об'єктом і датчиком. Далі управління переходить мікропроцесор. Додатковою перевагою в даному випадку є те, що алгоритм обробки може бути не жорстко встановленим, а гнучким і реалізованим у вигляді програми.

Мікропроцесор використовується для управління різноманітними вихідними каскадами або виконувати обробку сигналів по різних алгоритмах. Функціями, які виконуються вбудованим контролером, зазвичай є генерування тактової частоти, управління тривалістю випромінюваного імпульсу, визначення часу поширення відбитого сигналу, розпізнавання сигналів помехового походження, управління вихідним каскадом і самодіагностика.

2.4 Алгоритм роботи





Висновки до розділу

В розділі розглянуто з чого складається система УЗК трубчастих конструкцій. З метою збільшити швидкість контролю було використано кути для створення волноводів. А для забезпечення повного акустичного контакту було використано спеціальні ролики , які дають перевагу контакту на будь-якому куті повороту системи в час її роботи. Розглянуто як взаємодіють між собою елементи конструкції. Розроблена структурна і функціональна схеми.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Розрахуно акустичної частини.

Частоту ультразвукових коливань $f=2,5$ МГц вибираємо виходячи з необхідної роздільної здатності системи дефектоскопії. Задаємо значення бракувального розміру дефекту матеріалу $\Delta_{бр.} = 2,5$ мм.

Визначенням діаметру диску перетворювача стараються одночасно виконати конкуруючі вимоги: максимально звузити головну пелюстку діаграми направленості ультразвукового випромінювання для досягнення високої просторової роздільної здатності при виявленні дефектів та при цьому максимально зменшити рівень бокових пелюсток цієї діаграми, наявність яких може приводити до помилкових результатів контролю. з точки зору ширини головної пелюстки діаграми направленості вибором діаметру п'єзоелектричного перетворювача буде $d = (6-7)\lambda = 22$ мм., де λ - довжина хвилі коливань в середовищі об'єкту контролю.

В якості п'єзоматеріалу ультразвукового перетворювача можемо використати любий п'єзоелектрик, проте рекомендованим матеріалом для збудження і прийому ультразвукових коливань в діапазоні (1 - 10) МГц з максимальним коефіцієнтом прямого $K_{пр}$ і зворотного $K_{зв.}$ п'єзоефектів рівним приблизно 0,2 (коефіцієнт електромеханічного зв'язку), є ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю).

Основна перевага такого матеріалу в технологічності конструювання перетворювачів завдяки гнучкості плівки і можливості приймати форму металевих обкладинок.

П'єзоелектричний перетворювач при підключенні на електропровідні обкладинки імпульсу напруги відповідно до її полярності стискається або розтягується за рахунок зворотного п'єзоелектричного ефекту. Подібна

енергетична дія викликає в пластині коливання у напрямку перпендикулярному обкладинкам (поршнева мода).

Такий перетворювач відноситься до класу дисипативних коливальних систем тому, що до пластини перетворювача з однієї сторони приєднаний шар поглинача коливань, а з іншої через тонкий шар рідини з пластиною контактує велика маса матеріалу об'єкту контролю. Таке навантаження приводить до значних енергетичних втрат коливальної системи, що спричиняє швидке затухання коливань. Еквівалентною схемою заміщення пластини п'єзоелектричного перетворювача є коливальний контур на основі індуктивності і ємності. При цьому приєднані маси поглинача коливань і об'єкту контролю діють аналогічно приєднанню паралельно до резонансного LC контуру активного опору.

Таким чином в матеріалі п'єзоелектричного перетворювача при підключенні до обкладинок імпульсу напруги повинні відбутися коливання поршневої моди (у напрямку перпендикулярному обкладинкам) на частоті механічного резонансу в цій пластині, яка в свою чергу повинна дорівнювати визначеній нами частоті. Для того, щоб потрібна нам частота була резонансною частотою пластини перетворювача, її товщина повинна бути кратною половині довжини хвилі коливань в матеріалі цього перетворювача. В більшості випадків вибирають значення товщини рівне половині довжини хвилі коливань ($h_{\pi} = \lambda_{\pi}/2$) з міркувань мінімізації рівня амплітуди сигналу збудження коливань в пластині.

Зону коливань збуджених плоским п'єзоелектричним перетворювачем поділяють на ближню і дальню. Довжина ближньої зони обмежена значенням відстані

$$r_{бл.} = \frac{(R_{\pi})^2}{\lambda} = 45,45 \text{ мм} \quad (15)$$

де R_{π} - радіус диску перетворювача.

В межах ближньої зони коливань збуджених плоским п'єзоелектричним перетворювачем існують ділянки з низьким акустичним тиском, що є наслідком інтерференції акустичних коливань від кожної точки поверхні перетворювача. З метою уникнення можливості пропуску дефектів за рахунок подібних ділянок формування головної пелюстки діаграми направленості виконують за межами контрольованого середовища об'єкту контролю.

Для розрахунку коефіцієнтів проходження та відбиття ультразвукових коливань визначаємо акустичні імпеданси об'єкту контролю (сталі), п'єзокераміки та матеріалу звукопроводу за їх значеннями їх густини і швидкості розповсюдження повздовжньої хвилі коливань:

$$Z = \rho \cdot C \quad (16)$$

Коефіцієнт проходження ультразвуковим сигналом границі розділу двох середовищ з акустичним імпедансом Z_1, Z_2 в прямому та зворотному напрямках становить [14,19]:

$$K_{\text{прох.}} = \frac{4Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos \alpha}{(Z_1 + Z_2)^2} = 0,103 \quad (17)$$

Коефіцієнт відбиття ультразвуку від границі розділу середовищ з акустичними імпедансами відповідно Z_1, Z_2 становить:

$$K_{\text{відб.}} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (18)$$

Коефіцієнт затухання ультразвукових коливань $K_{\text{зат.}}$ вибраної робочої частоти при проходженні ними дистанції $2H$ матеріалу об'єкту контролю визначаємо при урахуванні табличного питомого значення коефіцієнта затухання

на цій частоті для даного матеріалу при проходженні коливаннями дистанції 2 м

При незмінному коефіцієнті підсилення сигналу в електронному тракті системи величина напруги однакового за розмірами дефекту, але розташованому на різній глибині відносно поверхні об'єкту, буде різною завдяки затуханню ультразвукового сигналу в матеріалі об'єкту контролю, що не дасть за рівнем луносигналу ідентифікувати розмір дефекту.

Для уникнення впливу затухання ультразвукового сигналу при його розповсюдженні внутрішнім середовищем об'єкту контролю є його пряма компенсація шляхом змінного в часі підсилення сигналу прямо пропорційно величині затухання. Подібне регулювання коефіцієнта підсилення виконують шляхом відповідної зміни в функції часу співвідношення сигналів, що подаються на інвертуючий та неінвертуючий входи диференційного підсилювача. Найпростіший спосіб зміни співвідношення сигналів на входах підсилювача полягає у відповідній зміні співвідношення включених на вказаних входах опорів. Для прикладу прийнятними варіантами в залежності від діапазону регулювання коефіцієнту підсилення можуть бути схеми підключення сигналу до входів підсилювача.

Через шар води, як акустичне контактне середовище, коливання проходять в матеріал контролю. Якщо шар води між перетворювачем і поверхнею об'єкту контролю має товщину меншу за довжину хвилі коливання у воді, втратами на його проходження можемо нехтувати. Якщо ж шар води перевищує вказаний ліміт необхідно враховувати втрати на проходження хвилею границь розділу середовищ п'єзокераміка – вода та вода – об'єкт контролю. При частоті 2,5 МГц і товщині шару води 40 мм. коефіцієнт затухання становить:

$$K_{зам} = 25 \cdot \frac{1}{(2,5)^2 \cdot 40} = 0,1Hn \quad (19)$$

Враховуючи довжину ОК прийmemo її за 1м тоді(Коефіцієнт УЗ в сталі $k(0,3 \div 40)$ прийmemo $k=20$):

$$K_{зат.ст} = 2 \cdot 20 = 40Hn \quad (20)$$

Формування імпульсу збудження п'єзоелектричного перетворювача виконується шляхом комутації постійної напруги потрібного рівня з допомогою електронного ключа, який відкривається коротким імпульсом тривалістю не меншій за половину періоду резонансного коливання перетворювача.

Задаємося рівнем луно сигналу від дефекту бракувального рівня на початку труби. Нехай цей сигнал становить $U_{лс} = 10 мВ$. Тоді амплітуда імпульсу збудження $U_{зб}$ має становити:

$$U_{зб} = \frac{U_{лс}}{K_{зат}} \approx (10 \div 20)В \quad (21)$$

Завданням акустичного розрахунку є визначення коефіцієнту затухання ультразвукового сигналу при його відбитті від розташованого на максимальному віддаленні від поверхні об'єкту контролю дефекту бракувального розміру $\Delta_{бр}$.

Враховуємо деяке розширення головної пелюстки діаграми направленості п'єзоелектричного перетворювача у дальній зоні коли:

$$\gamma = \arcsin\left(0,61 \frac{2\lambda}{d_{п.}}\right) = 0,135 \quad (22)$$

Відбитий від дна об'єкту контролю ультразвуковий сигнал, який приймається п'єзоелектричним перетворювачем, має площу січення частини головної пелюстки діаграми направленості рівну $S_0 = \pi d_{п.}^2 / 4$. Враховуючи, що ультразвукові коливання практично повністю відбиваються від донної поверхні об'єкту контролю за рахунок великої різниці акустичних імпедансів сталі і

повітря за коефіцієнт відбиття від донної поверхні сприймаємо відношення січення діаграми направленості відбитої хвилі від донної поверхні у напрямку п'єзоелектричного перетворювача до січення головної пелюстки діаграми направленості падаючої хвилі на цю донну поверхню об'єкту контролю:

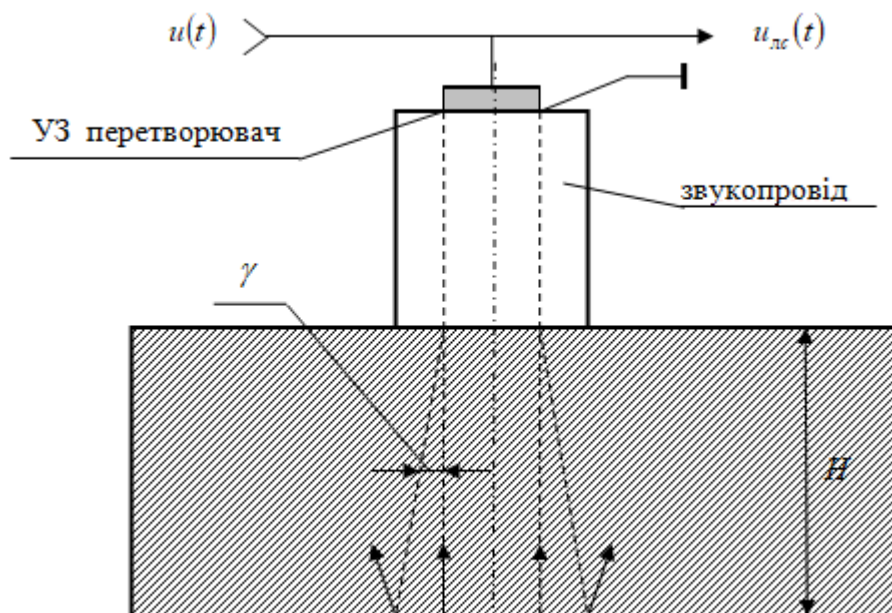


Рис.19. До визначення коефіцієнту відбиття ультразвуку від донної поверхні об'єкту контролю

$$K_{\text{дон.}} = \frac{S_0}{S_n} = \frac{d_{\text{п.}}^2}{(d_{\text{п.}} + 2H \cdot \text{tg } \gamma)^2} \quad (23)$$

Таким же чином визначаємо коефіцієнт відбиття від дефекту у вигляді газового включення з еквівалентним розміром (діаметром) рівним бракувальному рівню $\Delta_{\text{бр.}}$, який розташований максимально близько до верхньої поверхні $(K_{\text{бр.}})_{\text{нов.}}$ та нижньої поверхні - дна $(K_{\text{бр.}})_{\text{дон.}}$ об'єкту контролю представляючи поверхню такого дефекту плоскою і перпендикулярною напрямку розповсюдження ультразвукових коливань:

$$(k_{Br.})_{нов.} = \frac{\Delta^2_{Br.}}{d^2_{II.}} \left[\frac{Z_{ст} - Z_{воду}}{Z_{ст} + Z_{воду}} \right] \quad (24)$$

$$(k_{Br.})_{дон.} = \frac{\Delta^2_{Br.}}{(d_{II} + 2H \cdot \text{tg} \gamma)^2} \left[\frac{Z_{ст} - Z_{воду}}{Z_{ст} + Z_{воду}} \right] \quad (25)$$

Тут $Z_{воду}, Z_{ст}$ - акустичні імпеданси води і сталі: $Z_{вод} = \rho_{вод} C_{вод}$; $Z_{ст} = \rho_{ст} C_{ст}$.

Тепер можемо визначити коефіцієнт ослаблення інтенсивності ультразвукового сигналу відбитого дефектом бракувального розміру розташованого безпосередньо біля верхньої ($K_{Br.нов.}$) та біля нижньої

($K_{Br.дон.}$) поверхонь об'єкту контролю:

$$K_{Br.нов.} = K^2_{пер.} \cdot K_1^2_{прох.} \cdot K^2_{зв.} \cdot K_2^2_{прох.} \cdot (k_{Br.})_{нов.} = 1,896 \cdot 10^{-4} \quad (26)$$

$$K_{Br.дон.} = K^2_{пер.} \cdot K_1^2_{прох.} \cdot K^2_{зв.} \cdot K_2^2_{прох.} \cdot K^2_{зат.ок.} \cdot (k_{Br.})_{дон.} = 6,36 \cdot 10^{-4} \quad (27)$$

де $K_{n \ e}$ - коефіцієнт прямого (зворотного) п'єзоефекту - перетворення значення напруги імпульсу в інтенсивність ультразвукових коливань і навпаки;

$K_{1прох.}$ - коефіцієнт проходження границі матеріалів п'єзоелектричного перетворювача і контактної рідини (вода);

$K_{зв.}$ - коефіцієнт затухання ультразвукового сигналу при проходженні матеріалу звукопроводу в одну сторону;

$K_{2прох.}$ - коефіцієнт проходження ультразвукових коливань через границю розділу середовищ «вода - ОК»;

$K_{зат.ок.}$ - коефіцієнт затухання ультразвукового сигналу в матеріалі об'єкту контролю товщиною H ;

АЦП вибираємо 8 разрядів $0 \div 1\text{В}$. Нехай бракувальний рівень вихідного коду АЦП відповідає $0,5\text{В}$ напруги на його вході. Це означає, що коефіцієнт сигналу в тракці системи повинен дорівнювати:

$$K_{\text{пер}} = \frac{K_{\text{нідс}}}{U_{\text{при}}} = 50 \quad (28)$$

Враховуючи $K_{\text{випр}} = 0,3$ початкове значення коефіцієнта підсилення має становити:

$$K_{\text{нід.поч}} = \frac{K_{\text{пер}}}{K_{\text{вип}}} = 167 \quad (29)$$

Коефіцієнт затухання від дефекту бракувального рівня кінці ствола збільшить на величину $K_{\text{від.к.тр.}} = 0,0057$. Коефіцієнт підсилення підсилювача для такого дефекту (моменту надходження луносигналу) має становити :

$$K_{\text{нід.мах}} = K_{\text{нід.мін}} + \frac{1}{K_{\text{від.к.тр}}} = 342 \quad (30)$$

Звідси діапазон підсилення ВРЧ з 167 до 342.

3.2. Розрахунок механічної частини

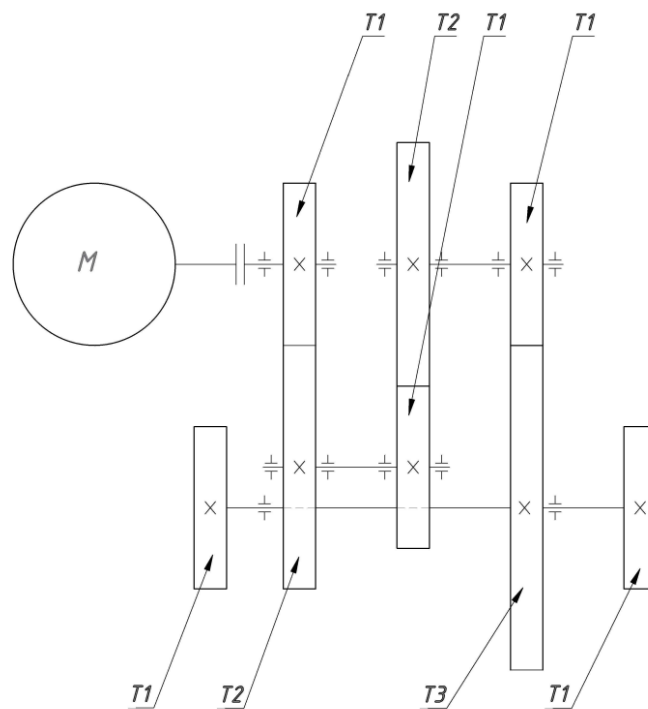


Рис.20 Кінематична схема

Кінематична схема системи показаний на рис.20.

Де, T1-T3 зубчасті колеса.

З метою забезпечення акустичного контакту п'єзоелектричного перетворювача з контрольованим матеріалом система УЗ сканеру доцільно виконати сумістивши його з відповідного розміру поясом. Сам перетворювач знаходиться в спеціальному колесі, який заповнений водою системи в воді маємо необхідний для контролю гарантований акустичний контакт. Розміщуючи ОК між вимірювальний перетворювач та спрямовуючим поясом. Рис.24

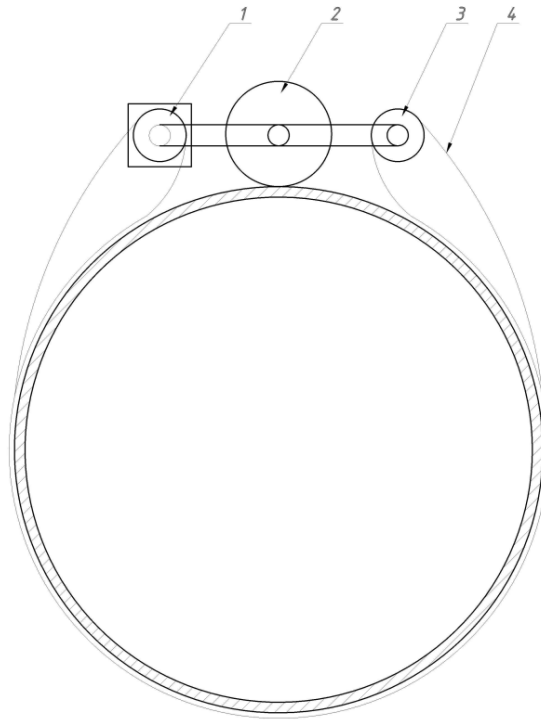


Рис.21 Схема закріплення УЗК на трубі

1. ведуче колесо;
2. колесо з ПЕП;
3. колесо для закріплення пояса;
4. спрямовуючий пояс.

Вибір кроку сканування поверхні об'єкту дослідження залежить від діаметру ультразвукового перетворювача, тобто в кінцевому вимірі – від частоти ультразвукових коливань, яка має використовуватися в даній системі. Враховуючи, що довжина хвилі коливань визначається необхідною роздільною здатністю системи контролю – її порогом чутливості або еквівалентним діаметром мінімального помітного дефекту Δd , частота коливань має становити

$$f \geq \frac{c}{\Delta d} \quad (31)$$

Крок сканування, який унеможливує пропуск дефекту становити $0,8d$, де d – діаметр ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача. При виборі $d \geq 6\lambda$,

наприклад $d = 10 \lambda$, маємо значення кроку сканування ΔL рівне 8λ , що дає нам можливість визначити параметри приводу та конструктивних вузлів сканера. ($d = 20 \text{ мм}$.)

Розрахуємо шлях який повинен пройти ПЕП для контролю:

$$L_{mp} = \pi \cdot D_{mp} = 314 \text{ мм} \quad (32)$$

Швидкість контролю:

$$V = \omega \cdot r = 157 \frac{\text{мм}}{\text{с}} \quad (33)$$

За час цикла ($T=0,1 \text{ с}$), перетворювач зміститься на величину:

$$\Delta L_y = V \cdot T = 15,7 \text{ мм} \quad (35)$$

Частота обертання двигуна:

$$F = \frac{V}{\pi \cdot d_{\text{сб}}} = 2,5 \frac{1}{\text{с}} \quad (36)$$

При такій швидкості коефіцієнт редукції становить ($f=50 \text{ Гц}$):

$$K_{ред} = \frac{f}{F} = 19,99 \quad (37)$$

Потужність двигуна залежить від ваги рухомої системи і відповідного йому моменту сили за рахунок ковзання ремня при виконанні руху. Момент сили тертя:

$$M_m = F_m \cdot r = 0,2 \quad (37)$$

$$P = M_m \cdot \omega = 31,4 \text{ Вт} \quad (37)$$

Враховуючи силу тертя між поверхнями приводних колес і пояса таким чином існування нерозрахованого моменту сили протидії обертання системи збільшуємо необхідну потужність приводного двигуна до 100 Вт .

Висновки до розділу

В даному розділі було розроблено систему, яка використовує кутове введення ультразвукової хвилі для утворення хвильооду. Розраховані основні вузли системи для отримання сигналу.

З метою ліпшого контакту було використано з'єднання за допомогою крипильного поясу між системою і об'єктом контролю, що дає змогу використані в польових умовах, а також використовувати систему в тандемі без допоміжних внесень в конструкцію.

Головна перевага системи – це ролики з установленими в них ПЕП, які постійному знаходяться в контактній рідині, а сам ролик зроблений з матеріалу який співпадає з акустичним імпедансом рідини, що дає змогу благополучно використовувати систему на всіх кутах повороту навколо об'єкту контролю.

Аналіз цих результатів дає змогу для подальшого покращення системи при зміни вхідних даних.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

«Ультразвуковий контроль елементів трубчастих конструкцій»

4.1 Опис ідеї проекту

В попередніх розділах було розглянуто існуючі системи ультразвукового контролю, що використовують різні методи для контролю труб. Було доведено необхідність розробки системи, що буде водночас простою, дешевою та універсальною, також було обрано метод довгих хвиль. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту системи ультразвукового контролю елементів трубчастих конструкцій.

Ідея проекту полягає у створенні системи знаходження(контролю) дефектів на великій відстані ніж стандартні методи. Розроблювана система повинна бути максимально універсальною та гнучкою, простою в експлуатації, і мати конкурентоспроможну ціну. В системі повинно бути передбачено зберігання результатів контролю в електронному вигляді в пам'яті комп'ютерної техніки, на якій буде встановлено відповідне розроблене програмне забезпечення.

В таблиці 4 відображений зміст ідеї, та потенційні ринки в межах яких необхідно шукати конкурентів.\

Таблиця 4. Опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка систем ультразвукового контролю	1. Орієнтація автоматичних або автоматизованих приладів(систем, роботів тощо) в процесі НК	Прискорення процесу неруйнівного контролю, виключення людського фактору
	2. Знаходження координат дефектів, при контролі ОК автоматичними або автоматизованими системами.	Збереження результатів контролю в електронному вигляді для подальшого аналізу

Отже, пропонується система дефктоскопії автоматичного контролю, яка є простішою за аналоги, може використовуватися з мінімальними початковими

витратами, та побудована на сучасній програмній та апаратній базі. Однією з основних особливостей системи є гнучкість програмного апарату(можливість переходу на інший метод визначення дефектів з мінімальними змінами в конструкції) та покращення результатів її роботи при масштабному використанні. Далі проводиться 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).

Таблиця 5. Визначення порівняльних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Концепції конкурентів(потенційних)				W	N	S
		Моя система	Конкурент 1 Olympus	Конкурент 2 Krautkramer	Конкурент 3 ООО "АКС"			
1.	Загальна вартість, грн	20000	150000	20000	900000	+		
2.	Діапазон робочої зони, м	4	100	200	200			+
3.	Час проведення контролю, с	67	15	15	20		+	
4.	Можливість зміни положення на трубі	+	+	+	+		+	

Висновок: у таблиці 5 визначено перелік основних техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та визначено слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту. Із таблиці видно, що слабких сторін не багато. Щодо сильних сторін – це набагато нижча вартість системи в порівнянні з аналогами.

4.2 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 6.

Таблиця 6. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка системи, що буде простою в експлуатації, для контролю труб.	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 ПЕП та витратні матеріали для системи дефектоскопії, і подальше встановлення на ОК в якому буде відбуватися контроль автоматично.				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект є простим у встановленні та експлуатації, програмна й апаратна його частини виконані з використанням новітніх та популярних технологій.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначемо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового провадження 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 7. проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Таблиця 7. 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	250000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патент на проект, дозвіл на використання частот 0,8-2,0МГц діапазону
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка системи з метою підтвердження працездатності в умовах реальних приміщень, та швидкості контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	94%

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. 8)

Таблиця 8. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Гнучка та швидка система орієнтації для приладів НК, а також можливість обробки, та зберігання інформації про координати знайдених дефектів в електронному вигляді	Підприємства, лабораторії, приватні компанії, фізичні особи	Орієнтація деяких цільових груп на більш складні та точні системи орієнтації	Низька ціна; Ефективність; Компактність

Була визначена цільова аудиторія (див табл. 8) та її основні вимоги до товару, основні вимоги до системи, й основні характеристики системи, які формують поведінку клієнтів відносно розроблюваної системи.

Проте, існують і певні загрози при застосуванні даної технології. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими обладнанням 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 (таблиці 9, 10).

Таблиця 9. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Вихід на ринок конкурента	Знизити ціну на систему орієнтації за рахунок використання дешевших маячків; Запропонувати безкоштовну установку системи в приміщеннях
2.	Економічний фактор	Зростання цін на	Пошук нових постачальників, та

		компоненти	можливий перехід на інші мікросхеми маячків
3.	Технічний фактор	Збої в вимірах координат, вихід з ладу ПЕП	Наявність кваліфікованої технічної підтримки
4.	Постачання	Невчасне постачання компонентів	Пошук нових постачальників, формування резерву компонентів на складах
5.	Інфляція	Зростання ціни на ПЕП, і відповідно дорожчання системи	Прив'язка ціни виробу до міжнародної валюти

Отже існує ціла низка загроз, що можуть спричинити проблеми реалізації стартапу. Було розглянуто кожен з факторів, проаналізовано, та запропоновано деякий комплекс дії компанії стартап-проекту для у відповідь на виникнення тієї чи іншої загрози. Запропоновані варіанти реакції дозволять своєчасно та швидко нівелювати виниклі фактори загроз.

Таблиця 10. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливість підвищення точності вимірювання системою	Позиціонування системи в якості допоміжної, вдосконалення програмної частини системи
2.	Економічний	Зменшення податків на даний вид виробництва	Збільшення обсягів виробництва та зменшення ціни на продукцію
3.	Технічний	Можливість корекції знаходження	Впровадження нових алгоритмів розрахунку координат в програмну частину системи
4.	Ринок збуту	Можливість виходу на міжнародний ринок	Розробка та виготовлення системи у відповідності до закордонних стандартів якості.
5.	Попит	Збільшення попиту на даний вид товару	Збільшення виробництва та впровадження знижок та акцій на товар, виділення коштів на маркетинг проекту

В таблицях 9 та 10 були розглянуті основні фактори-загрози, та фактори-можливості стартап-проекту. Для відповідного реагування компанією проекту було запропоновано шляхи реакції на виникаючі ситуації. Правильний алгоритм

дій в таких випадках допоможе компанії обійти конкурентів, та збільшити або запобігти втраті своєї частки ринку. Далі(в табл. 11) проведемо аналіз пропозиції – визначивши загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 11. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: олігополія	Існування невеликої кількості компаній, що працюють в даній сфер	Якісна продукція, правильна цінова політика, висока якість обслуговування
2. Рівень 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. Конкуренція за характером конкурентних переваг: цінова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Вибір оптимального варіанту ціна/якість комплектуючих елементів
6. Конкуренція за інтенсивністю: не марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсами і аудиторією клієнтів	Отримання держзамовлення й подальше розширення ринку

Отже сформувавши алгоритм дій компанії у відповідь на різні фактори конкурентного середовища, проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю сил М. Портера.

Таблиця 12. Аналіз конкуренції за моделлю М. Портера

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Olympus	Економія на масштабах Доступ до ресурсів	Значення розміру поставок для постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки:	Невисока конкуренція	Є можливість виходу на ринок за рахунок державних	Постачальники не впливають на умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та простої в керуванні	Більш відомі компанії захоплюють ринок

		замовлень		системи	
--	--	-----------	--	---------	--

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

В таблиці 13 наведемо фактори конкурентоспроможності, які засновані на аналізі конкуренції, який проведений раніше, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 13. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін розробленої системи орієнтації

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з компанією стартапу							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Наявність сертифікатів та патенту	10	+							
2	Якість продукту	18							+	
3	Ціна	20								+
4	Сервісне обслуговування	16						+		
5	Універсальність алгоритмів розробленого ПО	18								+

Як видно фактори конкурентоспроможності суттєві та є досить гарними для системи орієнтації з використання LRUTD технології. Основною перевагою та головним досягненням є низька ціна, висока якість продукту сервісне обслуговування на протязі всього терміну його використання споживачем, а також універсальність алгоритмів розробленої системи. Під універсальністю розуміється можливість зміни методу визначення відстані до опорних точок.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, тобто матриці аналізу сильних – Strength та слабких – Weak сторін, загроз – Troubles та можливостей – Opportunities(див. таблицю 14),

на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, що наведені в таблиці 13.

Таблиця 14. SWOT – аналіз стартапу

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Простота устанавлення системи 2. Низька ціна компонентів, що зумовлює формування нижчої ціни ніж в конкурентів 3. Якісне сервісне обслуговування 4.Універсальність алгоритмів програмної частини 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Порівняно невисока точність виміру координат 2. Залежність ціни продукції від ціни постачальників на комплектуючі елементи 3. Можливість збоїв в роботі системи при наявності в приміщенні працюючих на тій же частоті випромінювачів
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вихід та закріплення на ринку 2. Вихід на міжнародний ринок 3. Отримання держзамовлення 4. Збільшення попиту на систему 5. Можливість швидкого модифікування програмних алгоритмів, під потреби замовника 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зростання ціни на маячки, і відповідно дорожчання системи 2. Поява нових конкурентів на ринку з більш досконалою системою 4. Невчасне постачання компонентів 5. Збої в вимірах координат, вихід з ладу маячків 6. Інфляція

Таблиця 15. Альтернативи ринкового впровадження стартапу

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки(орієнтовний комплекс заходів)	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2-3 місяці
2	Отримання держзамовлення	Середня	5 місяців
3	Пошук інвестицій	Висока	6 місяців

Отже, розглянувши можливості ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що основною альтернативою є нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу, оскільки ймовірність отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші за такі в інших альтернативах. Це можливо за рахунок універсальності алгоритмів програмного забезпечення розробленої системи та низької ціни апаратної частини.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 16. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Будь які приватні та державні компанії, у виробничому процесі яких задіяно автоматизовані системи НК.	Продукт затребуваний на ринку	Високий	Помірна	Висока
2	Приватні фірми, в процесі роботи яких існує необхідність трекінгу об'єктів(поштові компанії)	Продукт затребуваний на ринку	Середній	Помірна	Висока
Які цільові групи обрано: Провівши аналіз цільових груп споживачів було прийнято рішення співпрацювати як з приватними і державними компаніями так, у виробничому процесі яких задіяно автоматизовані системи НК, або існує необхідність трекінгу об'єктів.					

За результатами аналізу груп потенційних споживачів ми обрали цільові групи, для яких буде пропонуватися система орієнтації з використанням LRUTD - технології. В якості стратегії охоплення ринку варто обрати стратегію масового маркетингу, із своїм ринком, через низьку поінформованість потенційних груп споживачів про наявність даної системи на ринку.

Сформуємо базову стратегію розвитку для роботи в обраному сегменті ринку(табл 17).

Таблиця 17. Визначення базової стратегії на ринку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Удосконалення даного проекту	Масовий маркетинг	Ціна, універсальність алгоритмів програмної частини системи	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки(табл 18).

Таблиця 18. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходьцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Шукати нових та переманювати існуючих	Ні, вся система є значно модифікованою, і в копіюванні немає потреби	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 19. 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)
1	Ціна, надійність, швидкість визначення координат.	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, точність	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

В цьому розділі було розроблено систему рішень ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямку буде рухатися компанія-стартапу на різних етапах його реалізації, також було обрано цільові групи споживачів, для яких буде пропонуватися система орієнтації з використанням Bluetooth-технології

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. В таблиці 20 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару

Таблиця 20. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Низька ціна	Пропонування товару за нижчою ніж в конкурентів ціною	Збільшення кількості клієнтів за рахунок ціни та якості продукції
3.	Швидкість знаходження координат	Швидкість знаходження координат знаходиться на високому порівняно з конкурентами рівні	Збільшення швидкості знаходження координат за рахунок використання дорожчої апаратної частини, та оптимізації алгоритмів програмної.
4.	Якість	Довший термін роботи системи	Постійне якісне обслуговування системи
5.	Можливість зміни методу виміру відстані до опорних точок	Універсальність алгоритмів програмної частини	Можливість зміни методу виміру відстані до опорних точок без заміни всієї програмної частини.

Опис трьох рівнів моделі товару наведено в таблиці 21.

Таблиця 21. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система для «indoor» орієнтації з використанням Bluetooth технології		
II. Товар у реальному	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Гл/Е/Ор
	1.Вірогідність визначення	99%(М)	Тх

виконанні	координат дефектів	0,2сек(М)	Тл
	2.Час визначення координат дефектів	Наявна(Нм)	Тл
	3. Обробка та зберігання даних в цифровому вигляді	Наявна(Нм)	Тл
	4. Можливість заміни методу виміру відстані до опорних точок		
Якість: ISO 6790, ISO 9001:2015, ISO 27001:2013			
Пакування:			
Марка: «Light Engineering» UniCoord			
III. Товар із підкріпленням	До продажу включається		
	Після продажу включається		
Потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок надання кожній проданій системі індивідуального ліцензійного коду який необхідний для авторизації та підключення до системи.			

Отже ми описано трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основі 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.

Таблиця 22. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	3000 грн	50000-200000 грн	300000-1000000 грн	200000-2000 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. Висока верхня ціна зумовлена можливістю масштабування системи за рахунок збільшення кількості beacon-маячків.

В таблиці 23 наведено опис формування системи збуту.

Таблиця 23. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
-------	---	---	----------------------	--------------------------

1	Посилкова торгівля Продаж через інтернет сайти	Безпосередній продаж товару клієнту, оформлення та відправлення замовлення. Установка та налаштування системи.	Висока	Оптовий продаж продукції
---	---	--	--------	--------------------------

Далі розробимо концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 24. Концепція маркетингових комунікацій

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

Висновки

Аналіз стартап-проекту показав можливість ринкової комерціалізації проекту. Це обумовлено високим попитом на автоматизовані та автоматичні системи неруйнівного контролю і як наслідок систем для контролю труб. Можливості комерціалізації покращуються у зв'язку з використанням в системі загальновідомої технології LRUTD, і можливості масштабування системи.

В ході аналізу було підтверджено рентабельність проекту, зважаючи на ціни апаратної частини проекту, та з урахуванням цін на товари конкурентів.

Незважаючи на наявну конкуренцію певного рівня, ринок надає можливості впровадження продукту в обіг з огляду на наявність цільової аудиторії, яка зацікавиться даним продуктом. Цьому так само як і з комерціалізацією сприятиме використання загальновідомих понять Bluetooth в системі.

На ринку вже присутні аналоги продукту який розробляється, але жоден з них не використовується безпосередньо для визначення координат під час неруйнівного.

Для успішного виходу на ринок в стартапі передбачено такі властивості, які будуть значно виділяти його серед конкурентів – це низька ціна маячків, та простота й ефективність роботи системи. Також значною перевагою є універсальність алгоритму розрахунку координат в програмній частині системи. А отже на даний момент продукт є конкурентоспроможним.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було проаналізовано існуючі системи дефектоскопії трубопроводів, з використанням різних методів контролю, та для різних задач. З систем що використовують УЗ було обрано та розглянуто детально систему на LRUT. В ході розробки проаналізовано алгоритм обчислення еквівалентного дефекту по інформативному параметру сигналу, та формули для визначення оптимальних параметрів для роботи системи.

Було розроблено систему, і проведено моделювання її на трубі, з метою перевірки працездатності системи. Система має можливість працювати з різними розмірами труб , без великих змін в конструкції, а також є можливість використовувати її в тандемі для прискорення контролю.

Підсумовуючи сказане можна зробити висновок, що система є сучасною, конкурентоспроможною та корисною для виконання завдань що постають у процесах автоматизації неруйнівного контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виноградов Ю. А. Материаловедение для слесарей-сантехников, слесарей-монтажников и машинистов строительных машин.
2. ГОСТ 8731-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. –
3. ГОСТ 8732-78 . Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.
Сортамент:.
4. ГОСТ 3728-78. Трубы. Метод испытания на загиб.
5. ГОСТ 6996-66. Методы определения механических свойств
6. ГОСТ 14019-2003. Материалы металлические. Методы испытания на изгиб:
7. ГОСТ 8695-75. Трубы. Метод испытания на сплющивание:
8. ГОСТ 3845-78. Трубы металлические. Метод испытания гидравлическим давлением.
9. ГОСТ 17410-78. Контроль неразрушающий. Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Методы ультразвуковой дефектоскопии.
10. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – Москва: Машиностроение, 2004. – 864 с.
11. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль: практ. пособие: в 5 кн., кн. 2. Акустические методы контроля / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; под ред. В.В. Сухорукова. – Москва: Высшая школа, 1991. – 283 с. 3. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М: Машиностроение, 1981. – 240 с
12. Сучков Г. М. Повышение возможностей бесконтактной дефектоскопии поверхности катанных ферромагнитных металлоизделий / Г.М. Сучков, О.Н. Петрищев, А.В. Десятниченко и др. // Контроль. Диагностика. – Москва, 2013. – № 4 –с. 31-35.
13. Подолян А. А. Формирование магнитного поля с заданными характеристиками в ЭМА преобразователях систем неразрушающего контроля промышленного

- оборудования / А. А. Подолян // Методы и приборы контроля качества. – 2006. – Вып. 17. – С. 18 – 21.
14. Сучков Г.М. Математическое моделирование процесса регистрации ультразвуковых волн в стальном металлопрокате преобразователем электромагнитного типа. Часть 1 / Г.М. Сучков, М.И. Романюк, О.Н. Петрищев и др. // Электроника и связь. Киев: НТУУ «КПИ», 2012. – № 6. – С. 94-108.
15. Богданов Е.А. «Основы технической диагностики нефтегазового оборудования». - М.: Высшая школа 2006 г.
16. В.П. Калявин «Основы теории надежности и диагностики». Санкт - Петербург: Элмор, 1998.
17. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учебник для вузов / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров и др. – М.: Недра, 1988.
18. Методы акустического контроля металлов/ Н.П. Алешин, В.Е. Белый, А.Х. Вовилкин и др.: Под ред. Н.П.Алешина — М.: машиностроение, 1989 — 456 с.
19. Маєвський С.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі / С.М. Маєвський, В.П. Бабак, Л.М. Щербак. – К.: Либідь, 1993. – 200 с.