

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

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) \_\_\_\_\_

(код та назва спеціальності)

на тему: «Ультразвуковий прилад для контролю зварних з'єднань на базі TOFD методу»

Виконав : студент IV курсу, групи

ПК-51

(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Кісіль Олександр Володимирович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

\_\_\_\_\_ Лашко О.В. \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Графічний

(назва розділу)

ст.викл. Богдан Г.А

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Приладобудівний факультет**

**Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.051003

«Приладобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Протасов А.Г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту  
Кісіль Олександр Володимирович**

1. Тема проєкту «Ультразвуковий прилад для контролю зварних з'єднань на базі TOFD методу », керівник роботи Ас. Лашко О.В. , затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1384-с

2. Термін подання студентом роботи 10 травня 2019

3. Вихідні дані до роботи: Сконструювати прилад на базі TOFD методу , який би був придатний до ряду задач (контролю зварних стикових зєднань ) з товщиною стінки від 15 до 50 мм.

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Проєктно-розрахункова частина

3. Конструкторсько-технологічний розділ

Висновок

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 6 креслеників.

1 – Скануючий пристрій

2 – П'єзоелектричний перетворювач

3 – Функціональна схема

4 – Структурна схема

5 – Закріплення перетворювачів

6 – Шпилька

## 7- Колесо

### 6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічний	ст. викл. Богдан Г.А.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	15.03.2019	
2	Проведення аналітичного огляду	10.04.2019	
3	Розрахунок акустичних трактів	25.04.2019	
4	Розрахунок перетворювачів	10.05.2019	
5	Розробка приладу	25.05.2019	
6	Розробка креслеників	12.06.2019	

Студент

Кісіль О.В.

Керівник проекту

Лашко О.В.

\_\_\_\_\_

# **Пояснювальна записка**

## **до дипломної роботи**

**на тему: «Ультразвуковий прилад для контролю зварних з'єднань на  
базі TOFD методу »**

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ**

АЕ – акустична емісія

АРП – автоматичне регулювання підсилення

ДН – діаграма направленості

КМ – комутована матриця

НК – неруйнівний контроль

ОК – об'єкт контролю

ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач

УЗК – ультразвукові коливання

УМНК – ультразвукові методи неруйнівного контролю

ЦТС – цирконат-титанат свинцю

RT - Radiographic testing

UT-ultrasonic testing

PAUT - Phased Array Ultrasonic Testing

TOFD – Time of Flight Diffraction

## *Анотація*

Мета проєкту сконструювати прилад на базі TOFD методу, який би був придатний до ряду поставлених задач (контролю зварних стрикових з'єднань) з товщиною стінки від 15 до 50 мм. В даній роботі було розроблено прилад для контролю зварних стикових з'єднань цистерн великого діаметру або листів металу на базі методу TOFD. В наш час все більше стає актуальним проведення УЗ контролю в таких галузях як авіа-будівництво, залізниця, хімічна промисловість, реактори АЕС і т.д. Тому на перший план виходять вимоги до якості та швидкості контролю. Дифракційно-часовий метод якраз об'єднує в собі швидкість проведення контролю та високу вірогідність виявлення дефекту. Для цього методу було розроблено функціональну схему приладу, розроблено сам сканувальний пристрій на якому розміщуються, та за допомогою якого переміщуються перетворювачі по ОК. Даний метод набув популярності лише з розвитком мікропроцесорної техніки. Для обробки інформації сканування нам була потрібна більш стійка до електричних шумів елементна база. Тому що сигнали від дифрагованих хвиль які використовує наш метод для визначення дефекту, на 20-30 дЦб слабкіші від звичайних сигналів які використовують традиційні УЗ дефектоскопи.

### *Anotation*

The purpose of the project is to design a device based on the TOFD method, which would be suitable for a set of tasks (control welded joints to connect)

with a wall thickness of 15 to 50 mm.

In this work, a device for controlling welded joints of cisterns of large diameter or metal sheets based on the TOFD method was developed. Nowadays, more and more UDC control is taking place in such fields as aircraft construction, railways, chemical industry, NPP reactors, etc. Therefore, the requirements for quality and speed of inspection are coming to the fore. The diffraction-time method is united in itself the speed of control and the high probability of detecting a defect.

For this method, a functional diagram of the device was developed, the scanner itself was designed on which it was placed, and by which the converters are moved along the OK.

This method became popular only with the development of microprocessor technology. To handle the scanning information, we needed an elemental base that was more resistant to electrical noise. Because the signals from the diffracted waves that uses our method to determine the defect, 20-30 dB are weaker than the normal signals used by traditional ultrasound flaw detectors.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	7
1.1. Фізичні основи ультразвукового неруйнівного контролю.....	7
1.2. Огляд методів ультразвукового контролю.....	10
1.3. Фізичні основи TOFD методу.....	18
1.4. Прикладне застосування TOFD методу.....	20
1.5. Огляд об'єкту контролю.....	28
2. ПРОЕКТНО-РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	31
2.1. Розрахунок первинного тракту.....	31
2.1.1 Вибір робочої частоти.....	32
2.1.2 Розробка та розрахунок первинного перетворювача.....	34
2.1.3 Розрахунок еквівалентної схеми акустичного тракту.....	38
2.2. Розробка структурної схеми приладу.....	42
2.3. Розробка функціональної схеми приладу.....	44
3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	48
3.1. Технологія виготовлення первинних перетворювачів.....	48
3.2. Розробка пристрою сканування.....	52
3.3. Методика проведення контролю.....	53
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	55

					<b>ПК51.03.0000.000</b>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Ультразвуковий прилад для контролюварних з'єднаньна основі TOFD методу. Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>	
<i>Розроб.</i>		<i>Кісіль О.В.</i>							
<i>Перевір.</i>		<i>Лашко О.В.</i>					4	56	
<i>Реценз.</i>						<b>ПБФ</b>			
<i>Н. Контр.</i>									
<i>Затверд.</i>									



## ВСТУП

В даній роботі було розроблено прилад для контролю зварних стикових з'єднань труб великого діаметру (більше 300 мм) або листів металу на базі методу TOFD. В наш час все більше стає актуальним проведення УЗ контролю в таких галузях як авіа-будівництво, залізниця, хімічна промисловість, реактори АЕС і т.д. Тому на перший план виходять вимоги до якості та швидкості контролю. Дифракційно-часовий метод якраз об'єднує в собі швидкість проведення контролю та високу вірогідність виявлення дефекту.

Для цього методу було розроблено функціональну схему приладу, розроблено сам пристрій сканування, на якому розміщуються та за допомогою якого переміщуються перетворювачі по ОК.

Даний метод набув популярності лише з розвитком мікропроцесорної техніки. Для обробки інформації сканування нам була потрібна більш стійка до електричних шумів елементна база. Тому що сигнали від дифрагованих хвиль які використовує наш метод для визначення дефекту, на 20-30 дЦб слабкіші від звичайних сигналів які використовують традиційні УЗ дефектоскопи.

До ряду недоліків даного методу входять такі як, наявність мертвої зони яка знаходиться близько до приймача або випромінювача, але в більшості випадків ці зони не підлягають для контролю і можуть вважатися не критичними. Обов'язкова зачистка зони проведення контролю для щільного притискання перетворювачів до ОК. Суть ультразвукового методу полягає у випромінюванні в виріб і подальшому прийнятті відображених ультразвукових коливань за допомогою спеціального обладнання ультразвукового дефектоскопа і ПЕП подальшому аналізу отриманих даних з метою визначення наявності дефектів, а також їх еквівалентного розміру, форми (об'ємний / площинний), виду (точковий / протяжний), глибини залягання і ін. Цей метод застосовується в таких галузях як :

					ПК51.03.0000.000	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

- а) литво;
- б) поковки;
- в) зварювання і наплавлення;
- г) металовироби та напівфабрикати;
- д) теплова енергетика;
- е) трубопроводи тощо.

Таким чином, ультразвуковий контроль в цілому та TOFD метод контролю зокрема дуже широко застосовуються для неруйнівного контролю якості.

					ПК51.03.0000.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		6

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Фізичні основи ультразвукового неруйнівного контролю

Вперше здійснити неруйнівного контролю ультразвуковою хвилею намагалися ще в 1930 році. Одним з основних методів неруйнівного контролю є ультразвуковий метод контролю (УЗК). А вже через 20 років ультразвуковий контроль якості зварних з'єднань придбав найбільшу популярність, в порівнянні з іншими методами контролю якості зварювання. Крім того, для деяких виробів він став обов'язковим.

Ультразвуковий контроль використовує високочастотну звукову енергію для проведення обстежень і проводити вимірювання. Ультразвуковий контроль може бути використана для оцінки дефектів і, вимірювання розмірів, характеристика матеріалу тощо. Типова ультразвукова система складається з декількох функціональних вузлів, таких як п'єзоперетворювач, перетворювач і дисплей пристроїв. п'єзоперетворювач - це електронний пристрій, який може виробляти електрику високої напруги пульсу.



Рис.1.1 – Проведення ультразвукового контролю

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перетворювач різних типів і форм, керований пульсатором, генерує високий рівень частоти ультразвукової енергії, що працює на основі п'єзоелектричної технології з використанням кварцу, сульфат літію або різні кераміки. Більшість перевірок здійснюється на частоті від 1 до 25 МГц. Призми використовуються для передачі ультразвукових хвиль від перетворювача до випробуваного зразка; типовими мастилами є вода, олія, гліцерин і жир.

Звукова енергія вводиться і поширюється через матеріали у вигляді хвиль і відбивається від протилежної поверхні. Внутрішній дефект, такий як тріщина або порожнина перериває поширення хвиль і відбиває частину ультразвукової хвилі.

Амплітуда енергії та час, необхідний для повернення, вказують на наявність та місце розташування будь-яких недоліків в об'єкті контролю.

Метод ультразвукового контролю має високу проникаючу здатність і чутливість. Його можна використовувати з різних напрямків для перевірки дефектів у великих деталях, таких як тиск коліс залізничних колій судин і блоків. Цей метод вимагає від досвідченого персоналу належного проведення контролю та правильної інтерпретації результатів.

Як дуже корисний і універсальний метод НК, ультразвуковий метод контролю має наступні переваги; чутливість до поверхневих і підповерхневих розривів, краща глибина проникнення для дефектоскопії або вимірювання, здатність до одностороннього доступу для імпульсного луно-методу, висока точність визначення положення відбивача і оцінка розміру і форми, мінімальна підготовка деталей, миттєві результати з електронним обладнанням, детальна візуалізація з автоматизованими системами, можливість для інших застосувань, таких як вимірювання товщини. Його обмеження; необхідність у доступній поверхні для передачі ультразвуку, необхідність для сполучення середовища для передачі звукової енергії в ОК, межі шорсткості, нерівності форми, малості, товщини або не однорідності,

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утруднення перевірки грубозернистих матеріалів через низьку передачу звуку та високий сигнал шум, необхідність орієнтування лінійних дефектів паралельно звуковому пучку, необхідність мати еталонні стандарти як для калібрування обладнання, так і для характеристик недоліків.



Рис. 1.2 – Ультразвуковий перетворювач

## 1.2 Огляд методів ультразвукового контролю

Всі методи ультразвукового неруйнівного контролю поділяють на дві великі групи – активні і пасивні. Активні методи контролю мають на увазі під собою випромінювання і прийом акустичних хвиль. Нижче представлений огляд активних методів ультразвукового НК.

Луно-метод або луна-імпульсний метод - найбільш поширений: перетворювач генерує коливання (тобто виступає в ролі генератора) і він же приймає відбиті від дефектів луна-сигнали (приймач). Даний спосіб набув широкого поширення за рахунок своєї простоти, так як для проведення контролю потрібно тільки один перетворювач, отже при ручному контролі відсутня необхідність в спеціальних пристроях для його фіксації (як,

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПК51.03.0000.000 ПЗ				

наприклад, в дифракційно-часовому методі) і суміщенні акустичних осей при використанні двох перетворювачів. Крім того, це один з небагатьох методів ультразвукової дефектоскопії, що дозволяє досить точно визначити координати дефекту, такі як глибину залягання і положення в досліджуваному об'єкті (щодо перетворювача).



Рис. 1.3 - Міні-модель дефектоскопа луно-типу

Дзеркальний метод (Рис 1.4) схожий на луно, але використовується два пристрої - приймач і передавач. Перевага такого методу в тому, що обидва пристрої знаходяться по одну сторону від об'єкта, що полегшує процес установки, настройки і заміри. Окремо виділяють методи аналізу ультразвуку, який пройшов через об'єкт наскрізь. Використовують поняття «звукова тінь». Якщо всередині об'єкта присутній дефект, він сприяє різкому загасання коливань, тобто, створює тінь. На цьому принципі ґрунтується тіньовий метод ультразвукової дефектоскопії, коли генератор і приймач коливань розташовуються на одній акустичній осі з різних сторін.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

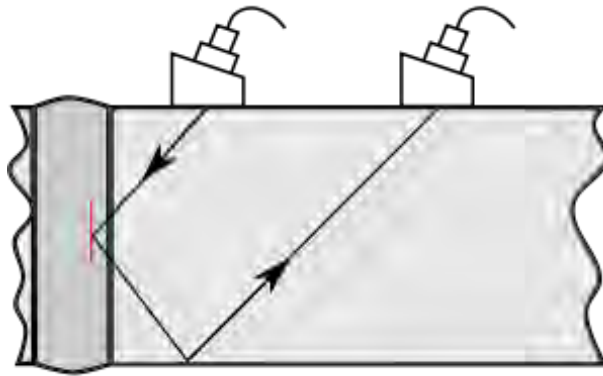


Рис 1.4. Дзеркальний метод ультразвукового контролю

Дифракційно-часовий метод (Рис. 1.5) – використовується два перетворювача з одного боку деталі, розташовані один навпроти одного. Якщо дефект має гострі кромки (як, наприклад, тріщини) то коливання дифрагують на кінцях дефекту і відображаються на всі боки, в тому числі і в бік приймача. Дефектоскоп реєструє час приходу обох імпульсів при їх достатній амплітуді. На екрані дефектоскопу одночасно відображаються обидва сигнали від верхньої і від нижньої меж дефекту, тим самим можна досить точно визначити умовну висоту дефекту. Спосіб досить універсальний, дозволяє виробляти ультразвуковий контроль на швах будь-якої складності, але вимагає спеціального обладнання для фіксації перетворювачів, а також дефектоскоп, здатний працювати в такому режимі. Крім того, дифраговані сигнали досить слабкі.

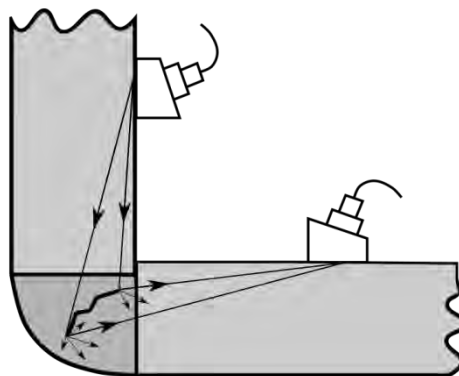


Рис. 1.5 – Тріщина в кутовому зварному шві,  
що виявляється дифракційно-часовим методом контролю

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Дельта-метод – різновид дзеркального методу – відрізняється механізмом відображення хвилі від дефекту і способом прийняття сигналу. У діагностиці використовується для пошуку специфічно розташованих дефектів. Даний метод дуже чутливий до вертикально-орієнтованих тріщинах, які не завжди вдається виявити звичайним луно-методом.

Ревербераційний метод – заснований на поступовому згасанні сигналу в об'єкті контролю. При контролі двошарової конструкції, в разі якісного з'єднання шарів, частина енергії з першого шару буде йти в другий, тому реверберація буде менше. У зворотному випадку будуть спостерігатися багаторазові відбиття від першого шару, так званий ліс.

Метод використовується для контролю зчеплення різних видів наплавлень, наприклад бабітової наплавлення з чавунним підставою. Основним недоліком даного методу є реєстрація дефектоскопом луно-сигналів від кордону з'єднання двох шарів.

Причиною цих луно-сигналів є різниця швидкостей пружних коливань в матеріалах з'єднання і їх різне питомий акустичний опір. Наприклад на кордоні баббит-сталь виникає постійний луна-сигнал навіть в місцях якісного зчеплення. В силу конструкційних особливостей деяких виробів, контроль якості з'єднання матеріалів ревербераційним методом може бути неможливий саме через наявність на екрані дефектоскопа луно-сигналів від кордону з'єднання.

Акустична мікроскопія завдяки підвищеній частоті введення ультразвукового пучка і застосування його фокусування дозволяє виявляти дефекти, розміри яких не перевищують десятих часток міліметра. Широке застосування в промисловості утруднено у зв'язку з вкрай низькою продуктивністю методу. Даний метод підходить для дослідницьких цілей, діагностиці, а також у радіоелектронній промисловості.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



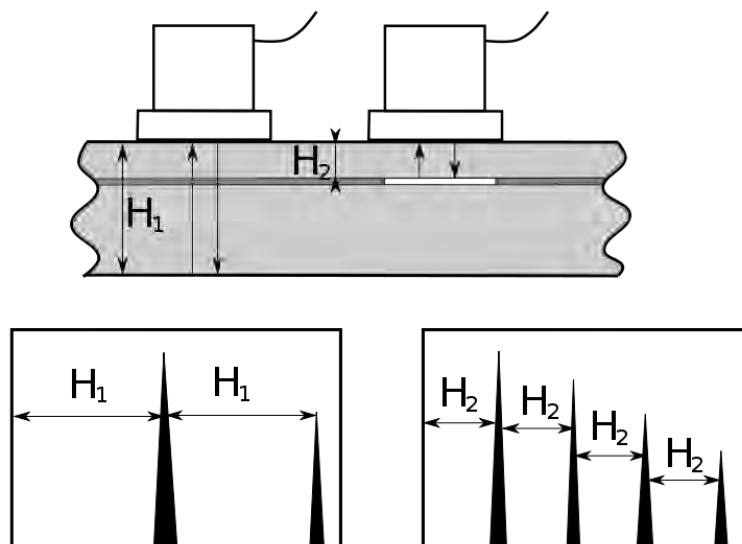


Рис. 1.6 – Ревербераційний метод контролю двошарової конструкції та результат контролю

Когерентний метод – по суті є різновидом луно-імпульсного методу. Крім двох основних параметрів луно-сигналу, таких як амплітуда, час приходу, використовується додатково фаза луно-сигналу. Використання когерентного методу, а точніше кількох ідентичних перетворювачів, що працюють синфазно.

При використанні спеціальних перетворювачів, таких як перетворювач біжучої хвилі або його сучасний аналог - перетворювач з фазованной ґраткой. Дослідження застосовності даного методу до реальних об'єктів контролю ще не завершені. Метод знаходиться на стадії науково-дослідних пошуків.

Дзеркально-тіньовий (Рис. 1.7.) – для ультразвукового контролю за допомогою тіньового методу несучільностей оцінюють по зменшенню луно-імпульсу акустичної хвилі, що проходить від збуджувального п'єзоперетворювача до приймального. Чим більше параметри несучільностей, тим менше луно-сигнал. Випромінювач і приймач при цьому встановлюють співвісно на різних поверхнях контрольованої ділянки. Тіньовий метод контролю можливий лише при наявності двостороннього доступу до

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контрольного зразком. Для ручного ультразвукового способу даного методу краще здійснювати контроль зварних з'єднань обмеженого перетину маленької товщини виробу. Мінуси даного методу є труднощі розташування п'єзоперетворювача щодо центральних хвиль діаграми спрямованості, відсутності точності оцінки розташування дефектів і маленька чутливість (в 10...20 разів менша) в порівнянні з луно-методом.

Основні переваги тіньового методу – низька залежність луно-імпульсів від розташування дефекту, стійкість і відсутність «мертвої зони». Перша перевага методу дає можливість легко знайти похилі нерівності, які відсутні при прямому відображенні луна-методу.

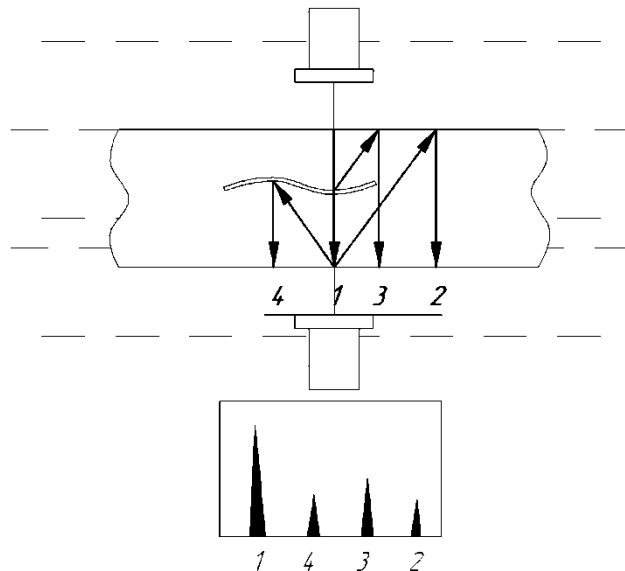


Рис. 1.7 – Виявлення тріщини дзеркальним методом

Часово-тіньовий заснований на реєстрації запізнення імпульсу в часі, що спричинено огинанням хвилею дефекту. Використовується для контролю бетону або вогнетривкої цегли.

Метод багаторазової тіні аналогічний тіньовому, з тим винятком, що ультразвукова хвиля кілька разів проходить через паралельні поверхні виробу.

При луно-наскрізному (рис. 1.8.) методі використовують два перетворювача, розташовані по різні боки об'єкта контролю один навпроти одного. У разі відсутності дефекту, на екрані дефектоскопа спостерігають

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

наскрізний сигнал і сигнал, дворазово відбитий від стінок об'єкта контролю. При наявності напівпрозорого дефекту, також спостерігають відбиті наскрізні сигнали від дефекту. При відсутності дефекту на екрані дефектоскопа спостерігаються тільки 1 і 2 імпульси. При наявності напівпрозорого дефекту, додатково 3 і 4-й. На малюнку для наочності відображення ультразвукових хвиль, невірно показані напрямки їх поширення. Ультразвукові хвилі поширюються уздовж акустичної осі передавача (верхнього перетворювача)

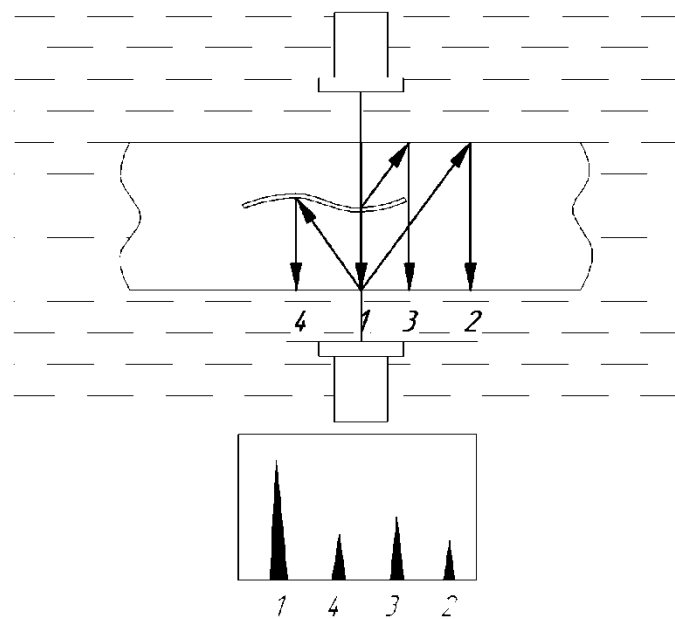


Рис. 1.8 – Луно-наскрізний метод контролю

Велосиметричний (фазовий) метод заснований на реєстрації зміни швидкості пружних хвиль в зоні дефекту. Застосовується для контролю багат шарових конструкцій і для виробів з полімерних композиційних матеріалів.

Метод власних коливань заснований на порушенні в об'єкті контролю вільних або вимушених коливань і вимірювання їх параметрів: власних частот і величини втрат.

- а) інтегральний;
- б) локальний;

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

в) акустико-топографічний.

Метод вільних коливань.

Вільні коливання збуджують шляхом короткочасного впливу на об'єкт контролю, після чого об'єкт коливається в відсутності зовнішніх впливів. Джерелом короткочасного впливу може бути будь-який механічний удар, наприклад, молотком. Метод поділяють на:

а) інтегральний;

б) локальний;

До імпедансних методів відносяться:

а) вигинистих хвиль;

б) поздовжніх хвиль;

в) контактного імпедансу.

Пасивні методи контролю полягають у прийманні хвиль, джерелом яких є сам об'єкт контролю. Пасивні методи поділяють на:

а) акустико-емісійний;

б) вібраційно-діагностичний;

в) шумо-діагностичний.

Сучасні дефектоскопи точно заміряють час, що минув від моменту випромінювання до прийому луно-сигналу, тим самим вимірюючи відстань до відбивача. Це дозволяє домогтися високого променевого дозволу дослідження. Комп'ютеризовані системи дозволяють провести аналіз великого числа імпульсів і отримати тривимірну візуалізацію відбивачів в металі.

Отже, ультразвуковий неруйнівний контроль широко застосовується для контролю якості промислової продукції, що обумовлено низкою чинників, один з яких – здатність ультразвукових хвиль проникати всередину об'єктів контролю, не пошкоджуючи їх. Ультразвуковий контроль

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосований до об'єктів, виконаних з різних матеріалів – металів і неметалів. Крім того, можна виділити високу швидкість проведення контролю при низькій вартості і відсутності небезпеки для людини (у порівнянні, наприклад, з рентгенівською дефектоскопією), а також і високу мобільність ультразвукових дефектоскопів.

Використання п'єзоелектричних перетворювачів вимагає підготовки поверхні для введення ультразвуку в метал, зокрема створення шорсткості поверхні не нижче класу 5, у випадку зі звареними з'єднанням ще й напрямки шорсткості (перпендикулярно шву). Зважаючи на велику акустичного опору повітря, найменший повітряний зазор може стати непереборною перешкодою для ультразвукових коливань. Для усунення повітряного зазору, на контрольований ділянку виробу попередньо наносять контактні рідини, такі як вода, масло, гліцерин. При контролі вертикальних або сильно нахилених поверхонь необхідно застосовувати густі контактні рідини з метою запобігання їх швидкого стікання.

### 1.3 Фізичні основи TOFD методу

Дифракційно-часовий метод ультразвукового контролю (далі – TOFD) зазвичай виконують з використанням поздовжніх хвиль в якості первинного методу виявлення. Ультразвукові датчики розміщені на кожній стороні зварного шва. Один датчик посилає ультразвуковий промінь в матеріал, а інший датчик отримує відбитий і дифрагований ультразвук від аномалій і геометричних відбивачів. TOFD забезпечує широку зону покриття за допомогою одного пучка, використовуючи теорію розповсюдження ультразвукового пучка всередині клина і досліджуваного матеріалу. Коли промінь контактує з кінчиком дефекту або тріщини, дифракційна енергія відливається у всіх напрямках. Вимірювання часу польоту дифрагованих пучків забезпечує точну і надійну дефектоскопію і калібрування, навіть якщо тріщина орієнтована на первинний напрямок променя. Під час типових

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

перевірок TOFD збираються А-скани і використовуються для створення В-сканувань (вид збоку) зображень зварного шва. Аналіз виконується на блоці збору або в пост-аналітичному програмному забезпеченні, позиціонуючи курсори для вимірювання довжини та висоти стінок недоліків.

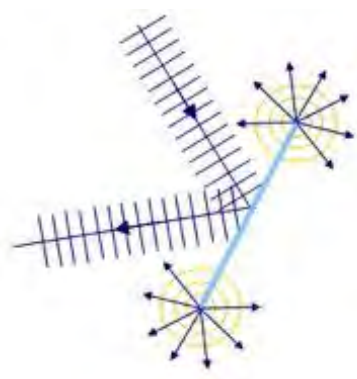


Рис. 1.9 – Дифракції від тріщини в об'єкті контролю

Розглянемо принципи роботи методу. Перший датчик випромінює повздовжні хвилі в ОК яка проходить майже через всю висоту завдяки широкому куту діаграми направленості. Яка з часом відбивається від дна та потрапляє на приймач пружних коливань («backwall echo»). В ОК збуджуються майже всі типи хвиль перша з яких доходить до приймача підповерхнева хвиля (lateral wave ). Якщо в об'єкті контролю є наявний дефект то при попаданні на них коливань (рис 1.9), вони будуть випромінювачами дифракційних хвиль. Які в свою чергу також попадають через деякий час на приймач. Вони будуть між підповерхневою хвилею та донним сигналом.

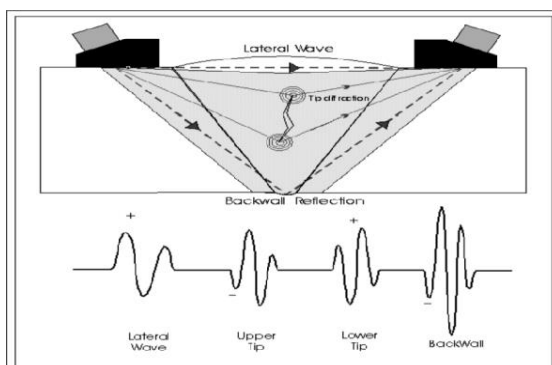


Рис. 1.10 – Схема TOFD-методу контролю

#### 1.4 Прикладне застосування TOFD методу

Потреба в проведенні більш точних при проведенні вимірювань збільшення розмірів дефектів безпосередньо в конструкції, ніж наявна для традиційного ультразвукового методу стала очевидною в 1960-их, особливо в атомній і хімічній галузях промисловості. При виявленні дефектів на таких об'єктах ремонт пошкоджених виробів або їх ділянок часом був дуже важким чи неможливим (рис. 1.11).



Рис. 1.11 – Контроль напівреактора

В ядерній енергетиці часто виникають проблеми з доступом і високим рівнем радіації. Закривати або замінювати таке підприємство-дуже дорого. З цієї причини Національний Центр неруйнівного контролю в Харуелле (потім частина Управління з атомної енергії Великобританії -УКАЕА) попросив, щоб доктор Моріс Сілк (Dr. Maurice Silk) зі своїм колективом спробував відшукати ультразвуковий метод калібрування, більш точний, ніж існуючий традиційний луна-імпульсний метод .

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На початку 1970-х років доктор Моріс Сілк зі своїм колективом розробив метод, відомий як дифракційно-часовий метод (TOFD).

Цей метод також називають «Часопролітним», буквально переводячи англійська назва: TOFD – Time of Flight Diffraction. В початку 1980-х було запропоновано проведення контролю PWRРеактора в Великобританії з тією метою, щоб довести, що це найкращий метод контролю ультразвукової дефектоскопії для посудин високого тиску та інших основних компонентів реактора. Метод TOFD став більш затребуваним після появи потужних портативних комп'ютерів у другій половині 1980-х.

Розглянемо переваги методу TOFD.

У методу TOFD є головні переваги перед традиційною ультразвуковою дефектоскопії: 1. Можливість досягнення більш високої точності при проведенні вимірювань, як правило,  $\pm 1$  мм, а при повторному обстеженні  $\pm 0,3$  мм.

Висока ймовірність виявлення дефектів. В результаті європейського проекту "Ефективність застосування методу TOFD для контролю зварних з'єднань посудин під тиском на стадії виготовлення» (TOFDPROOF) було проведено порівняння ефективності методу TOFD, радіографічного і традиційного ручного ультразвукового луна-імпульсного методу контролю.

Можливість виявлення дефектів практично будь-якої орієнтації. По причині розбіжності дифрагованих сигналів у всіх напрямках, метод TOFD чутливий фактично до будь-якого типу дефектів, незалежно від їх орієнтації. Сюди ж можна віднести широке охоплення контрольованого обсягу, пов'язаний з кутовим розбіжністю ультразвукового пучка. При цьому відбудеться прийом частини розсіяною енергії ультразвукового пучка від дефекту у вигляді сигналів малої амплітуди, дифрагованих від її країв, які будуть виведені на екрані в коректному відносному положень. По цієї причини відсутня необхідність в контролі основного металу біля зварної зони прямим перетворювачем з метою виявлення розшарувань.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Високу ймовірність виявлення дефектів при проведенні контролю методом TOFD можна продемонструвати на прикладі виявлення відсутності несплавлення між проходами або міжвалікового несплавлення. При контролі TOFD міжвалікове несплавлення або плоский паралельний дефект видно як суцільна лінійна індикація. При використанні традиційного відлуння - імпульсного методу контролю дефекти такого типу не виявляються

Висока продуктивність контролю, так як сканування проводиться уздовж однієї лінії. При виконанні контролю методом TOFD швидкість отримання результатів обмежується тільки швидкістю проведення сканування (рис 10). Дебати, пов'язані з надійністю виявлення дефектів при збільшенні швидкості контролю, у випадку з TOFD є безпідставними. Велика кількість проведених випробувань показали, що контроль за допомогою даного методу можна проводити з високою швидкістю і ефективністю при найвищій ймовірності виявлення дефектів по відношенню до будь-якого з методів неруйнівного контролю

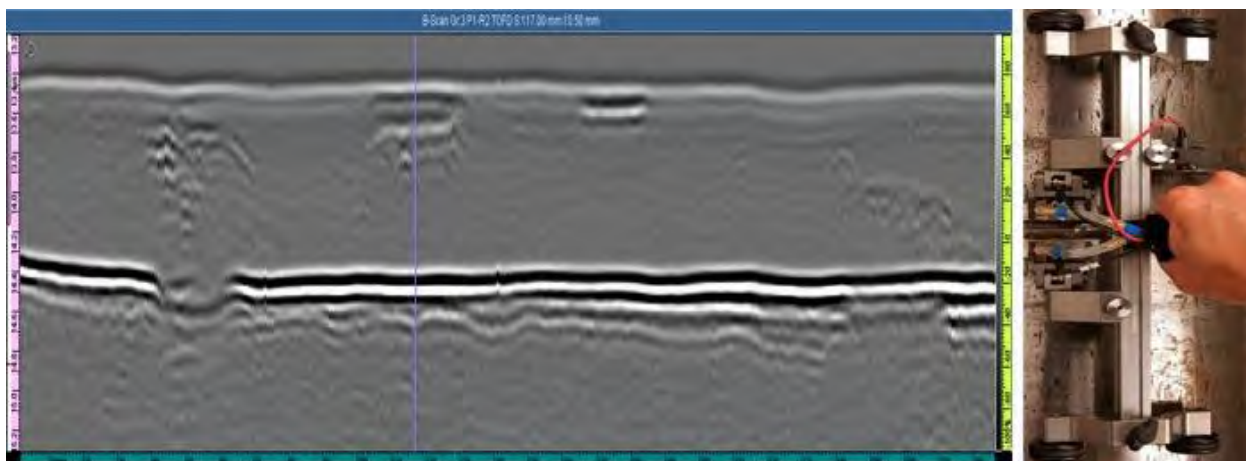


Рис. 1.12 – В-скан, що формується при скануванні

Комерційні міркування роблять швидкість проведення контролю одним важливих факторів. Переваги TOFD полягають в тому, що даний метод може забезпечити і виявлення та проведення вимірювань одних і тих же даних без проведення повторної настройки апаратури (калібрування), а також

проведення повторного сканування, що в значній мірі скорочує час				Арк.
ПК51.03.0000.000 ПЗ				22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

проведення контролю, а також вартість виконуваних робіт. Швидкість сканування 100-150 мм/с є звичайною швидкістю переміщення перетворювачів для ручного контролю вздовж зварного шва, а для автоматизованого контролю можуть бути використані ще більш високі швидкості. Необхідно пам'ятати, що така швидкість контролю стосується протяжних зварних з'єднань, що оглядаються за один прохід з допомогою блоку перетворювачів.

Велика величина вмісту контрольованого обсягу. Методом TOFD можливе проведення контролю зварних з'єднань більше 20 ÷ 30 мм без зниження швидкості і роздільної здатності. Весь обсяг металу шва і зони термічного впливу контролюється на високій швидкості контролю, яка навіть не може розглядатися для звичайних ультразвукових методів. Весь обсяг може бути проконтрольована відносно легко і швидко. Для більшості методів неруйнівного контролю охоплення всього обсягу шва підлягає контролю, а також роздільна здатність пов'язані зі швидкістю проведення контролю.

Метод TOFD забезпечує:

- а) охоплення великого обсягу контрольованого матеріалу широким пучком;
- б) проведення безперервного лінійного сканування з відносно високою швидкістю проведення контролю;
- в) обробку одержуваних даних при проведенні контролю практично в реальному масштабі часу.

Зберігання цифрових даних дозволяє розробляти методи, здатні полегшити проведення аналізу, пов'язаного, наприклад, з придушенням шумів, процесів розпізнавання образів дефектів, віднімання сигналу з його подальшим виділенням, а також багато іншої цифрової обробки сигналу.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

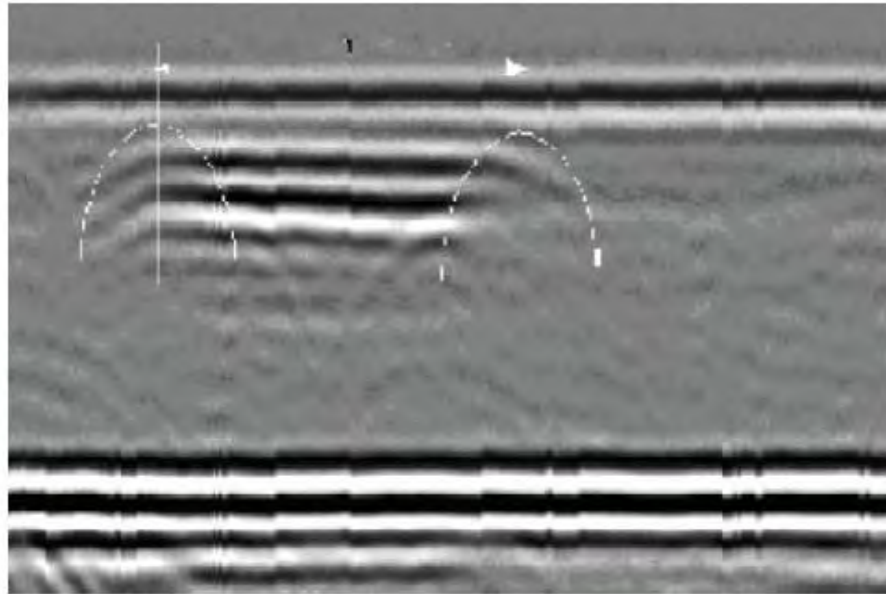


Рис. 1.13 – Результат контролю методом TOFD

Документування та зберігання результатів контролю у вигляді А-і В-сканів (D-сканів) з подальшою можливістю повторного їх аналізу (рис. 1.14). В даний час системи TOFD забезпечують збереження всіх відповідних параметрів на будь-якому цифровому накопичувачі. Данні можуть бути знайдені і повторно відтворені. Можна бути впевненим, що інформація про виявлений дефект може бути достовірно ідентифікована і придатна для проведення порівнянь при наступних періодичних контролях, що проводяться з метою виявлення змін, що відбуваються.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

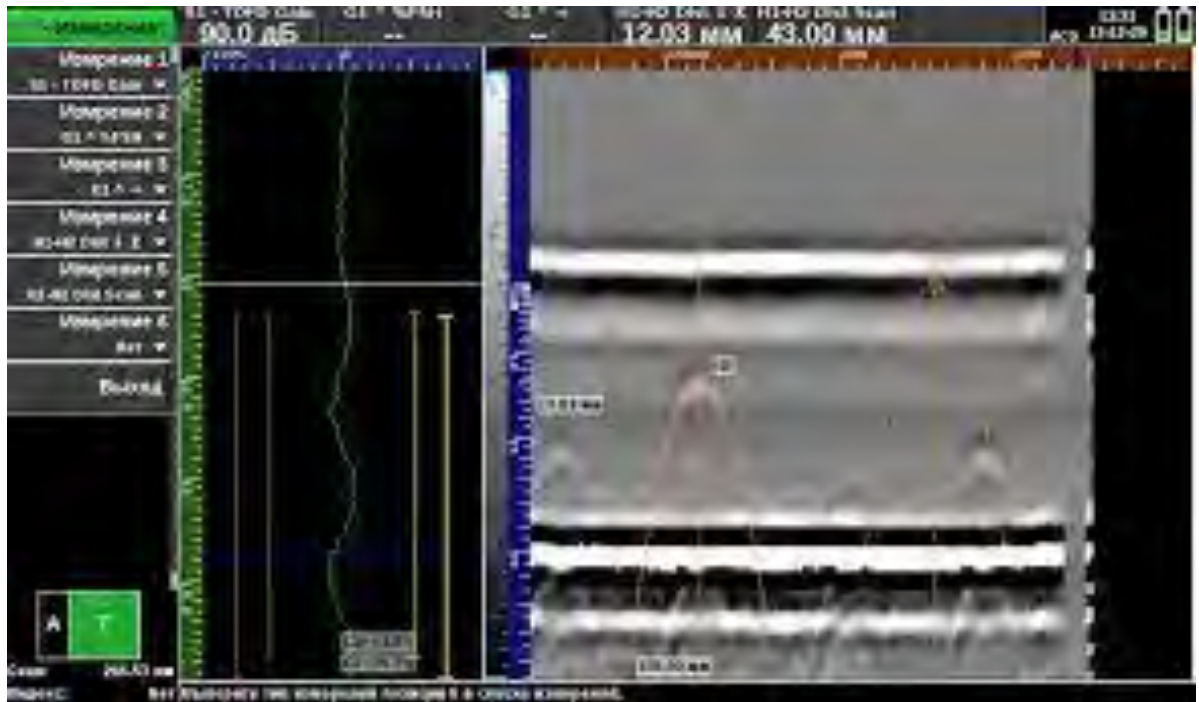


Рис. 1.14 – Аналіз отриманого скану

Практично повна ідентичність при відтворюваності результатів контролю. Сканування зварного з'єднання з використанням TOFD, виконане одним фахівцем, буде практично ідентично скануванню TOFD, виконаному іншим фахівцем з використанням подібних перетворювачів і настройки обладнання. Це робить TOFD ідеальним для відстеження за розвитком дефектів. Так як дані TOFD можуть бути зібрані і накопичені в комп'ютерному файлі для подальшого дослідження, то в цьому випадку є можливість знизити вимоги до фахівця, який проводить контроль.

Більшість налаштувань для проведення контролю можуть виконуватися фахівцем 2 або 3-го рівнів, а збір даних проводиться фахівцями 1-го та 2-го рівнів кваліфікації. Метод TOFD, особливо з використанням енкодера, забезпечує проведення вимірювань в реальних одиницях, наприклад, міліметрах, які є набагато більш корисними для інженерів, ніж вимірювання в децибелах або еквівалентних їм шкалах.

Можлива заміна радіографії (RT) на ультразвук (UT + PAUT + TOFD). Наприклад, відповідно до

ISO 15626: 2011 Нерозмірний контроль сварних з'єднань

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дифракційно-часовий метод (TOFD). Аналіз результатів контролю якості зварних швів, за даними TOFD і радіографії, показує, що метод TOFD забезпечує можливість проведення вимірювань глибини залягання дефекту, а також інформацію про висоту дефекту.

Поряд з перевагами TOFD методу властиві певні обмеження, наведені нижче.

Величина амплітуди луна-сигналу не використовується в методі TOFD для визначення величини дефекту. Характеристика дефектів для методу TOFD не настільки деталізована, як при використанні луно-імпульсних методів. Відсутня простий амплітудний поріг для того, щоб вибрати дефекти, які заслуговують на найбільшу увагу з метою їх реєстрації. Прийоми методів, заснованих на вимірі амплітуд, виявляються в більшості випадків непридатними при проведенні контролю методом TOFD.

Проте, у вступній частині стандарту ISO:16828:2012 вказується, що вимір амплітуд може використовуватися для вирішення трьох завдань:

а) коли імпульси від дефектів погано помітні на тлі локальних перешкод, наприклад структурних перешкод. Для того, щоб відрізнити імпульси від дефектів або провести більш точні вимірювання, може бути використано відоме значення або експериментально певне зміна амплітуди імпульсу як функції відстані, положення в ультразвуковому пучку і т. д.

б) коли відносні амплітуди луна-сигналів від верхнього і нижнього решт дефекту можуть дати важливу інформацію про характер дефекту.

в) коли амплітуди луна-сигналів від штучних дефектів потрібні для підтвердження, що настройка чутливості не змінилася при переході від контролю одного зварного з'єднання до іншого

Слабкі сигнали від дифрагованих хвиль.

Звичайно амплітуда дифрагованих сигналів при контролі TOFD на 20-30dB нижче, ніж сигнали, одержувані при контролі з дзеркальним відображенням при використанні луна-імпульсного методу. Тому в більшості випадків є тенденція виконання налаштувань поблизу максимальних

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливостей посилення апаратури. Електричні перешкоди типова проблема для багатьох систем TOFD. Для зниження цих завад за звичай використовують попередні, розташовані недалеко від перетворювачів або комбінації генератор / перед-підсилювач.

Наявність «мертвих зон» у поверхні введення і зворотного поверхні. Саме загально визнане обмеження TOFD пов'язано з втратою інформації через наявність мертвої зони. Особливо слід відзначити наявність такої зони у поверхні введення, а також подібна зона зустрічається у протилежній стінки при відображенні сигналу від зворотного стінки. Вважають, що метод TOFD дійсно страждає від наявності близько розташованого до поверхні введення такого ефекту, пов'язаного з поздовжньою під-поверхневою хвилею («lateral wave»). Але це не становить серйозної проблеми, якщо не потрібне проведення оцінки розмірів дефектів, що виходять на поверхню. При цьому підкреслюється, що дефекти, що виходять на поверхню або близько розташовані до поверхні, можна вважати критичними

А також є досить спірним той факт, чи зможуть поліпшити результати в «мертвій зоні» і забезпечити кращу роздільну здатність традиційні ультразвукові методи, засновані на відображенні ультразвуку від дефекту. Якщо такі дефекти представляють інтерес, то в цьому випадку пропонується поєднання методу TOFD і вихрових струмів ультразвукового контролю з використанням головних хвиль.

Якщо фахівець, який проводить контроль, не має досвіду, то в цьому випадку аналіз може викликати затруднення. Все отримані дані при контролі TOFD повинні бути візуально проаналізовані для того, щоб вибрати заслуговують найбільшої уваги з метою їх реєстрації

В даний час перевага віддається контролю плоских поверхонь або з невеликою кривизною поверхні, наприклад, більше 300 мм.

Чутливість до шуму від зерен металу в матеріалі контрольованого виробу (рис. 1.13).

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

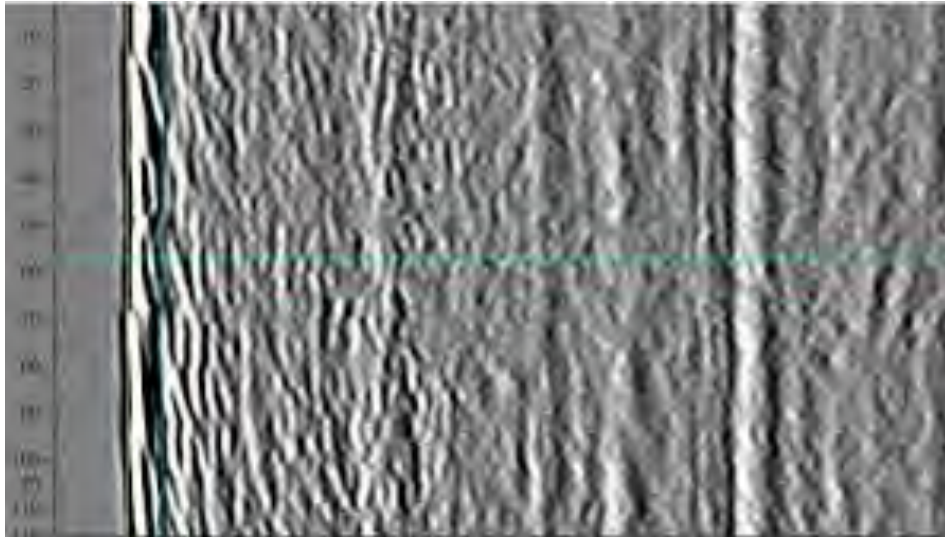


Рис. 1.15 – Неоднорідність ОК

В цьому випадку, якщо на розгортці TOFD буде видно велику кількість індикацій від дифрагованих сигналів, пов'язаних з неоднорідністю структури металу зварного шва зі сталі аустенітного класу, то це не означає погана якість зварного шва.

### 1.5 Огляд об'єкту контролю

Основним об'єктом контролю при застосуванні методу TOFD є зварні з'єднання.

Зварне з'єднання – нероз'ємне з'єднання, застосовується зварюванням і містить у собі зварений шов і зону термічного дії.

Зварний шов – місце зварного з'єднання трубопроводу, що вийшов шляхом кристалізації нагрітого металу або шляхом пластичної зміни при зварюванні тиском.

Зварювання - процес отримання нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між зварюються частинами при їх місцевому або загальному нагріванні, пластичній деформації або спільній дії того й іншого.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виділяють наступні типи зварних з'єднань: стикове, внапуск, кутове, таврове, торцеве. Вони позначаються першими буквами – С, Н, У, Т і Тр.

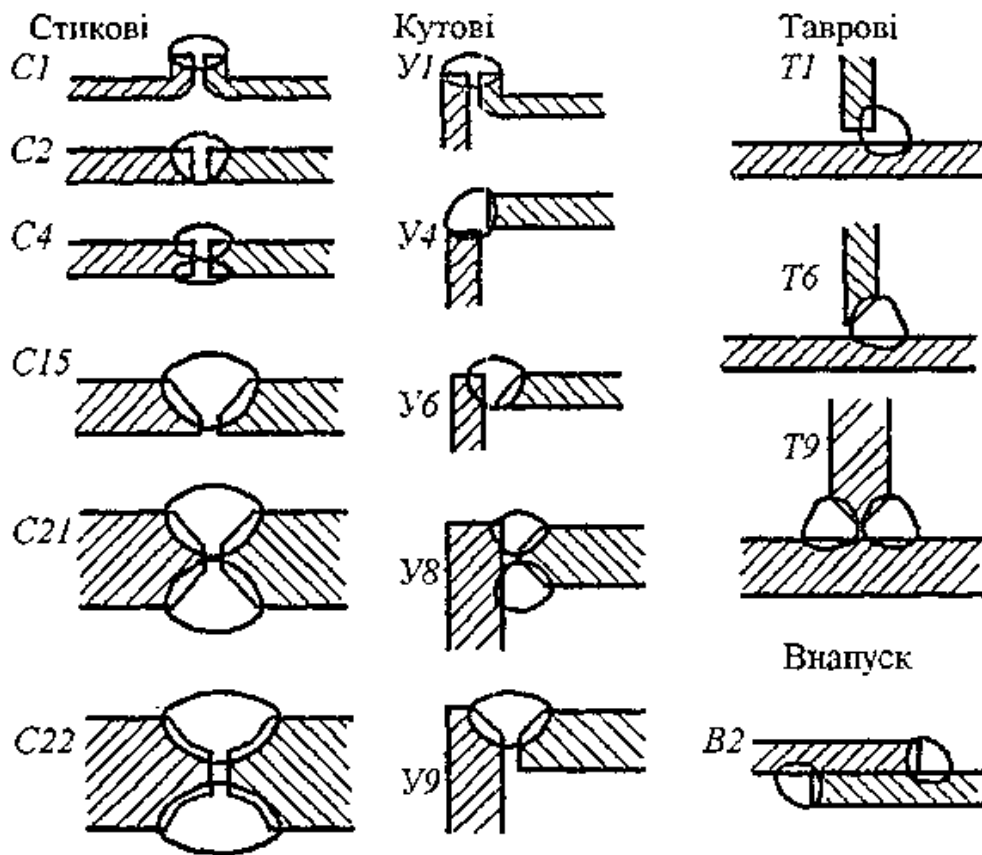


Рис. 1.16 – Типи зварних з'єднань

Розглянемо основні дефекти зварних з'єднань.

У загальному розумінні дефект – це будь-яке відхилення від вимог до продукції і встановленим нормативним вимогам підприємства.

Під дефектом зварного шва – одиничний дефект або скупчення дефектів, які не припустимі конструкторсько-технологічними нормативними вимогам.

Дефекти зварних з'єднань поділяються на групи:

- а) тріщини;
- б) пори;
- в) тверді включення;
- г) несплавлення і непровари;
- д) порушення форми шва;

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



е) інші дефекти, які не включені в перераховані вище групи.

Тріщина – вид дефекту, викликаний місцевим зміною шва, який здатний з'явитися шляхом охолодження або фізичним втручанням. При цьому вони діляться на такі види як: поздовжні, поперечні, мікротріщини, тріщина в кратері, радіальні, роздільні і розгалужені.

Усі наступні види несучільностей також діляться на підгрупи.

Газові включення – це включення довільної форми, що утворився шляхом утворення газу, що залишився в розплавленому металі, у якій немає кутів.

Газові пори – це газове включення в основному сферичної форми.

Тверде включення – це чужорідне речовина металевого чи неметалевого походження в металі зварного з'єднання. Дефект, що має один гострий кут, називаються гострокутними включенням.

Несплавлення – відсутність металу між звареним швом і крайками основного металу або між окремими валиками зварного шва.

Непровар – відсутність основного металу по всій ділянці кореня зварного шва або на окремій ділянці, що з'явилася шляхом відсутності можливості металу проникнути в корінь з'єднання.

TOFD метод контролю придатний лише для стикових з'єднань, листів металу або труб великого діаметру (більше 300 мм).

Для розробки приладу на базі TOFD методу за об'єкт контролю обираємо цистерн великого діаметру, та з товщиною стінки 20 мм.

Котел чотирьохвісної цистерни загального призначення є спеціальний резервуар звареної конструкції, основними частинами якого є: два штамповані днища і циліндрична частина (обичайка). Циліндрична частина котла складена з п'яти поздовжньо розташованих листів.

При зварюванні цих частин автоматизованим зварювальним апаратом можуть виникати такі дефекти як: несплавлення, міжшовний нерпровар, та тріщини.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. ПРОЕКТНО-РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Розрахунок первинного тракту

#### 2.1.1 Вибір робочої частоти

Для проведення ультразвукового контролю методом TOFD застосовують похилі п'єзоелектричні перетворювачі (далі – ПЕП). Похилі ПЕП зазвичай доступні в частотному діапазоні від 500 КГц до 10 МГц, однак контроль зварних з'єднань часто виконується при частоті 2-5 МГц. Низькі частоти забезпечують краще проникнення вздовж довгих УЗ-шляхів або в крупнозернистих металах, тоді як високі частоти забезпечують оптимальне дозвіл при виявленні дрібних дефектів. Якщо не обумовлено (стандартом), частота 4-5 МГц є найбільш придатною для початку контролю якості.

В нашому випадку ми контролюємо сварне стикове з'єднання з товщиною стінки 20мм ми підберемо частоту 5МГц.

#### 2.1.3 Розробка та розрахунок первинного перетворювача

Електроакустичні перетворювачі, також відомі як перетворювачі, перетворюють акустичну енергію в електричну енергію або навпаки. Вони складаються з активного п'єзоелемента, корпусу і електричних з'єднувачів.

Важливим параметром для передачі звукових хвиль є характеристичний акустичний імпеданс, також відомий як хвильовий опір. Це залежить від щільності середовища і швидкості звуку. Різниця між звуковими імпедансами двох середовищ визначає, наскільки добре звукові хвилі можуть бути передані з одного середовища в інше. Якщо ця різниця занадто велика, звук відбивається і передача неможлива.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електромеханічна поведінка п'єзоелектричного елемента, стимульованого до коливань, може бути представлена електричною еквівалентною схемою.

$C_0$  - ємність діелектрика. Послідовне з'єднання  $C_1$ ,  $L_1$  і  $R_1$  описує зміну таких механічних властивостей, як пружна деформація, ефективна маса відповідно інерції і механічні втрати в результаті внутрішнього тертя. Однак цей опис резонансного контуру застосовується лише до частот, що знаходяться поблизу власного резонансу механіки.

Більшість параметрів п'єзоелектричного матеріалу визначаються за допомогою вимірювань імпедансу на спеціальних тестових органах при резонансі.

Імпеданс  $Z$ , також відомий як очевидний опір, являє собою складний опір змінного струму, де реальна частина означає омичний опір і уявну частину для реактивного опору. Імпеданс описується довжиною комплексного вектора і фазовим кутом.

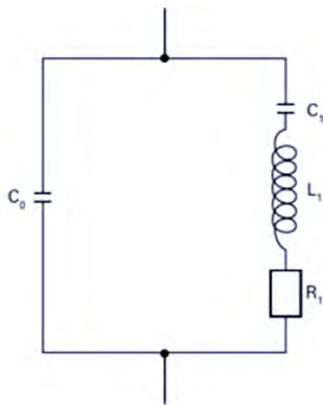


Рис 2.1 – еквівалентна схема п'єзоперетворювача

Для визначення значень п'єзоелектричних характеристик використовуються послідовні і паралельні резонанси. Вони відповідають в гарному наближенні до імпедансу мінімального  $f_m$  і максимуму  $f_p$ . Імпеданс вимірюється як стандарт під час перевірки якості п'єзокомпонентів і вузлів. Висновки можуть бути зроблені на основі форми і динаміки імпедансної кривої, наприклад, дефектів п'єзокомпонентів або якості адгезивних шарів.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оцінимо ефективність перетворювача і пропускну здатність. Деякі перетворювачі спеціально виготовлені, щоб бути більш ефективними передавачами, а інші - більш ефективними приймачами. Перетворювач, який добре працює в одному додатку, не завжди дасть бажані результати в іншому застосуванні. Наприклад, чутливість до малих дефектів пропорційна добутку ефективності перетворювача як передавача і приймача. Роздільна здатність, здатність локалізувати дефекти поблизу поверхні або в безпосередній близькості від матеріалу, вимагає сильно затухаючого перетворювача.

Важливо також розуміти поняття пропускну здатності або діапазон частот, пов'язаних з перетворювачем. Частота, зазначена на датчику, є центральною або центральною частотою і залежить в першу чергу від матеріалу підкладки. Високо затухаючі перетворювачі будуть реагувати на частоти вище і нижче центральної частоти. Широкий діапазон частот забезпечує перетворювач з високою роздільною здатністю.

Менш затухаючі перетворювачі будуть демонструвати більш вузький діапазон частот і більш низьку роздільну здатність, але більшу проникність. Центральна частота також визначатиме можливості перетворювача. Більш низькі частоти (0,5 МГц-2,25 МГц) забезпечують більшу енергію і проникнення в матеріал, в той час як високочастотні кристали (15,0 МГц-25,0 МГц) забезпечують зменшення проникнення, але більшу чутливість до невеликих розривів. Високочастотні перетворювачі, при використанні з належною апаратурою, можуть значно підвищити роздільну здатність і товщину. Широкодіапазонні перетворювачі з частотами до 150 МГц є комерційно доступними.

Датчики сконструйовані таким чином, щоб витримати деякі зловживання, але їх слід ретельно обробляти. Неправильне використання, наприклад, падіння, може призвести до розтріскування зносостійкої пластини, елемента або матеріалу підкладки. Пошкодження датчика часто відзначається на презентації А-сканування як збільшення початкового імпульсу.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практично завжди контроль похилим ПЕП здійснюється під стандартним кутом 45, 60 або 70 градусів, навіть при використанні, в деяких випадках, призми з нахилом 30 і 90 градусів (поверхнева хвиля).

Як правило, призми з великим кутом нахилу (60 і 70 градусів) використовуються у випадках, коли товщина металу менше 25 мм; менший кут призми (45 градусів) використовується в разі, якщо товщина металу більше 50 мм. В одному тесті можна використовувати два або три різних кути, в залежності від геометрії виробу і необхідного дозволу. Додаткову інформацію можна знайти в загальноновизнаних стандартах контролю.

Розрахуємо кут введення УЗ коливань в ОК.

Згідно вибраного (стандартного кута вводу 60°) в ОК виберемо кут вводу хвиль в призму

$$\frac{\sin \beta_1}{c_{11}} = \frac{\sin \alpha_1}{c_{12}} \Rightarrow \frac{\sin(60^\circ)}{5900} = \frac{\sin \beta_1}{2690} \Rightarrow \beta_1 = \arcsin\left(\frac{0.566 * 2690}{5900}\right) = 23.6^\circ$$

Знайдемо кут розхилу головної пелюстки:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{1.22 * \lambda_{ok}}{2a}\right) = \arcsin\left(\frac{1.22 * 1.18 * 10^{-3}}{2 * 2 * 10^{-3}}\right) = 21.09^\circ$$

Звідки:

$$2\theta = 42.18^\circ$$

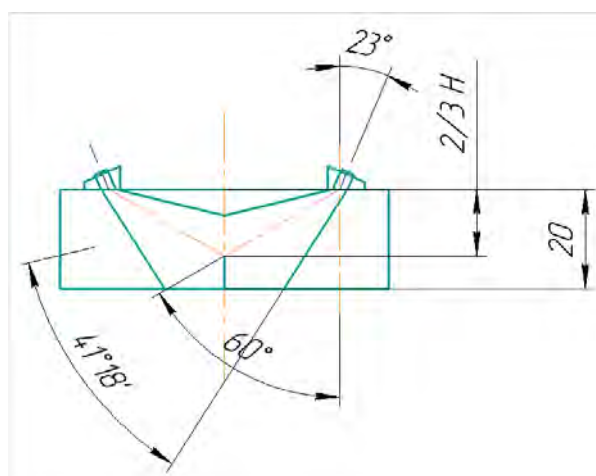


Рис. 2.2 – Кути заломлення та розхил головної пелюстки

										Арк.
										34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Кут призми повинен бути досить великий, щоб сигнал першого відрізка міг досягти кореня зварного шва з положення на поверхні виробу, не загороджений верхівкою зварного шва.

При контролі нашого ОК потрібно добитися щоб акустичні осі ПЕП пересікалися на 2/3 висоті ОК. Для забезпечення повного обхвату всієї товщини ОК (рис. 2.3).

Згідно стандартних норм вибрали кут рівним 60°.

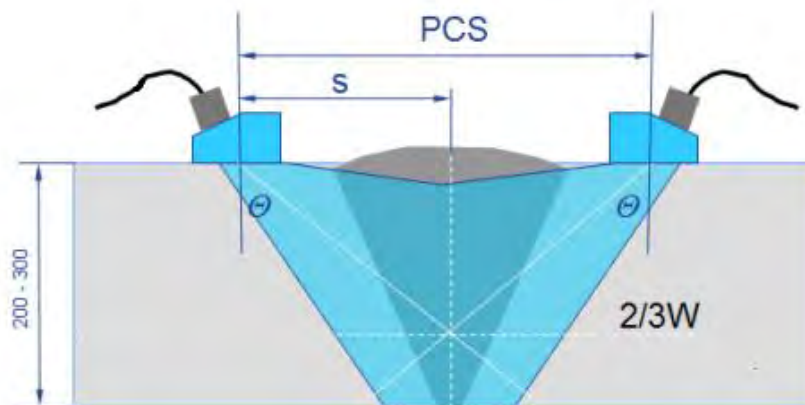


Рис. 2.3 – Вибір розташування ПЕП

Визначимо габарити п'єзоелектричного перетворювача та п'єзопластини.

Товщину п'єзопластини можна визначити за формулою:

$$h_{\text{ПЕП}} = \frac{c_{\text{пеп}}}{2f}$$

де  $c_{\text{пеп}}$  - швидкість ультразвуку у ПЕП;

$f$ - частота випромінювання.

Підставивши значення ми отримаємо:

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

Похилі перетворювачі і призми доступні в широкому діапазоні форм і розмірів, з круглими, квадратними і прямокутними елементами. У Північно-Американській промисловості віддають перевагу використанню круглих

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

елементів (за винятком випадків, регламентованих стандартом AWS), тоді як в Європі прийнято використовувати квадратні або прямокутні елементи.

Найбільш використовувані розміри елементів: круглі елементи діаметром 0,25; 0,5 і 1 дюйм; квадратні / прямокутні елементи 8x9 мм, 14x14 мм і 20x22 мм. Також доступні інші стандартні розміри елементів. Елементи маленького розміру забезпечують кращий дозвіл дрібних дефектів, а призми невеликого розміру краще підходять для контролю викривлених поверхонь.

Великі елементи забезпечують більше охоплення поверхні, а значить більш швидке сканування, і скорочують розсіювання променя на довгих УЗ-шляхах.

Контроль похилим променем При виборі оптимального перетворювача для конкретного додатка, оператор повинен враховувати всі перелічені фактори, спираючись на свої знання і досвід. По можливості, робочі характеристики ПЕП повинні бути перевірені на тестових зразках з опорними відбивачами або відомими дефектами.

Вибір готового ПЕП згідно наших розрахунків.

Для забезпечення широкого кута вводу нашого УЗ променя нам потрібно вибрати ПЕП з діаметром диску рівним 2мм. Для більше високої точності підібрали частоту 5 МГц та кут вводу 60°.

Серед існуючих на ринку УЗ перетворювачів можна порекомендувати C543-SM виробництва компанії The Olympus (рис. 2.4).

З параметрами: Частота -5 МГц , та діаметром кристалу 2мм.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.4 – П'єзоелектричний перетворювач C543-SM

### 2.1.3 Розрахунок еквівалентної схеми акустичного тракту

Розрахунок ближньої зони п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП):

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

де  $r$  - радіус ПЕП , який становить 2 мм;

$\lambda$  - довжина хвилі в ОК.

Довжина хвилі  $\lambda$ :

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

де  $c$  – швидкість ультразвуку в сталі;

$f$ - частота випромінювання.

Отримаємо:

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



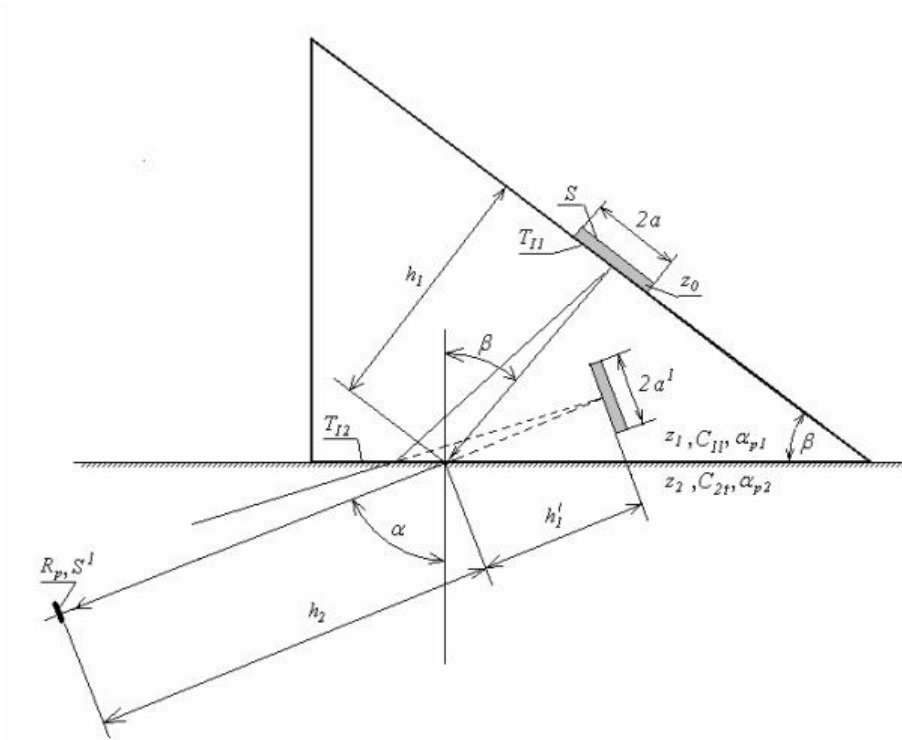


Рис. 2.5 – Схема акустичного тракту у разі похилого введення хвиль

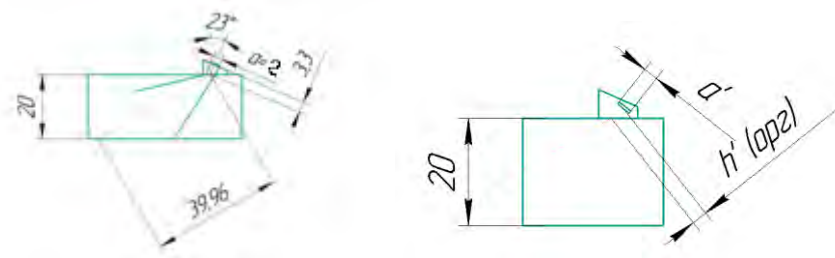


Рис. 2.6 – Перехід від реальної схеми до еквівалентної

Визначимо еквівалентний шлях в оргсклі:

$$h'_{\text{орг}} = h_{\text{орг}} \frac{c_{11} * \cos \alpha_1}{c_{12} * \cos \beta_1} = 3.3 * 10^{-3} * \frac{2690}{5900} * \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)} = 2.689 * 10^{-3} \text{ м}$$

Коефіцієнт акустичного тракту для такого похилого введення хвиль буде виглядати так:

$$K_{a.m.} = \frac{S \frac{\cos \alpha_1}{\cos \beta_1}}{\lambda^2 (h'_{opr} + h_{cm})^2} T_{I1} T_{I2} R_p R(\theta) e^{-2(h_{opr} \alpha_{p(opr)} + h_{cm} \alpha_{p(cm)})}$$

Розрахуємо коефіцієнт проходження по інтенсивності:

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

де  $z_1$  і  $z_2$  - це імпеданси кожного середовища ПЕП і матеріалу призми відповідно.

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

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

$$T_{I1} = \frac{4 * 2.458 * 10^7 * 3.174 * 10^6}{(2.458 * 10^7 + 3.174 * 10^6)^2} = 0.405$$

Виходячи з графіку залежності коефіцієнта проходження від кута падіння (рис. 2.7), приймаємо  $T_{I2}=0.18$ .

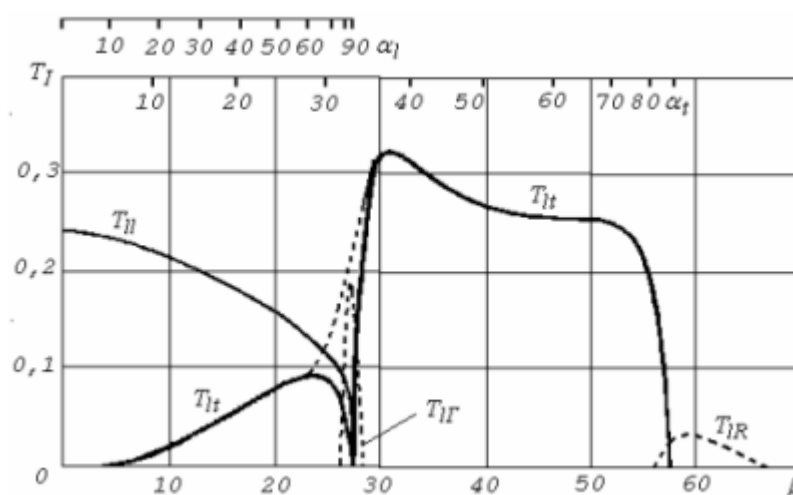


Рис. 2.7 – Графік залежності коефіцієнта проходження від кута падіння

Розрахуємо еквівалентну площу ПЕП:

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Оскільки хвиля повністю відіб'ється від плоскодонної поверхні коефіцієнт  $R_p=1$ .

Коефіцієнти  $a_p$  для сталі та оргскла є табличними значеннями і дорівнюють:

$$a_p \text{ сталі} = 10 \text{ Нп/м}$$

$$a_p \text{ оргскла} = 60 \text{ Нп/м}$$

на відповідній частоті 5 МГц.

Оскільки відбивач знаходиться в межах головної пелюстки приймаємо  $R(\theta)=0.5$ .

Знаючи ці коефіцієнти ми можемо розрахувати акустичний тракт до донної поверхні ОК.

$$K_{a.T} = \frac{9.18 * 10^{-6} * \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)}}{(1.18 * 10^{-3})^2 * (2.689 * 10^{-3} + 39.96 * 10^{-3})^2} * 0.405 * 0.25 * 0.5 * e^{-2(3.3 * 10^{-3} * 60 + 39.96 * 10^{-3} * 10)} = 1.386 * 10^{-3}$$

Розрахуємо коефіцієнти акустичних трактів для випадку дифракції ультразвукових хвиль від країв тріщини.

Оскільки довжина хвилі в ОК дорівнює:

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

то мінімальний діаметр дефекту який можливо виявити:

$$d_{\text{деф}} = 2 * 10^{-3} \text{ м}$$

дифрагований сигнал на краях тріщини буде рівним ;

$$d_{\text{тріщини}} = 0.1 * d_{\text{деф}}$$

Розрахуємо площу дефекту:

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

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо коефіцієнт акустичного тракту у випадку дифракції хвиль на краях тріщини:

$$K_{a.m.} = \frac{S_{\text{деф}} \cdot S \cdot \frac{\cos \alpha_l}{\cos \beta_l}}{\lambda^2 (h'_{\text{орг}} + h_{\text{см}})^2} T_{I1} T_{I2} e^{-2(h_{\text{орг}} \alpha_{p(\text{орг})} + h_{\text{см}} \alpha_{p(\text{см})})}$$

Будемо вважати що дефект знаходиться на відстані 30мм від перетворювача на акустичній осі;

Розрахуємо акустичний тракт для верху та низу тріщини.

$$K_{\text{а.т. диф верх}} = \frac{3.14 \cdot 10^{-6} \cdot 9.18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)}}{(1.18 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (2.689 \cdot 10^{-3} + 30 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0.405 \cdot 0.18 \cdot e^{-2(3.3 \cdot 10^{-3} \cdot 60 + 30 \cdot 10^{-3} \cdot 10)} = 5.216 \cdot 10^{-5}$$

Отже,

$$K_{\text{а.т. диф низ}} = \frac{3.14 \cdot 10^{-6} \cdot 9.18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\cos(60^\circ)}{\cos(23.6^\circ)}}{(1.18 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (2.689 \cdot 10^{-3} + 32 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0.405 \cdot 0.18 \cdot e^{-2(3.3 \cdot 10^{-3} \cdot 60 + 32 \cdot 10^{-3} \cdot 10)} = 4.121 \cdot 10^{-5}$$

Оскільки акустичного тракту для підповерхневих хвиль не існує, тому використаємо тракт для поверхневих хвиль (або хвиль Релея) .

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

Довжина  $L$  розраховується як:

										Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$L = L_2 + H_{\text{лекв}} = L_2 + H_1 \frac{C_{\text{П}}}{C_{\text{R}}} \sin \beta.$$

$$K_{\text{а.т Релея}} = 3.14 * \frac{2 * 10^{-3} * 1.5 * 10^{-3}}{(1.18 * 10^{-3})^2 * 63.3 * 10^{-3}} * \\ * 0.405 * 0.18 * e^{-2(3.3 * 10^{-3} * 60 + 60 * 10^{-3} * 10)} = 1.035 * 10^{-3}$$

## 2.2 Розробка структурної схеми приладу

Нижче приведена розроблена структурна схема приладу для ультразвукового контролю зварних з'єднань методом TOFD.

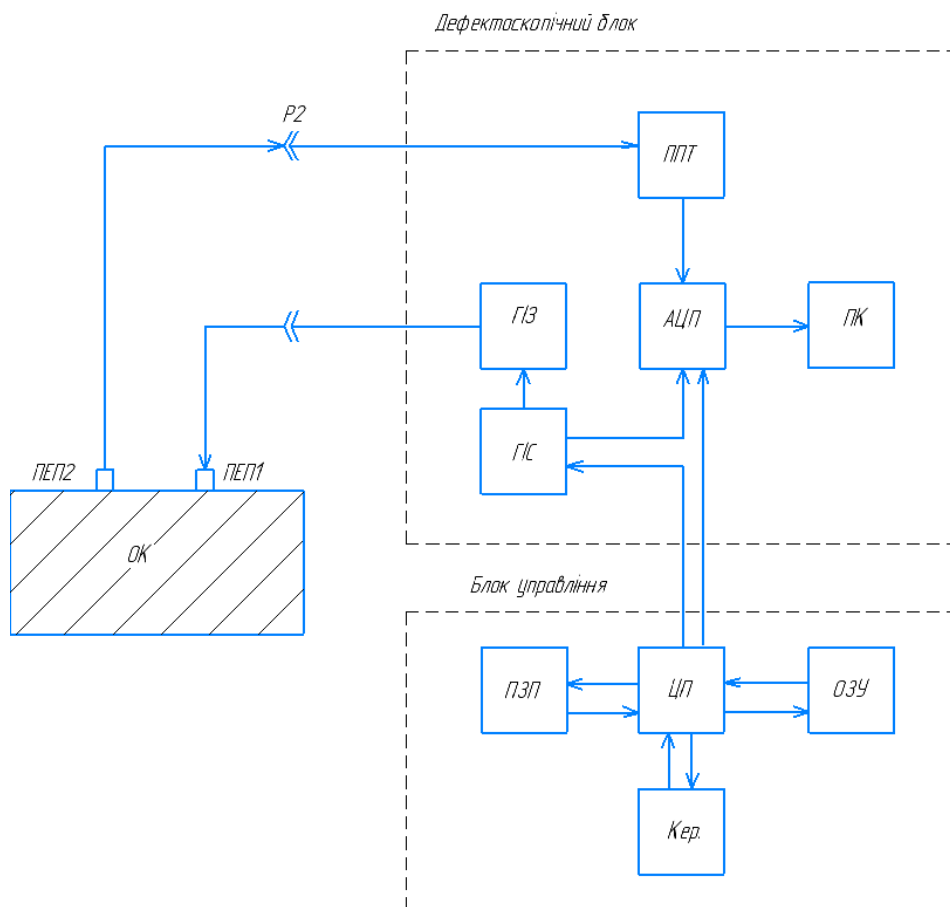


Рис. 2.8 – Структурна схема приладу

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Структурна схема дефектоскопа на базі TOFD методу представлена на (рис. 2.8). У дефектоскопа можна умовно виділити два основних блока: блок управління і пам'яті і власне дефектоскопічний блок.

Дефектоскоп працює наступним чином. За командою з пульта керування (Кер.) центральний процесор (ЦП) включає дефектоскоп. За сигналом центрального процесора проводиться самотестування дефектоскопа, після чого він встановлюється в початковий стан.

У різних типах приладів початковий стан зазвичай характеризується одним з двох режимів:

- а) робочий режим, який використовували перед останнім виключенням;
- б) початковий діалоговий режим, використовуючи який оператор встановлює необхідний робочий режим.

Генератор імпульсів синхронізації (ГІС) через певні проміжки часу виробляє електричні імпульси, які синхронізують в часі роботу різних блоків приладу.

Генератор імпульсів збудження (ГІЗ) виробляє короткий електричний імпульс, який через роз'єм Р1 подається на п'єзоелемент ПЕП1. Це означає, що ПЕП1 працює тільки в режимі випромінювання, а ПЕП2 - тільки в режимі прийому. Внаслідок зворотного п'єзоелектричного ефекту п'єзоелемент ПЕП1 перетворює електричний імпульс в пружне коливання, яке поширюється в об'єкті контролю (ОК), формуючи ультразвукову хвилю. Коливання, відбиті від протилежної поверхні ОК або від дефектів, повертаються до поверхні контролю. Внаслідок явища прямого п'єзоелектричного ефекту п'єзоелемент ПЕП2 перетворює пружне коливання в електричний імпульс, який через роз'єм Р2 поступає в приймально-підсилювальний тракт (ППТ).

Режим роботи, при якому до дефектоскопії підключені два п'єзоелемента, один з яких працює тільки в режимі випромінювання, а другий – тільки в режимі прийому називається роздільним

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі сигнал посилюється і перетворюється в приймально-підсилювальному тракті (ППТ), а потім подається на АЦП. АЦП перетворює аналоговий сигнал (в даному випадку - електричний імпульс, який пройшов приймально-підсилювальний тракт) в цифровий код. Закодований сигнал надходить на ПК, де уже піддається обробці та виводиться на екран в вигляді різних розгорток.

У постійно запам'ятовуючому пристрої (ПЗП) записані і зберігаються блоки базової настройки дефектоскопа. Користувачі дефектоскопів, як правило, не мають доступу до цих параметрів, отже, не мають можливості змінювати їх випадково або за власним бажанням.

В оперативному запам'ятовуючому пристрої (ОЗП) накопичується, обробляється, зберігається в цифровому вигляді і використовується поточна інформація про режими налаштування і параметри сигналів, що надходять.

### 2.3 Розробка функціональної схеми приладу

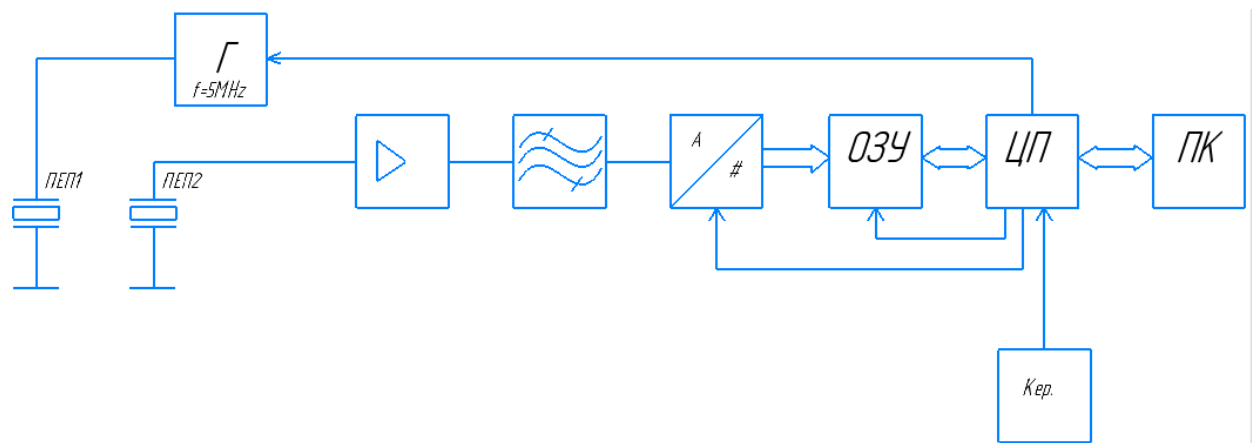


Рис. 2.9 – Функціональна схема приладу:

Г- генератор зондуючих імпульсів; Кер. - пристрій керування дефектоскопа;

ОЗУ - зовнішня пам'ять; ЦП - центральний процесор;

ПК - персональний комп'ютер;

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Процесор формує імпульс який подається на запуск генератора збудження який формує зондуєчий імпульс на ПЕП. В ОК перетворювач збуджує УЗ хвилю , в результаті інший перетворювач приймає хвилю що пройшла через ОК . Далі сигнал підсилюється та потрапляє на фільтр який відсікає зайві гармоніки сигналу та пропускає далі оброблений сигнал основної частоти . Сигнал потрапляє на АЦП , який перетворює його в цифровий код . Процесор первино обробляє код та відправляє на ПК для подальшої обробки та відображення інформації про стан ОК.

Розглянемо більш докладно роботу окремих блоків.

Генератор синхронізуючих імпульсів забезпечує узгодження в часі роботи блоків дефектоскопа, реалізуючи імпульсний режим випромінювання-прийому коливачь. Зокрема, він забезпечує одночасний (або затриманий на визначений часовий інтервал) запуск генератора імпульсів збудження і формування розгортки. При ручному контролі синхронізатор працює в режимі самозбудження, а при використанні дефектоскопа в багато-канальної апаратурі механізованого та автоматизованого контролю може перемикатися в режим зовнішнього запуску. Число імпульсів, що генеруються синхронізатором в одиницю часу (частота синхронізації), в різних модифікаціях дефектоскопів змінюється в межах 25 - 8000 Гц. Ця частота визначає частоту проходження зондувальних імпульсів, тобто акустичних імпульсів, що посилаються в об'єкт контролю.

Частотою проходження зондувальних імпульсів називається кількість імпульсів пружних коливачь, що вводяться дефектоскопом в об'єкт контролю в одиницю часу.

Частота проходження вибирається залежно від завдань контролю, затухання в об'єкті контролю, геометричних розмірів і форми об'єкта контролю.

У більшості дефектоскопів загального призначення частота проходження перемикається автоматично з перемиканням діапазону контролю. У деяких приладах передбачено регулювання частоти

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



проходження. З точки зору збільшення швидкості контролю на автоматизованих установках частоту бажано вибирати якомога більшою. При ручному контролі цей фактор не має значення, оскільки швидкість сканування обмежена іншими причинами.

Генератор імпульсів збудження виробляє високочастотні електричні імпульси, що збуджують ПЕП. Несуча частота імпульсів (частота високочастотних коливань, заповнюючих імпульс) підлаштовується індуктивністю, що монтується або в приладі, або в перетворювачі. Генеруються експоненціальні затухаючі або, більш раціональні енергетично, дзвоновидні імпульси. У деяких дефектоскопах передбачена можливість регулювання потужності генерується імпульсу. Це здійснюється шляхом зміни його амплітуди і тривалості.

Керуючий сигнал від синхронізатора надходить в генератор імпульсів збудження трохи пізніше, ніж починається розгортка зображення на моніторі для того, щоб зростання зондуючого імпульсу було видно на дисплеї вже кілька правіше початку нульової лінії.

В сучасних дефектоскопах використовують програмований генератор високочастотних імпульсів і високочастотний підсилювач, дозволяючи створювати імпульси різної частоти і форми (ударний, синусоїдальний, меандр і ін.)

Тривалість збуджується електричного імпульсу не перевищує одиниць мікросекунд. Амплітуду імпульсу можна регулювати шляхом через трансформацію змін напруги на генераторі або зміною навантажувального опору живлення на виході випромінювача. При цьому одночасно виявляється демпфування підключеного коливального контуру, що, в свою чергу, викликає зміна ширини імпульсу. Однак у багатьох випадках практичного контролю цей додатковий ефект не є недоліком: при роботі з імпульсами великої потужності найчастіше можна примиритися і з великою тривалістю імпульсу, так як в цих випадках мова піде про великих глибинах, а роздільна здатність буде мати другорядне значення. І, навпаки, для меншої глибини

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролю, особливо поблизу поверхні, можна використовувати ослаблений, але зате більш короткий імпульс. Амплітуда електричного імпульсу може досягати

400 - 500 В на 1 мм товщини п'єзоелемента з п'єзокераміки. Подальше збільшення напруги може привести до пробою і руйнування п'єзопластини.

Якщо кабель недостатньо добре узгоджений приладом і ПЕП, то частота буде залежати від його ємності. З цієї причини кабель не може мати будь яку довжину. Для отримання максимальної потужності від даного генератора збудження необхідно правильно узгодити і реактивний опір ПЕП. Для цієї мети в ПЕП вбудовують котушку індуктивності.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Технологія виготовлення первинних перетворювачів

Первинний перетворювач є одним з найважливіших компонентів будь-якої ультразвукової системи. Тому велика увага приділяється вибору перетворювача, точно відповідає умовам контролю. Експлуатаційні якості системи як цілого мають

величезне значення. Основний вплив на експлуатаційні якості системи надають характеристики і настройки вимірювального приладу, а також властивості матеріалу і умови контакту перетворювача з об'єктом контролю.

Основні акустичні параметри похилих перетворювачів - ширина діаграми спрямованості, роздільна здатність (по осі пучка), чутливістю визначаються їх конструкцією, а саме: розмірами і конфігурацією, кутом введення, акустичними константами призми і ступенем демпфірування перетворювач складається з таких елементів: п'єзопластини, демпфера, призми, протектора і корпусу. П'єзопластини - є основним елементом ПЕП. Для її виготовлення потрібні такі п'єзоелектричні матеріали: кварцу, цирконата-титанату свинцю (ЦТС), титанату барію і ін. Зазвичай довжина хвилі рівна половині товщині пластини УЗК в п'єзоматеріалів на робочій частоті. На протилежних поверхнях пластини розташовуються металеві (зазвичай срібні) електроди для додатка електричного поля. Від форми електродів залежать працюють ділянки п'єзопластин. Для уникнення пробою на краях пластини залишають не металізовану смужку. Для гасіння вільних коливань пластини служить демфер, тобто для отримання коротких УЗ-імпульсів, а також для попередження механічних пошкоджень п'єзопластин, особливо тонких. Матеріал демпфера і його форма повинні забезпечувати досить сильне загасання УЗК без багаторазових відображень. У деяких ПЕП (наприклад, похилих) демпфер часто відсутня. Призма виготовляється зазвичай із зносостійкого матеріалу з невеликою швидкістю ультразвуку

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(оргскло, полістирол, полікарбонат, деклон, капролон та ін.), Що дозволяє при відносно невеликих кутах падіння отримувати кути преломлення до  $90^\circ$ . Розмір призми залежить головним чином від розміру і форми п'єзопластини.

Геометричні розміри перетворювача та його складові:

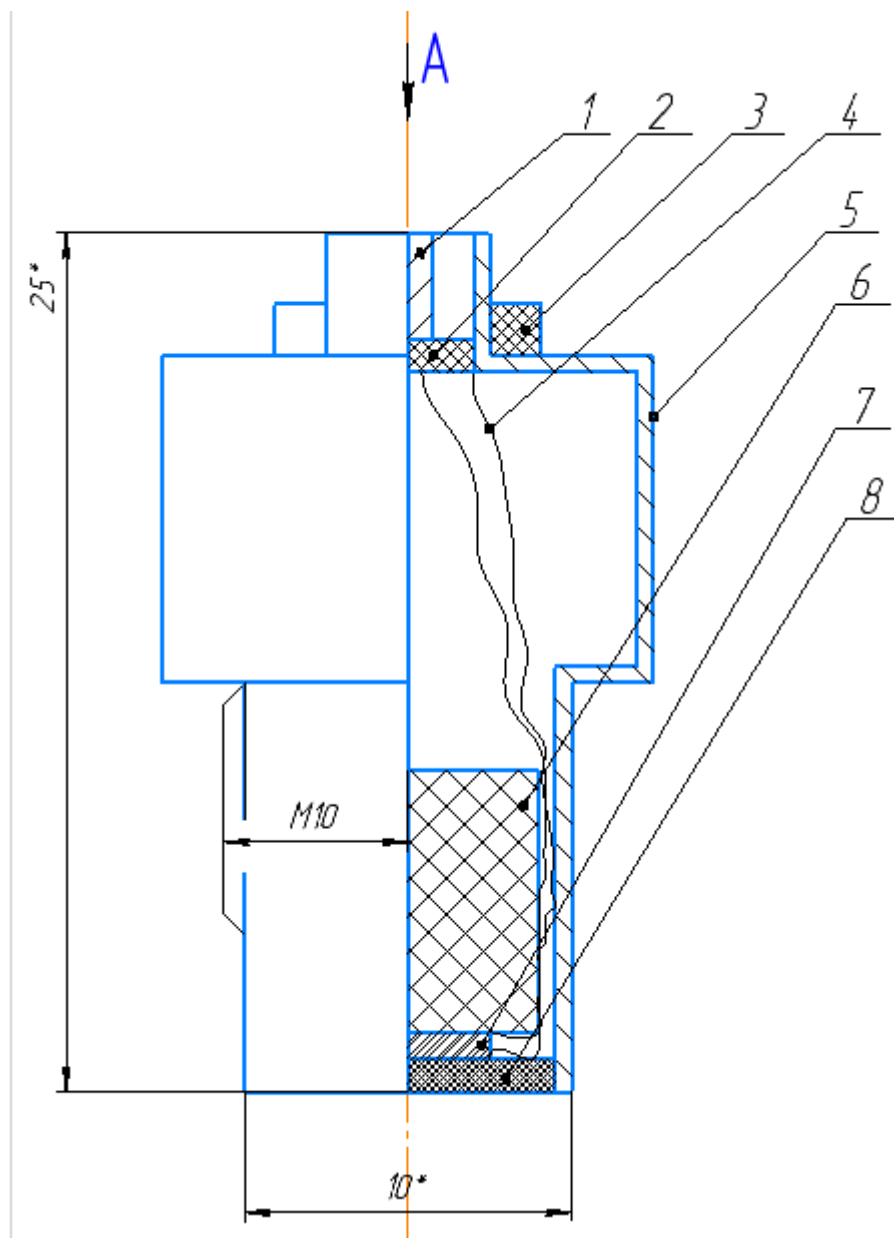


Рис - Геометричні розміри та структура перетворювача.

- 1- Роз'єм для підключення.
- 2-Гумова ізоляційна підкладка.
- 3-Гумова втулка для кращого зчеплення роз'ємів.
- 4-Дроти
- 5-Корпус
- 6-Демфер

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК51.03.0000.000 ПЗ

Арк.

49

7-Пластина

8-Протектор

При розробці і виготовленні перетворювачів розміри, форму і матеріал призми вибирають таким чином, щоб вони по можливості задовольняли наступним основним вимогам: забезпечували достатню гасіння УЗК, що виникають при відображенні хвиль на межі поділу призма - виріб, при цьому незначно послаблювали УЗК в самій призмі. Крім того, матеріал призми повинен володіти зносостійкістю і смачиваємостю, а в ряді випадків і термостабільністю. Протектор захищає п'єзоелемент від зношування і впливу контактної рідини, покращує акустичний контакт при контролі контактним способом. Для підвищення зносостійкості перетворювача до п'єзопластини приклеюють протектори товщиною 0,1 - 0,5 мм з кварцу, берилію, стали, смол з порошковим наповнювачем (наприклад, порошком з компаунда або берилію) і т. П. Протектори також виготовляють у вигляді змінних плівок з еластичних пластмас, наприклад з поліуретану. У цьому випадку між п'єзопластини і протектором вводять контактну рідину (масло). Корпус перетворювача забезпечує міцність конструкції, а також екранування п'єзоелемента і висновків від електронних перешкод (для цього корпус з пластмаси металізують).

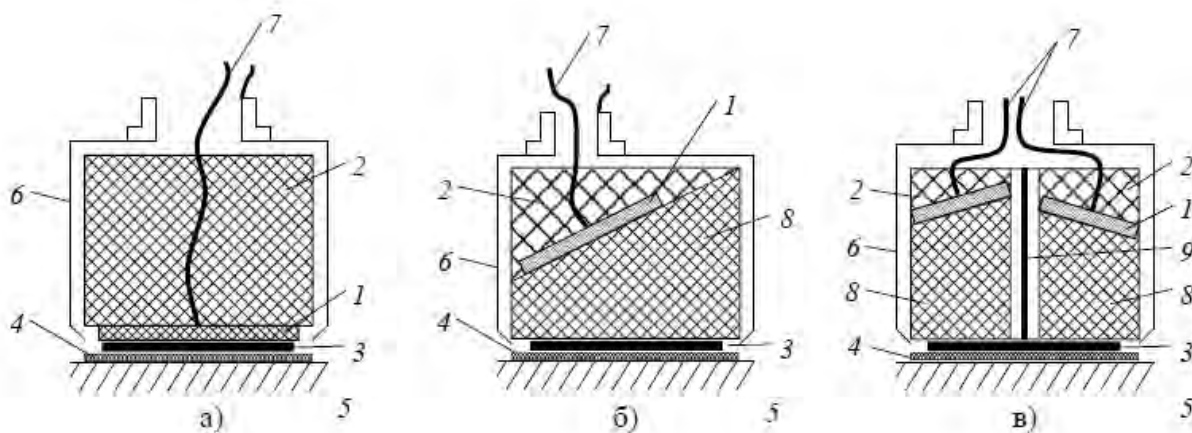


Рис. 3.1 – Типи конструкцій ультразвукових датчиків:

а) прямий; б) похилий; в) роздільно-суміщений

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

П'єзопластин 1 в контакті прямих комбінованих перетворювачів (Рис.17 а) приклеюється або притискається до демпфера 2, з одного боку, до протектора 3 на іншому. з електронним блоком дефектоскопа. Контактна рідина 4 забезпечує передачу пружних коливань ультразвукової частоти від перетворювача до ОК 5 і навпаки.

Прямі перетворювачі призначені для збудження поздовжніх хвиль. У контактних похилих комбінованих перетворювачах (рис. 17 б) для введення. Ультразвукові коливання під кутом до поверхні ОК застосовують призму 8. Ці перетворювачі призначені для збудження переважно зсувів (поперечних) і поверхневі хвилі. Конструкція контакту окремо-комбінованих перетворювачів (Рис. 17 в) містить дві призми 8 з п'єзопластинами 1, прикріпленими до них, які розділені електроакустичним екраном 9. Електроакустичний екран служить для запобігання прямої передачі сигналів від випромінюючої п'єзопластини, яка підключена до генератора, до приймаючої п'єзопластини, яка підключена до підсилювача електронного блоку дефектоскопа.

Щоб захистити пластину від механічних ушкоджень використовують протектор він також слугує для не прямого контакту пластини і контактної рідини. Для контактних ПЕП протектор повинен мати корозійну та ерозійну стійкість.

Для ослаблення вільних коливань та управління добротністю ПЕП застосовують демпфер. Демпфер повинен бути виготовлений з такого матеріалу який би достатньо добре поглинав хвилі та не повертав їх до перетворювача.

Конструкція ПЕП при TOFD методі відрізняється лише тим що мають роз'єм для підключення дротів , та мають різьбове з'єднання з призмою для того щоб, зношену призму можа було швидко замінити в експлуатації. Оскільки в основном для контролю не великих товщин TOFD методом (15-30мм) діаметр пластини не повинен перевищувати 2-4 мм. Томі і сам датчик

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

має досить маленькі розміри та виготовляється переважно з кольорових металів.



Рис. 3.2 – Приклад TOFD перетворювача.

Призми в TOFD методі мають свою специфіку, для проведення автоматичного контролю є спеціальні призми через які безперервно подається рідина на ОК.



Рис. 3.3 – Спеціальні призми для TOFD методу

При таких конструкція в основному використовують матеріал призми з металу, що відрізняється від звичного нам оргскла.

### 3.2 Розробка пристрою сканування

Для забезпечення утримування датчиків на певній довжині один від одного та стабільного забезпечення притискання до ОК було розроблено скануючий пристрій. Щоб проводити сканування TOFD методом потрібно певним чином утримувати та переміщувати перетворювачі по поверхні ОК. Даний пристрій може забезпечити гнучку базу розташування перетворювачів за рахунок їх рухомого закріплення. Для зручного переміщення

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворювача по заданій лінії контролю він обладнаний чотирма колесами з гумовими накладками для кращого зчеплення з ОК.

Для зручного тримання в нього є ручка яка може закріплюватися під будь-яким кутом для забезпечення комфортного сканування. Для забезпечення акустичного контакту перетворювачі потрібно попередньо змастити акустично прозорою рідиною (гліцерин, масло і тд.). Також потрібно змастити поверхню ОК по якій будуть пересуватися ці датчики. Досить зручно виконувати заміну призми чи ПЕП при експлуатації. Пристрій зроблено з легкого алюмінію тому він має досить малу вагу. Колісну базу та розміщення датчиків можна регулювати за допомогою притискних гвинтів які міцно закріплюють датчики в будь-якому положенні. На дану основу можна закріпити енкодер для того щоб, ми могли проводити сканування вздовж всього шва та знати точну відстань від початку сканування до дефекту чи кінця ОК.

За рахунок використання якісних матеріалів пристрій можна використовувати і корозійно-агресивних середовищах та в температурному діапазоні (  $-20^{\circ}$   $+180^{\circ}$  )С, (якщо використовувати призми та датчики які можуть тримати такі температури).

### 3.3 Методика проведення контролю

Перед тим як проводити контроль нам потрібно перевірити всі налаштування в нашому дефектоскопі. Дефектоскоп заздалегідь повинен бути відкалібрований на спеціальних зразках.

Потім ми беремо наш скануючий пристрій ставимо на ОК, перевіряємо контакт датчиків з дефектоскопом.

Слід викрутити наш датчик з призми та залити рідини для забезпечення акустичного контакту датчик-призма. Сканування повинно проходити на заздалегідь підготованій поверхні, зачищеній від корозій на зернистості поверхні. Слід змастити поверхню ОК по якій будуть переміщуватися

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



датчики, та проводити контроль плавним, не різким, переміщенням скануючого пристрою по всій зоні контролю.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі було розроблено прилад для контролю зварних стикових з'єднань цистерн великого діаметру (більше 300мм) або листів металу на базі методу TOFD. В наш час все більше стає актуальним проведення УЗ контролю в таких галузях як авіа-будівництво, залізниця, хімічна промисловість, реактори АЕС і т.д. Тому на перший план виходять вимоги до якості та швидкості контролю. Дифракційно-часовий метод якраз об'єднує в собі швидкість проведення контролю та високу вірогідність виявлення дефекту.

Даний метод має ряд як переваг так і недоліків, до яких відносяться такі як: Метод заснований на дифракції, тому кут скоса зварного шва і орієнтація дефекту не має особливого значення.

Використовує час надходження сигналу від вершини тріщини для точного позиціонування і виміру дефекту; можливість точного визначення розмірів дефектів; швидка настройка і виконання контролю за рахунок широкого охоплення сканування одним променем; експрес-сканування з побудовою зображень і протоколами; може використовуватися для корозійного моніторингу; перелік необхідного обладнання сумарно менш витратний, в порівнянні з обладнанням на фазованих решітках, завдяки класичній конфігурації (один генератор і приймач), і використання традиційних перетворювачів; висока чутливість до всіх типів дефектів зварних швів.

Дифракційно-часовий метод (TOFD) використовується для експрес-контролю якості зварних з'єднань з метою виявлення і вимірювання розмірів дефектів. Метод дифракції надає можливість точного вимірювання розмірів дефектів незалежно від кута скосу зварного шва або орієнтації дефекту.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

TOFD може використовуватися самостійно або в комбінації з іншими методами НК.

Дифракційно-часовий метод TOFD застосовується, як правило, для матеріалів з відносно низькими рівнями загасання і розсіювання ультразвукових хвиль. У більшості випадків метод можна застосовувати для нелегованих і низьколегованих вуглецевих сталей і зварних з'єднань, але також можливо його застосування для дрібнозернистих аустенітних сталей і алюмінію. Грубозернисті матеріали і матеріали зі значною анізотропією, такі як чавун, аустенітні зварні матеріали і сплави з високим вмістом нікелю, вимагають додаткової валідації і додаткової обробки інформації.

Для цього методу було розроблено функціональну схему приладу, розроблено сам скануючий пристрій на якому розміщуються, та за допомогою якого переміщуються перетворювачі по ОК.

Було розраховано всі основні вузли приладу, та розраховано акустичні тракти для донного сигналу та сигналу від країв дифракції дефекту. Розраховано та підібрано оптимальний кут вводу в ОК та оптимальна частота для рішення нашої задачі, розроблено ПЕП згідно розрахунків.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Baby S., Balasubramanian T., Pardikar R. J. et al. Time-of-flight diffraction (TOFD) technique for accurate sizing of surface-breaking cracks. - Insight. , 2003. V. 45. No. 6. P. 426-430.5
2. Baby S., Balasubramanian T., Pardikar R. J. et b al. Time-of-flight diffraction (TOFD) technique for ac- I curate sizing of cracks embedded in sub-cladding. I - Ibid. No. 9. P. 600-604.
3. Baskaran G. Studies on Ultrasonic Time of Flight Diffraction Imaging of Defects in Thin Sections / Ph. D. Thesis. - Indian Inst. of Madras, May 2005. |
4. Johnston C., Cooper M. A., Martin R. J. An approach to power station boiler and turbine life management. - Insight. 2004. V. 46. No. 10. P. 606609.
5. Stubbs T. The role of NDE in the life manage- S ment of Steam Turbine Rotor. - Swindon (England): ^ RWE Innogy, 2004. i
6. Charlesworth J. P., Temple J. A. G. Engineering Applications of Ultrasonic Time of Flight Diffraction. Second Edition. - England: Research Studies Press Ltd., 2001.
7. Ogilvy J. A., Temple J. A. G. Diffraction of Elastic Waves by cracks: Application to Time of Flight Inspection. - Ultrasonics. 1983. V. 7. P. 259-269.
8. Guide to Calibration and setting-up of the Ultrasonic Time of Flight Diffraction (TOFD) technique for the detection, location and sizing of flaws / British Standard, BS 7706, 1993.
9. Non-destructive testing-Ultrasonic examina-tion-Part 6: Time of flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities / European Prestandard. ENV 583-6. January 2000.
10. Baskaran G., Balasubramaniam K., Laksh-mana Rao C. Development of an Advanced Ultrasonic TOFD System. - J. of Non-Destructive Testing and Evaluation. 2004. V. 3. No. 1. P. 24-32.

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						56

11. Галаган Р.М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю.- Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2019.
12. Ермолов И. Н. Дифракционно-временной метод контроля. - В мире НК. 2001. № 2(12). С. 7-11.
13. Цапенко В. К Основы ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.
14. Шрайбер Д. С. Ультразвуковая дефектоскопия М.: Metallurgiya. — 1965. — Т. 392. — С. 29.
15. Гурвич А. К., Ермолов И. Н. Ультразвуковая дефектоскопия сварных швов — Киев: Техника, 1972, 460 с
16. Выборнов Б. И. Ультразвуковая дефектоскопия — М.: Metallurgiya, 1985.
17. Щербинский В. Г., Пафос С. К., Гурвич А. К. Ультразвуковая дефектоскопия: вчера, сегодня, завтра //В мире неразрушающего контроля. — 2002. — №. 4. — С. 18
18. Ермолов И. Н. Достижения в теоретических вопросах ультразвуковой дефектоскопии, задачи и перспективы //Дефектоскопия. — 2004. — №. 10. — С. 13-48.
19. Кретов Е. Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. — Изд.3-е, перераб.и доп. -Санкт-Петербург: СВЕН, 2011, 312с., Марков А. А., Шпагин Д. А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов, — Изд. 2-е, исправл. и доп. — СПб.: Образование — Культура, 2013, 283с

					ПК51.03.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

**Додаток**

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломну роботу	2	
2	A4	ДП ПК51.03.0000. ПЗ	Пояснювальна записка	57	
3	A1	ДП ПК51.03.000.100 СК	Складальний кресленик. Скануючий пристрій	1	
4	A2	ДП ПК51.03.000.101 СК	Складальний кресленик. П'єзоелектричний перетворювач	1	
5	A4	ДП ПК51.03.000.102 ТК	Деталювання. Шпилька	1	
6	A4	ДП ПК51.03.000.103 ТК	Деталювання. Колесо	1	
7	A2	ДП ПК51.03.000.104 ТК	Схема функціональна	1	
8	A2	ДП ПК51.03.000.105 ТК	Схема структурна	1	
9	A3	ДП ПК51.03.000.106 ТК	Закріплення перетворювачів	1	
				ПК 51.08.000.00	
		ПІБ	Підп.	Дата	
<b>Розробн.</b>		Кісіль О.В			Лист
<b>Керівн.</b>		Лашко О.В			Листів
					1
					1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-51



Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ПК51.010000.100 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
		1		Трибчатий тримач	1	
		2		Закріплення коліс	2	
		4		Тримач призми	2	
A2		5	ПК51.030000.101	Перетворювач	2	
		6		Призма	2	
		7		Закріплення <u>двобочів</u>	2	
		8		Ручка	1	
		9		Гумава накладка ручки	1	
		10		Гумава накладка коліс	4	
A4		11	ПК51.030000.10	Колесо	4	
		12		Втулка	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		3		Гвинт М2 ГОСТ 9150-2002	5	
A4		13		Шпилька М3 ГОСТ 5527-70	4	
		14		Гайка кругла М3 ГОСТ 5915-70	8	
				<b>ПК51.030000.100 СК</b>		
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Кісіль О.В.			Літ.	Аркуш
Перев.						1
Н.контр.						1
Затв.		Лашко О.В.				
					Ультразвуковий прилад для контролю зварних з'єднань на основі TOFD методу	
					Складальне креслення Специфікація	



