

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології на
системи неруйнівного контролю та діагностики»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Портативний ультразвуковий дефектоскоп»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-61
Герасимчук Михайло Васильович _____

Керівник:

К.т.н., доцент
Петрик Валентин Федорович _____

Консультант з графічного розділу:

Старший викладач, к.т.н.
Богдан Галина Анатоліївна _____

Консультант з розробки електричної системи:

Доцент, к.т.н.,
Баженов Віктор Григорович _____

Рецензент:

К.т.н., доцент
Мокійчук Валентин Михайлович _____

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

Студент _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ПК61. 04.00 ПЗ	Пояснювальна записка	69	
3	A2	ДП ПК61. 01.00 ТК	Складальне креслення П'єзоперетворювач	1	
4	A3	ДП ПК61. 02.00 ТК	Деталювання. Корпус	1	
5	A3	ДП ПК61. 03.00 ТК	Деталювання. Кришка	1	
6	A1	ДП ПК61. 04.00 ТК	Схема електрична принципова	1	
7	A2	ДП ПК61. 05.00 ТК	Схема електрична структурна	1	
8	A2	ДП ПК61. 06.00 ТК	Схема електрична функціональна	1	

				ДП ПК61 04.000.00		
		ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Герасимчук М.В.				Лист	Листів
Керівн.	Петрик В.Ф.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-61	
Н/контр.	Лашко О.В.					
Зав.каф.	Протасов А.Г.					
Відомість дипломного проекту						

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Портативний ультразвуковий
дефектоскоп»

Київ – 2020 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність –151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані Технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Герасимчуку Михайлу Васильовичу

1. Тема проєкту «Портативний ультразвуковий дефектоскоп», керівник проєкту Петрик Валентин Федорович, доцент, затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1180-с

2. Термін подання студентом проєкту:

3. Вихідні дані до проєкту: Мобільний ультразвуковий дефектоскоп повинен дозволити проводити контроль листового металу на наявність дефектів типу тріщини, розшарування. Розробити акустичний датчик . Забезпечити можливість проведення контролю в особливих умовах, при обмеженому доступі до ОК. Отриманий сигнал передавати на цифрову частину дефектоскопа за допомогою безпроводного каналу передачі даних для подальшої обробки та представлення інформації в зручній формі користувачу

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Розрахунково – теоретична частина

3. Конструкторська-технологічна частина

4. Розробка принципової схеми

5. Вірогідність контролю

Висновок

Список літератури

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

1 – Схема електрична принципова

2 – Схема електрична функціональна

3 – Схема електрична структурна

4 – П'єзо перетворювач складальне креслення

5 – Корпус

6 – Кришка

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічний	Богдан Г.А.		
Електричний	Баженов В.Г.		

7. Дата видачі завдання 11.03.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Формулювання завдання проєкту	10.03.2020	
2	Проведення аналітичного огляду	08.04.2020	
3	Розрахунок компонентів	30.04.2020	
4	Оформлення пояснювальної записки	28.05.2020	
5	Розробка креслеників	05.06.2020	

Студент

Михайло ГЕРАСИМЧУК

Керівник

Валентин ПЕТРИК

Анотація

На дипломний проєкт студента четвертого курсу, групи ПК-61 приладобудівного факультету Герасимчук Михайла з теми: “Портативний ультразвуковий дефектоскоп”.

Метою цього дипломного проєкту була розробка портативного мобільного дефектоскопу, який можна легко адаптувати на нові об’єкти контролю та різні класи задач.

У першому розділі представлено аналітичний огляд, в якому описано: ультразвукові коливання, способи ультразвукової дефектоскопії, приведена теоретична інформація про ультразвукові перетворювачі.

У другому розділі, він же розрахунково-теоретичний, було вибрано й розраховано п’єзоелектричний перетворювач, що найліпше виконує поставлені задачі. В результаті, визначено габаритні розміри складових частин п’єзо-перетворювача. Також описано портативність на технології бездротової передачі даних.

У конструкторсько-технологічному розділі спроектовано конструкцію п’єзо-датчика, створено його кресленик за розрахованими раніше габаритними розмірами елементів пристрою.

Приведено функціональну схему приладу, розроблену на базі існуючих аналогів дефектоскопу. Зроблено розрахунок ключових вузлів в електричній схемі й спроектована схема електрична принципова.

Розроблений портативний ультразвуковий дефектоскоп задовольняє всі поставлені вимоги.

Annotation

On the diploma project of the student of the fourth-year, group PK-61 of the Faculty of Instrument-Making Herasymchuk Mykhailo on the topic: "Portable ultrasonic flaw detector".

The aim of this bachelor's project was to develop a portable mobile flaw detector that can be easily adapted to new controls and different classes of tasks.

The first section presents an analytical review, which describes: ultrasonic vibrations, methods of ultrasonic flaw detection, provides theoretical information about ultrasonic transducers.

In the second section, which is also computational-theoretical, the piezoelectric transducer that best performs the tasks was selected and calculated. As a result, the overall dimensions of the components of the piezoelectric transducer are determined. Portability to wireless data technology is also described.

In the design and technological section, the design of the piezo sensor is designed, its drawing is created according to the previously calculated overall dimensions of the device elements.

The functional scheme of the device developed on the basis of existing analogues of a defectoscope is resulted. The calculation of key nodes in the electric circuit is made and the electric basic scheme is designed.

The developed portable ultrasonic flaw detector satisfies all set requirements.

Зміст

Вступ_____	8
1. Аналітичний огляд_____	10
1.1. Теоретичні відомості про ультразвукові коливання_____	10
1.2. Принцип роботи_____	11
1.3. Методи ультразвукової дефектоскопії_____	12
1.4. Збудження і прийом ультразвуку_____	14
1.5. Методи проходження_____	14
1.5.1. Лунометод або луноімпульсний метод_____	16
1.5.2. Дзеркальний або лунодзеркальний метод_____	16
1.5.3. Дифракційно-часовий метод_____	17
1.5.4. Ревербаційний метод_____	17
1.5.5. Когерентний метод_____	19
1.5.6. Тіньовий_____	19
1.5.7. Дзеркально-тіньовий_____	20
1.5.8. Ухо-наскрізний_____	20
1.5.9. Ревербаційно-наскрізний_____	21
1.5.10. Велосиметричний_____	21
1.6. Загальні відомості про ультразвукові датчики_____	22
1.7. Параметри зондуючого імпульсу_____	24
1.8. Частота проходження зондувальних імпульсів (ЗІ)_____	26
1.9. Параметри розгортки дефектоскопів_____	27
1.10. Параметри приймального тракту дефектоскопів_____	30
1.11. Динамічний діапазон посилення, регулювання посилення_____	31
1.12. Тимчасове регулювання чутливістю (ТРЧ)_____	32

					ПК61.040000.000			
Зм	Лис	№ докум.	Підпис	Да	Портативний ультразвуковий дефектоскоп	Лім.	Арк.	Акрушів
<i>Розроб.</i>	<i>Герасимчук</i>						6	69
<i>Перевір.</i>	<i>Петрик</i>					НТУУ «КПІ»,		
<i>Реценз.</i>								
Н.	<i>Петрик В.Ф.</i>							

1.13. Форма відображення відлуння імпульсів на екрані дефектоскопів _____	33
2. Розрахунково-теоретична частина _____	36
2.1. Обґрунтування вибору перетворювача _____	36
2.2. Вибір робочої частоти датчика _____	37
2.3. Розрахунок п'єзоелемента _____	38
2.4. Розрахунок товщини просвітлюючого шару _____	40
2.5. Розрахунок електроакустичного тракту _____	41
2.6. Портативність дефектоскопу _____	45
2.7. Огляд технологій бездротової передачі даних _____	46
2.7.1. Технологія бездротової передачі даних WI-FI _____	46
2.7.2. Бездротова технологія BLUETOOTH _____	47
2.7.3. Технологія GSM _____	48
2.7.4. Обґрунтування вибору Bluetooth технології _____	48
3. Конструкторсько-технологічна частина _____	49
3.1. Розробка конструкції п'єзодатчика _____	49
3.2. Опис функціональної схеми _____	50
4. Розробка принципової схеми _____	51
4.1. Розрахунок ударного збудження _____	51
4.2. Розрахунок підсилювача _____	54
4.3. Підбір АЦП _____	55
4.4. Підбір мікроконтролера _____	56
4.5. Опис роботи розробленої електричної принципової схеми _____	58
5. Вірогідність контролю _____	60
5.1. Похибка зумовлена квантуванням АЦП _____	60
5.2. Похибка операційних підсилювачів _____	61
5.3. Оцінка вірогідності контролю _____	61
Висновки _____	62
Список літератури _____	64

ВСТУП

Стрімкий процес розвитку людства ставить перед українською промисловістю та промисловістю усіх держав світу постійно нові завдання. Їх вирішення можливо лише з застосуванням сучасних розробок в галузі науки та техніки. З кожним днем збільшуються вимоги у використанні сучасних приладів, які будуть задовольняти вимоги користувачів, які зможуть бути конкурентоспроможними на світовому ринку за економічними та технічними показниками. Поки що наша країна знаходиться на стадії, коли впровадження технічних міркувань у всі сфери життєдіяльності буде відігравати суттєву позицію для спільноти, набуття наукових здібностей, крім того і на економічний стан держави. Розробляти сучасні ідеї та запровадити їх у життя – головне зобов'язання кожного інженера.

Зараз доволі актуально постає питання про розробку сучасних цифрових пристроїв. Порівнюючи з іншими вони включають дуже велику кількість переваг, до яких можна віднести:

- 1) висока роздільна здатність і як наслідок – підвищення точності вимірів
- 2) зручність відліку та реєстрації вимірів
- 3) простота збереження, обробки та передачі інформації
- 4) висока стійкість по відношенню до механічних та кліматичних факторів
- 5) можливість впровадження останніх доробок в сфері електроніки для побудови апаратури, що дасть можливість зменшити габарити та економічні затрати, а також підвищить стійкість.

Найпопулярнішим методом неруйнівного контролю є ультразвукова дефектоскопія, тому що ультразвукове опромінення предмету контролю не руйнує об'єкт, це є значним плюсом названого способу вивчення. Крім того ультразвукові дослідження додають досить високі швидкості та надійність контролю попри безпеку для осіб і досяжній ціні.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На теперішній час є відкрита потреба у покращенні, автоматизації, а також підвищенні результативності пристроїв неруйнівного контролю (НК), однією із проблем якої є перевірка предметів і площин, які розташовані у недоступних місцях. Вирішення цього питання надає змогу знизити чисельність обслуговуючого штату, а також тривалість перевірки. У роботі вирішено завдання розробки портативного пристрою, якій застосовує ультразвуковий спосіб знаходження дефектів, а також має простий і дієвий, порівняно зі створеними аналогами, механізм передавання та оброблення інформації.

Перевірка технічного стану споруд колосальних розмірів становить актуальну проблему, до рішення якої проявляють досить велику увагу інженери у всьому світі. На теперішній час постає важливе питання по організацію бездротового каналу передавання даних від предмету контролю до блоку оброблення даних.

В роботі будуть розглянуті правила побудови акустичних дефектоскопів, описані реалізовані аналоги для вирішення подібних задач та описано можливості реалізації приведеної схеми. Запропоновано дієвий спосіб контролю, що забезпечує потрібну чутливість.[1-7]

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Теоретичні відомості про ультразвукові коливання

Ультразвук - це коливання, що розповсюджуються по гармонічній звуковій хвилі на однакових частотах. Діапазон частоти коливається від 16 кГц до 100 МГц. Сприймання людиною ультразвуку схоже на сприймання звуку. Коефіцієнт затухання зростає зі збільшенням частот коливання, тобто енергія коливань переходить у тепловий вид енергії.

Також ультразвук створюється при роботі виробничих пристроїв, що генерують його вимушено під час експлуатації. Джерелами ультразвукового випромінювання також є пристрої, в яких під час роботи коливання з'являються як сторонній фактор.

Виділяють такі діапазони ультразвуку: при частоті від 10^4 до 10^5 Гц – низькочастотний, та від 10^5 до 10^9 Гц – високочастотний.

Існують різні способи розповсюдження ультразвуку в просторі: розповсюдження в газах (повітрям) та розповсюдження ультразвукових коливань в рідині, твердому тілі, м'якій тканині. Останній метод поширення ультразвуку забезпечується при умові, що акустичний перетворювач контактує з об'єктом через рідину.

Через відмінності у густинах різних середовищ ультразвук поширюється по різному. При низькочастотному діапазоні ультразвук розповсюджується через всі середовища, а у високочастотному діапазоні тільки через прямий контакт.

Ультразвукові коливання можуть збуджуватися різними способами: постійним або імпульсним, а також можуть генеруватися магнітострикційними та п'єзоелектричними перетворювачами.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальновідомим є вплив ультразвукових коливань на живі організми. Їх взаємодія проявляється в появі відмінностей у тиску під час дії випромінювання, яке генерує перетворювач, між сусідніми клітинами біологічної речовини, які розташовані на відстанях, що дорівнюють половинам довжин хвиль. Під час поширення на певній частоті та з низькою інтенсивністю, ультразвукові коливання мають певні лікувальні властивості: покращується обмін речовин в організмі через поліпшення кровотоку і підвищення складу лімфи в крові. Проте під час використання ультразвукових коливань на середній та високій інтенсивності, є ризик викликати явище кавітації. Під кавітацією розуміють явище поступової руйнації клітин та тканини організму.[8-11]

1.2. Принцип роботи

Акустичні хвилі при переході поміж двох середовищ з різноманітними питомими акустичними опорами здійснюється заломлення починаючи з межі поділу середовищ, при розповсюдженні в однорідному матеріалі звукові хвилі напрямком розповсюдження не змінюють. Чим сильніше відрізняються акустичні опори середовищ, тим збільшений кут заломлення звукових хвиль. При вмісті у металі пор наповнених повітрям, які мають набагато більший акустичний опір ніж метали, при такій ситуації виникає виключно внутрішнє відбиття.

Роздільні здатності акустичних приладів напряму залежать від частот збуджених хвиль. І того чим більша частота збудження ультразвукової хвилі, тим більша роздільна здатність. Роздільна здатність має змогу розділити два точкові об'єкти від однієї точки. Роздільна здатність геометрично залежна від чверті хвильового розміру, яка при розмірі перешкод, які менші наданій довжині хвилі, і при цьому хвиля минає перешкоду без відбиття. Приведений чинник спричиняє застосування високочастотних коливань в процесі пошуку недоліків.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

В інакшому випадку, при чималому збільшені частоти збудження коливань применшується глибина контролю, тому що при високій частоті надаються менші рівні сигналу, даний факт задає обмеження глибини контролю. Для перевірки контролю металу найбільше використовують частоти від 0.5 і до 10 МГц.[8-11]

1.3. Методи ультразвукової дефектоскопії

В основі методів ультразвукового неруйнівного контролю лежить дослідження процесу поширення ультразвукових коливань з частотою 0,5 – 25,0МГц в об'єктах контролю. Простір, в якому поширюються ультразвукові коливання, називають ультразвуковим (акустичним) полем. Оскільки ультразвукові поля можуть створюватися в будь-яких середовищах і матеріалах, методи ультразвукового контролю є універсальними. Їх застосування для контролю деталей, виготовлених із металів, пластмаси, скла, гуми, залізобетону та ін. Контроль із використанням ультразвуку має високу чутливість і продуктивність. Він виявляє об'ємні, лінійні і точкові дефекти – порушення суцільності, зони поверхневого розтріскування, міжкристалічної корозії, неоднорідність структури і т.д.

Методи ультразвуку мають змогу вимірити товщину стінок деталей при односторонньому доступі.

Також ультразвукові методи застосовуються для контролю рівня якості зварювальних з'єднань. А також знаходять тріщини, не проварювання, пустоти, металеві та неметалеві включення.

Переважання ультразвукових методів – надають виявлення дефектів у різних зонах деталей – на поверхні і ближче від поверхні, на глибині, притому більш успішно виявляють дефекти такого типу раковин у товщі металу чи бетону, що не мають виходу на поверхню. Контролю ультразвуку можна надавати і великогабаритні деталі, за тим що глибина проникнення ультразвуку у метал досягає 8 – 10 метрів.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Властивості ультразвукової дефектоскопії полягають у використанні п'єзоелектричних перетворювачів і вимагають підготовку поверхні для введення ультразвуку в метал, у випадку створення шорсткості поверхні не менше класу 5, у випадку із звареними сполуками і напрямки шорсткості (перпендикулярно шву). Враховуючи великий акустичний опір повітря, мінімальний повітряний проміжок може бути неподоланною підставою для ультразвукових коливань. Для позбавлення повітряного проміжку, в контрольованій ділянці виробу наперед наносять контактні рідини, такі як вода, масло, клейстер. При перевірці вертикальних або сильно нахилених поверхонь потрібно використати густі контактні рідини для уникнення швидкого стікання.

Для того щоб контролювати вироби з зовнішнім діаметром менш ніж 200мм, потрібно використовувати перетворювачі, радіусом кривизни підосви R, рівним 0,9-1,1 R радіусу об'єкту, так званих притертих перетворювачів, які в даному виді недоречні для виробів контролю з плоскими поверхнями. Для прикладу контролю циліндричної поковки, потрібно зробити переміщення перетворювача у двох взаємно перпендикулярних шляхах, які мають на увазі використання двох притертих перетворювачів – для кожного напрямку по одному.

Зазвичай ультразвукова дефектоскопія не має змогу надати відповідь на питання реальних розмірів дефекту, а тільки про його відбиваючу здатність у напрямку приймача. Дані величини співвідносяться, нажаль не для всіх видів дефектів. Окрім того, наданні дефекти практично не можна виявити ультразвуковим методом, форми чи знаходження на об'єкті контролю.

Не можна провести ультразвуковий точний контроль металів із крупнозернистою структурою, подібних як чавун чи аустенітний зварений шов (шириною понад 60 мм), через більше розсіювання і сильне згасання ультразвуку. До того ж, важко проводити контроль маленьких деталей чи деталей із складнішою формою.

					<i>ПК6104.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

Типи акустичних методів НК. Ультразвуковий неруйнівний контроль застосовують пару методів контролю та одержання інформації: пройденої опроміненням, відбитого опромінення (луно метод), резонансний метод і т.д. Той чи інакший спосіб практикують залежно від особливостей контролюючих виробів (матеріал розмір, форма, шорсткість поверхні), виду знайдених дефектів (розмір, місцезнаходження, орієнтація) та і.н.[8-11]

1.4. Збудження і прийом ультразвуку

Взагалі є декілька способів збудження ультразвукових хвиль в досліджуваному об'єкті. Більш розповсюдженим є використання п'єзоелектричного ефекту. В даному випадку випромінювання ультразвуку виробляється за допомогою перетворювача, який перетворює електричні коливання в акустичні шляхом зворотного п'єзоелектричного ефекту. Відбиті сигнали які потрапили на п'єзопластину із-за прямого п'єзоелектричного ефекту перетворюються в електричні, які фіксуються вимірювальними ланцюгами.

А також використовують електромагнітно-акустичний (ЕМА) метод, який ґрунтується в додаванні змінних магнітних полів до металу. ККД наданого методу нижчий, ніж у п'єзоелектричного, але має змогу працювати через повітряний проміжок і не потребує надзвичайних вимог до якості поверхні.[8-11]

1.5. Методи проходження

Методи проходження мають на меті спостереження за зміною параметрів ультразвукових коливань, які пройшли в об'єкті контролю, так названих наскрізних коливань. Напочатку для контролю застосовували безперервне випромінювання, а зміна амплітуди наскрізних коливань розцінювались як існування дефекту в об'єктах, які контролюються, так названий звуковій тині.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Безперервне випромінювання з часом змінилось на імпульсне, і до фіксуєчих параметрів, окрім амплітуди додалась також фаза, спектр та час приходу імпульсу та виникли інакші методи проходження. Тіньовий термін позбувся свого первісного змісту й став значити один із методів проходження. В англійській літературі метод проходження зветься (*through transmission technique* або *through transmission method*), яка повністю відповідає його російській назві. Тіньовий термін в англійській літературі не застосовується.

Досить часто метод відбитого випромінювання зветься лунометодом, на відміну від методу пронизуючого опромінення базується на відбитті ультразвукових хвиль починаючи з границі виробу чи поверхні дефекту.

Більш поширений луно-імпульсний метод контролю, в якому застосовується одна перетворююча головка. Працює вона по черзі: як випромінювач ультразвукових коливань, чи як приймач-реєстратор.

Спосіб відбитого опромінення, має переваги в порівнянні з методом пронизуючого опромінення. По-перше, даним способом можна контролювати вироби, деталі та матеріали при односторонньому доступі; по-друге, чутливість луно-методу більш висока, ніж тіньового методу.[8-11]

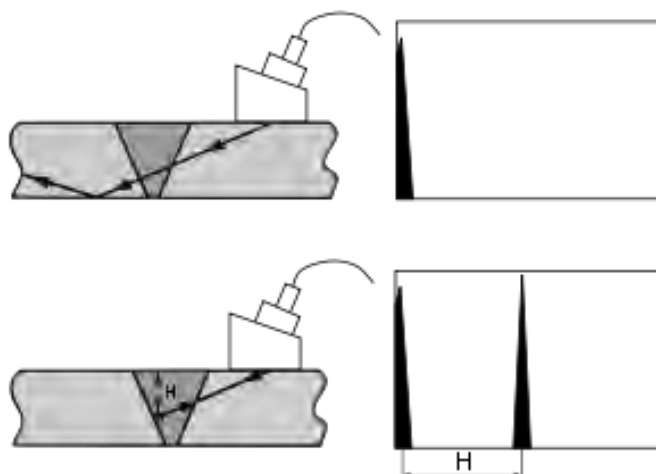


Рисунок 1.1. Луноімпульсний метод контролю зварного з'єднання без дефекту (зверху) і з дефектом (знизу).

У правій частині (рис.1.1) представлений екран дефектоскопа із зображенням на ньому зондуєчим імпульсом (зверху) і імпульсом від дефекту (знизу).

1.5.1. Лунометод або луноімпульсний метод

Більш розповсюджений: перетворювач генерує коливання (виступає в якості генератора) так він і приймає відбиті від дефектів луно-сигнали (приймач). Даний метод одержав більше розповсюдження за рахунок своєї простоти, через те для проведення контролю потрібно тільки один перетворювач, значить при ручному контролі немає необхідності в спеціальних пристроях для його фіксації (такі як наприклад, в дифракційно-часовому методі) і сумісних акустичних осей при використанні двох перетворювачів. Окрім того, це один з методів ультразвукової дефектоскопії, який надає досить точно визначити координати дефекту, такі як глибину залягання і положення в досліджуваному об'єкті (перетворювача).[8-11]

1.5.2. Дзеркальний або лунодзеркальний метод

Використовують два перетворювача з одної сторони деталі: згенеровані коливання відбиваються від дефекту в сторону приймача. На практиці їх використовують для знаходження дефектів які розташовані перпендикулярно поверхні контролю, наприклад тріщини.[8-11]

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

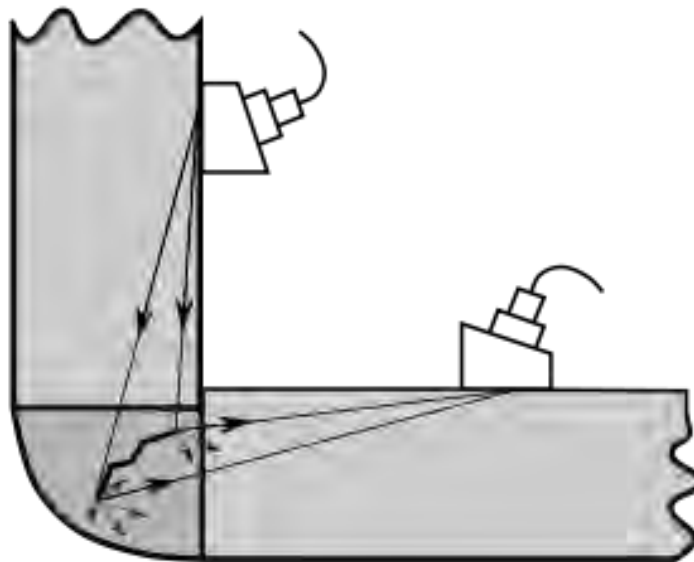


Рисунок 1.2. Схема встановлення датчиків при дзеркальному методі

1.5.3. Дифракційно-часовий метод

Використовують два перетворювача з одної сторони об'єкту, розташовуються один навпроти одного. Якщо певний дефект має гострі кромки (наприклад тріщини), то коливання дифрагують на кінцях дефекту і відображають в усі сторони, і в тому числі в сторону приймача. Дефектоскоп зареєструє час приходу обох імпульсів при їх належній амплітуді. На екрані дефектоскопа водночас відображаються два сигнали від верхньої і від нижньої меж дефекту, таким способом можна доволі точно визначити умовну висоту дефекту. Це є досить універсальний спосіб, який дає змогу проводити пошук дефектів на швах будь-яких ускладнень, але при цьому вимагає спеціального спорядження для фіксації перетворювачів, і також дефектоскоп, що працює в даному режимі. Окрім цього, дифраговані сигнали надто слабкі.[8-11]

1.5.4. Ревербаційний метод

Бере за основу поступове згасання сигналу в об'єкті контролю. Коли контролюється двохарова конструкція, у разі належного поєднання шарів, частина енергії з одного шару буде йти до іншого, тому ревербація буде менша.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В іншій ситуації будуть помічатися багаторазові відбиття з першого шару, так названий ліс. Цей спосіб застосовується для контролю різних видів наплавлень, до прикладу бабітового наплавлення з чавунною основою. Головною помилкою наданого методу є реєстрація дефектоскопом луно-сигналів починаючи від кордону з'єднання двох шарів (рис.1.3). Причиною даних луно-сигналів є відмінність швидкостей пружних коливань в матеріалах з'єднань і їх не схожий питомий акустичний опір. До прикладу, на кордоні бабіт-сталь починається постійний луно-сигнал навіть в місцях якісного зчеплення. В конструкційних особливостях деяких виробів, контроль якості поєднання матеріалів ревербаційним методом може стати неможливим, тому що через існування на екрані дефектоскопа луно-сигналів з кордону з'єднання.[8-11]

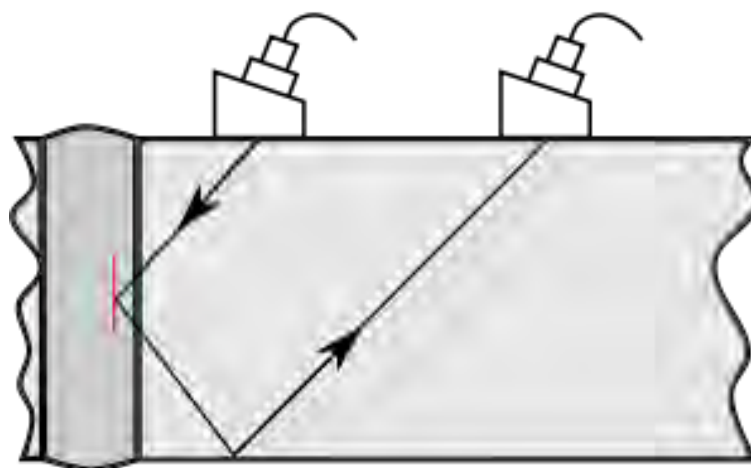


Рисунок 1.3. Реєстрація дефектоскопом луносигналів від кордону з'єднання двох шарів

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.5.5. Когерентний метод

Окрім двох суттєвих параметрів луно-сигналу, амплітуди і часу приходу, застосовується додаткова фаза луно-сигналу. Застосування когерентного методу, а більш точно декількох ідентичних перетворювачів, які працюють синфазно, що надає змогу одержати зображення дефекту, яке близьке до реального. При застосуванні спеціальних перетворювачів, такі як перетворювач хвилі, який біжить чи його більш відомий аналог - перетворювач з фазуючими ґратами, даний метод зменшує час, який витрачається на контроль виробу.

Спосіб опромінення, котрий ще називають також тіньовим методом. Він полягає в реєстрації ультразвукових хвиль, які проходили скрізь контрольованого об'єкту. При такому способі контролю з одної сторони до іншої контрольованого об'єкту підводять ультразвукові коливання, а до іншої строго навпроти місця введення, реєструється інтенсивність ультразвуку, що проходить через контрольований об'єкт.

Для контролю даного способу потрібно мати двосторонній доступ до об'єкта контролю. Сприйнятливість цього методу не висока. Дефект можна знайти, якщо він може викликати зміну інтенсивності ультразвукових хвиль, які проходять крізь об'єкт контролю, приблизно на 15 – 20%. Даний спосіб віднайшов застосування для контролю тонких деталей (стальних листів), автомобільних покришок.[8-11]

1.5.6. Тіньовий

На одній акустичній осі, які знаходяться по обидві сторони від досліджуваної деталі використовуються два перетворювача. При такій ситуації один з перетворювачів генерує збуджуючі коливання, а інший виступає в ролі приймача. Ознакою присутності дефекту буде більш високе зменшення амплітуди прийнятого сигналу, чи його зникнення (дефект створює акустичну тінь).[8-11]

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.5.7. Дзеркально-тіньовий

Застосовується для контролю деталей з двома паралельними сторонами, процес удосконалення тіньового методу: аналізується відбиттям починаючи від протилежної сторони деталі. Ознакою дефекту, при даному тіньовому методі, вважається зникнення відображених коливань. Основною перевагою даного методу, на відміну від тіньового, є у доступі до деталі з одного боку.[8-11]

1.5.8. Ухо-наскрізний

Ухо-наскрізний метод застосовує обидва перетворювача, які розташовуються по різних сторонах об'єкта контролю - один навпроти одного. За відсутності дефекту, на екрані спостерігається наскрізний сигнал. За наявністю напівпрозорого дефекту, крім того на відображенні спостерігаються наскрізні сигнали від дефекту.

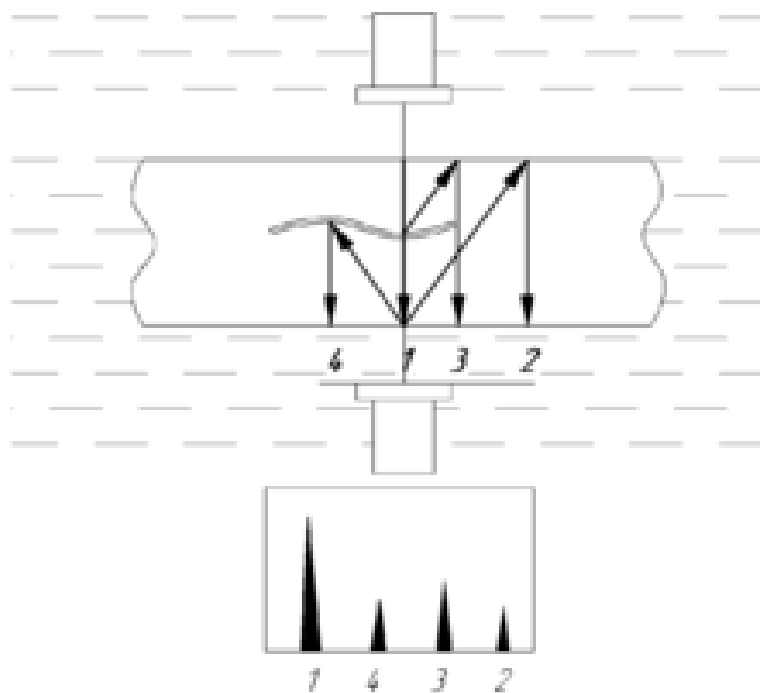


Рисунок 1.4. Датчики розташовані по різні сторони об'єкта контролю

Метод контролю. За відсутності дефекту на екрані спостерігається лише 1 і 2 імпульси. За наявністю напівпрозорого дефекту, додатково 3-й і 4-й. В зображенні для наочності відображаються ультразвукові хвилі, неправильно зображені напрямки їх розповсюдження. Ультразвукові хвилі розповсюджуються уздовж акустичної осі передавача (верхнього перетворювача).[8-11]

1.5.9. Ревербаційно-наскрізний

Даний метод включає в себе елементи ревербаційного методу і також методу багаторазової тіні. На маленькій відстані один від одного, як правило з одного боку виробу, встановлюється обидва перетворювача - передавач і приймач. Ультразвукові хвилі, які надсилаються в даний об'єкт контролю після багатократних віддзеркалень, в кінці потрапляють на приймач. Відсутність дефекту дає змогу простежувати стійкі відбиті сигнали. Якщо існує дефект, тоді порушується розповсюдження ультразвукових хвиль – і також змінюється амплітуда та спектр прийнятих імпульсів. Цей метод застосовують для контролю багат шарових конструкцій та полімерних композитних матеріалів.[8-11]

1.5.10. Велосиметричний

Вело-симетричний метод засновується на реєстрації зміни швидкості пружних хвиль в зоні дефекту. І також його застосовують для контролю багат шарових конструкцій і також для виробів з полімерних композиційних матеріалів.

Ультразвукове дослідження не знищує і не пошкоджує контрольовані зразки, що є його головною перевагою. Можна провести контроль виробів з різних матеріалів, як металів, так і неметалів. Окрім того варто підкреслити швидкість дослідження та низьку вартість, безпеку для людини (порівняно з

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

рентгенівською дефектоскопією), також і високу мобільність ультразвукового дефектоскопа.

Сьогочасний ультразвуковий контроль проводять спеціальними приладами та установками. Це є – ультразвукові дефектоскопи. Діапазон частот сьогочасних промислових ультразвукових дефектоскопів є від 0,5 і до 10МГц.[8-11]

1.6. Загальні відомості про ультразвукові датчики

Ультразвуковий датчик є модулем, котрий змінює рівень електричної напруги на ультразвукові хвилі. Принцип роботи подібний з луно локатором, так як вони змінюють одержаний сигнал в інформативний сигнал всеосяжні параметри якого надають уяву про середовище поширення. Постійна величина - швидкість звуку, через те за допомогою наданого датчика можна досить легко установити відстань до об'єкта, відповідно інтервалу часу та між відправленням самого сигналу та поверненням луни від нього.

Ультразвукові датчики володіють багатьма особливостями, що характеризують область їх використання. Можливо виділити малу дальність дії, спрямований сигнал, та низьку швидкість хвильового розповсюдження. За основу переваг ультразвукових датчиків взята їх низька вартість. В автомобілях мають змогу використовувати для організації паркувальних систем. Ультразвукові датчики рівня з більшою дальністю активно використовують в ряді конструкцій систем навігації для того, щоб контролювати сліпі зони. Віднаходять вони своє пристосування також і в різних системах управління автомобілем в режимі пілоту.

За основу датчика можна взяти перетворювач, який з'єднує активний елемент та діафрагму. В такому випадку перетворювач працює в якості передавача та приймача. За допомогою активної частини генерується нетривалий імпульс, котрий надалі приймається у вигляді луни від перешкоди.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Його виготовляють з спеціального п'єзоелектричного матеріалу. У такому випадку алюмінієва діафрагма постає в якості контактної поверхні датчика, тим самим дозволяє розпізнати акустичні характеристики. Підставка перетворювача досить пружна, для того щоб поглинати вібрації. Всі надані елементи виявляються в пластмасовому корпусі, устаткованому роз'ємами для підключення.

Датчики ультразвуку працюють так: до того як отримується сигнал ззовні активна функція спричиняє вібрацію діафрагми, що відсилає ультразвукові імпульси в простір. Коли хвилі натрапляють на перешкоду, вони відображаються, повернувшись до перетворювача, вони утворюють вібрації активного елемента, з котрого після і знімають цей електричний сигнал.

Датчики ультразвуку мають такі основні характеристики, як: частота імпульсу, дальність знаходження перешкоди, швидкодія. У сьогочасних паркувальних пристроях частота становить 40 кГц, а дальність виявлення – до 2,5 метрів.

Виробник найчастіше не вказує значення не основного параметра, такого як кут огляду. Кут огляду в датчиках найчастіше визначається за допомогою частоти сигналів, і також форми і розміру перетворювача. Якщо більший показник частоти імпульсу, тим менший буде кут огляду.

Ультразвукові датчики відстані мають масу незаперечних плюсів, але вони мають і також чималі функціональні обмеження. При погодних умовах працездатність і точність пристроїв зменшується, також і при сильному забрудненні. Сенсор має здатність пропускати маленькі предмети, також і поверхні.

В ультразвуковій дефектоскопії найчастіше використовують п'ять типів ультразвукових датчиків:

1) Контактні датчики - використовують при прямому зіткненні з тестовим матеріалом. Хвиля звуку, передається перпендикулярно поверхні матеріалу, що застосовується для виявлення порожнеч, пористості, тріщин на паралельних поверхнях і також для виміру товщини.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Похилі датчики - використовують разом із пластиковими чи епоксидними призмами для вводу поперечних чи поздовжніх хвиль у тестовий матеріал із заданим кутом та до поверхні. Цей тип датчиків найчастіше застосовується у дослідах зварних швів.

3) Датчики з лінією затримки - передбачено короткий пластиковий хвилевід чи лінія затримки поміж активним елементом та тестовим матеріалом. Вони застосовуються у вимірах з високою температурою, де лінія затримки обороняє датчик від перегріву.

4) Імерсійні датчики - вони призначені для того щоб передавати звукові хвилі у матеріал через стовп рідини. Цей тип датчиків застосовується в автоматизованих дослідах та в ситуаціях, коли для покращення роздільної здатності потрібен ясно сфокусований сигнал.

5) Роздільно-суміщені датчики – складаються з приймаючого і передаючих елементів. Певні датчики рекомендовані для користування на шорстких поверхнях, та крупнозернистих матеріалах, для зазначення пористих і корозійних структур. Роздільно-суміщені датчики також мають високу сталість до високих температур.[8, 9, 12-13]

1.7. Параметри зондуючого імпульсу

Зондуючим імпульсом називають акустичний імпульс, який випромінюється перетворювачем. Його форма залежить від прикладеного шляху і характеру навантаження в чималій мірі і за цим визначається підключення перетворювачів. Односторонній поштовх напруги без підключеного перетворювача, імпульсу є регресивним за експоненціальним законом.

Не звертаючи увагу на відмінності в конструкціях приладів загалом правило збудження коливань залишається таким самим. В дефектоскопі конденсатор заряджається до певної напруги, далі керуючим сигналом від тактового генератора замикається електронний вимикач,

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

в наслідок якого конденсатор розряджається через демпфуючий опір (або індуктивність), включений паралельно коливальний елемент. Ці імпульси розряду збуджують затухаючі механічні коливання у коливальному елементі. Цей метод збудження має назву ударний.

Період механічних коливань в певній мірі залежить від ємності конденсатора C та опору резистора R . Кращим є узгодження приладу з певним перетворювачем у деяких дефектоскопах які мають можливість перемикає величини C і R . Проте, через те що власна частота коливань п'єзоелемента залежить одночасно від його товщини, для більш дієвого збудження різних перетворювачів потрібен додати різну енергію. В протилежному випадку, збудження ударним імпульсом великого п'єзоелемента, порівнюється з коротким ударом годинного молоточка по великому дзвону. Для збільшення ефективності збудження п'єзокристалу застосовують генератори прямокутних імпульсів. В генераторі електронний ключ прямокутних імпульсів вимикає випромінювач в потрібний момент часу, надає змогу сформувати імпульси необхідної тривалості.

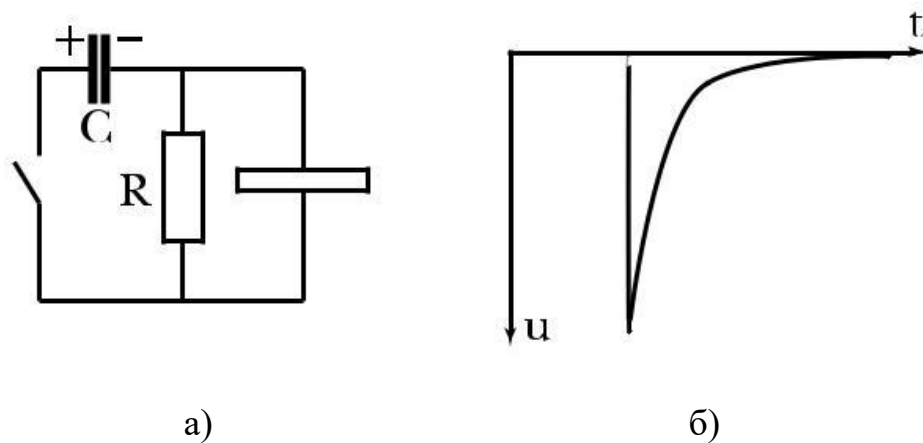


Рисунок 1.5. Крива розряду і період механічних коливань (а - Схема ударного збудження б - Схема розряду при ударному збудженні)

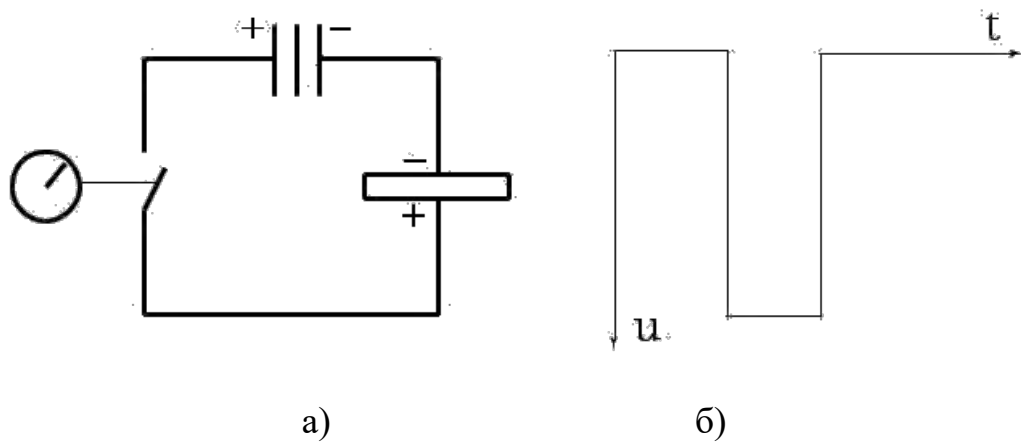


Рисунок 1.6. Генератор прямокутних імпульсів (а - Схема генератора прямокутних імпульсів б - Схема розряду при ударному збудженні)

Отже, вся енергія імпульсу може додатись до п'єзоелементу впродовж регульованого етапу. Коливальну характеристику п'єзоелемента визначає довжина імпульсу. Для найбільш ефективного збудження коливань час імпульсу збудження має дорівнювати половині періода основної частоти п'єзопластини: для 5 МГц - 100 нс, для 2,5 МГц - 200 нс. і т.д. Відхилення імпульсів невідповідного періоду може призводити до фальсифікації формуна-імпульсів, збільшення їх періоду. Найбільш ефективний генератор прямокутних імпульсів та збільшення амплітуди луна-сигналів помічається на частотах більш низьких, таких як 4 - 5 МГц. На частотах більше 10 МГц відмінність поміж ударним збудженням та імпульсами прямокутної форми практично не існує.[8, 9, 14].

1.8. Частота проходження зондувальних імпульсів

Частота проходження зондувальних імпульсів є одною із основних характеристик, які регулюють продуктивність контролю, себто максимальну швидкість сканування площини об'єкта контролю, при якому також можливо виявлення дефекту.

Окрім частоти проходження зондувальних імпульсів на результативність впливає: діаметр випромінюючої поверхні перетворювача, умов експлуатації, геометрія а також стан поверхні та ін. Через те така характеристика є

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

неймовірно відносною. Проте висока частота проходження дає змогу дати оцінку граничній продуктивності дефектоскопа у окремих умовах. Для прикладу, якщо умовно визнати ширину діаграми спрямованого перетворювача на певній глибині, яка дорівнює 5 мм, якщо рахувати, для реєстрації дефекту по ГОСТ потрібно не менш ніж 3-х імпульсів на дефект, можна близько оцінити максимально вірогідну для контролю швидкості пересування перетворювача.

Тобто, частота проходження 500 Гц - це є максимальна продуктивність даного приладу, швидкість складає приблизно 50 м / хв, що дає змогу навіть для автоматичного контролю. Навпаки, якщо частота проходження 10 Гц, то максимальна швидкість руху складе приблизно 1 м / хв. Багато приладів вміють перемикає частоту ЗІ «висока / низька», для того щоб можна було провести контроль матеріалів із різним загасанням, через те що в матеріалах з меншим загасанням при високій частоті посилок ЗІ може бути накладення луно-імпульсу на власний ЗІ.

Окрім того, частоту проходження зондувальних імпульсів найчастіше автоматично регулюють залежно від терміну розгортки та параметрів налаштувань. Тому повністю нерозумно для виробів з довжиною 2 м, відсилати ІЗ частотою 1 КГц, через те що під час інтервалу в проміжку між посиленням імпульсів, пристрій мусить прийняти луна-сигнал, а з такої глибини він може і не повернутися.[15]

1.9. Параметри розгортки дефектоскопів

Тривалість розгортки – це проміжок часу проходження імпульсу, впродовж якого відбитий луно-сигнал може бути зображений на екрані. Найчастіше вказується в мікросекундах чи міліметрах. При розгортці у міліметрах, зазвичай мається на увазі певний матеріал з відомою швидкістю звуку (сталь 45 зі швидкістю приблизно 5950 - 6000 м / с).

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Найчастіше максимальна тривалість розгортки має назву «глибина проникання». Така назва взагалі є не вірною, через те що створює в споживача думку про те, що більша тривалість розгортки відповідає більш високою потужностям випромінювання пристрою. Глибина проникання (максимальна відстань у матеріалі, за якого можливо отримати сигнал від відбивача із заданим співвідношенням сигнал / шум), залежить спочатку від амплітуди зонduючого імпульсу, та від коефіцієнта перетворення ПЕП, і від загасання звуку в матеріалі об'єкта контролю, анізотропії та його особливостей, його геометрії.

Мінімальна розгортка – це малий проміжок часу, який можливо розтягнути на весь екран дефектоскопа. Чим меншим буде такий проміжок, тим більш зручно буде працювати з меншою шириною та приблизно розташованими дефектами, тоді можна відобразити маленьку зону контролю на весь екран. Слід звернути увагу на нижній діапазон ширини контрольованого матеріалу, отже діапазон 2 - 3000 мм, а розгортка до 2 мм на екрані дефектоскопа не буде доступна широкому і також прямими ПЕП без призми / лінії затримки проконтрольованою не буде. На екрані дефектоскопа може бути радіосигнал (рис.1.7, а) чи половина (після детектора) його так, як зображено на рис.1.7, б. В порівнянні цих зображень є більш зручним є зображення на рис. 1.7, б.



Рисунок 1.7. Сигнал, відбитий від сусіднього до поверхні отвору в зразку СО-2. Прямий ПЕП 10 МГц (а - режим радіосигналу, розгортка 5 мм, б - режим повного детектора, розгортка 20 мм)

Суттєвим є крок зміни розгортки - чим він менше, тим найкраще: тим більш точно можна поставити розгортку на екрані. Але зазвичай крок розгортки залежний від частоти оцифровки сигналу та способу їх обробки. В будь-якому випадку найкраще мати змогу плавного регулювання розгортки чи з кроком від 1 мм. Менше зручніші фіксовані розгортки, скажімо 20, 50 мм та ін. У цьому випадку користувач не має змоги поставити сигнал в потрібне місце на екрані. Одним з важливих параметрів дефектоскопа є величина затримки розгортки. Затримка розгортки – це початковий проміжок часу, що не може бути зображений на екрані дефектоскопа. Він вказується в мікросекундах. Отже, для того щоб контролювати виріб на дефекти в глибині від 900 до 1000 мм буде досить встановити розгортку більш ніж на 1 м, при цьому працювати з наданим сигналом не є зручно, через те що на екрані він може бути зображений як тонка лінія. Дивлячись на те що, сигнали з глибиною до 900 мм не цікавлять, буде зручніше поставити затримку розгортки приблизно 300 мкс (сталі складе близько 900 мм) та період розгортки лише 100 мм. Найчастіше затримку розгортки виконують також негативною, з моменту безпосереднього проходження імпульсу в матеріал - це надає змогу прив'язатися до власного зондуєчого імпульсу, та виводити його на екран, що є суттєво для ряду операцій перевірки.[8-9]

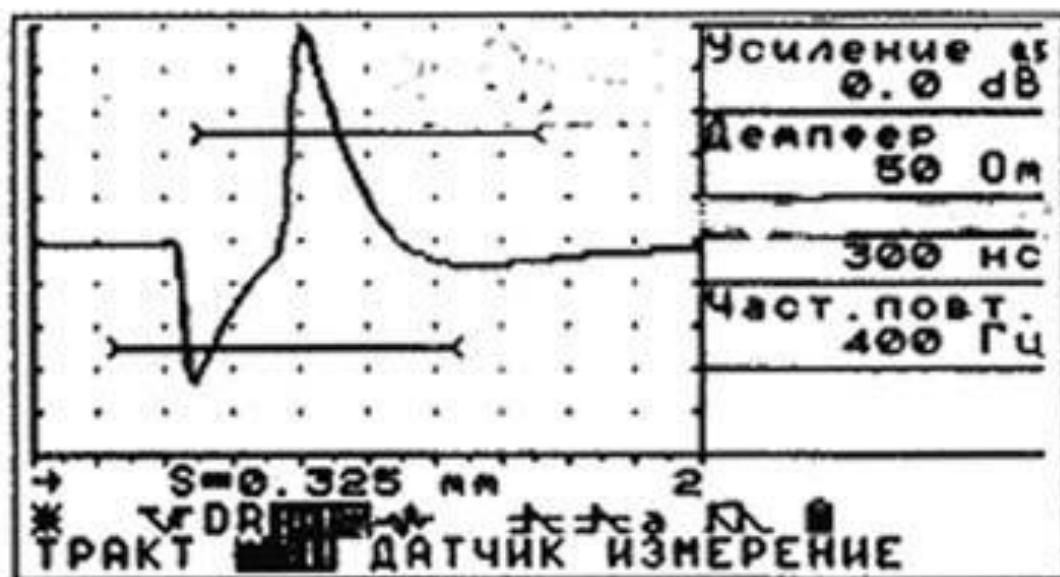


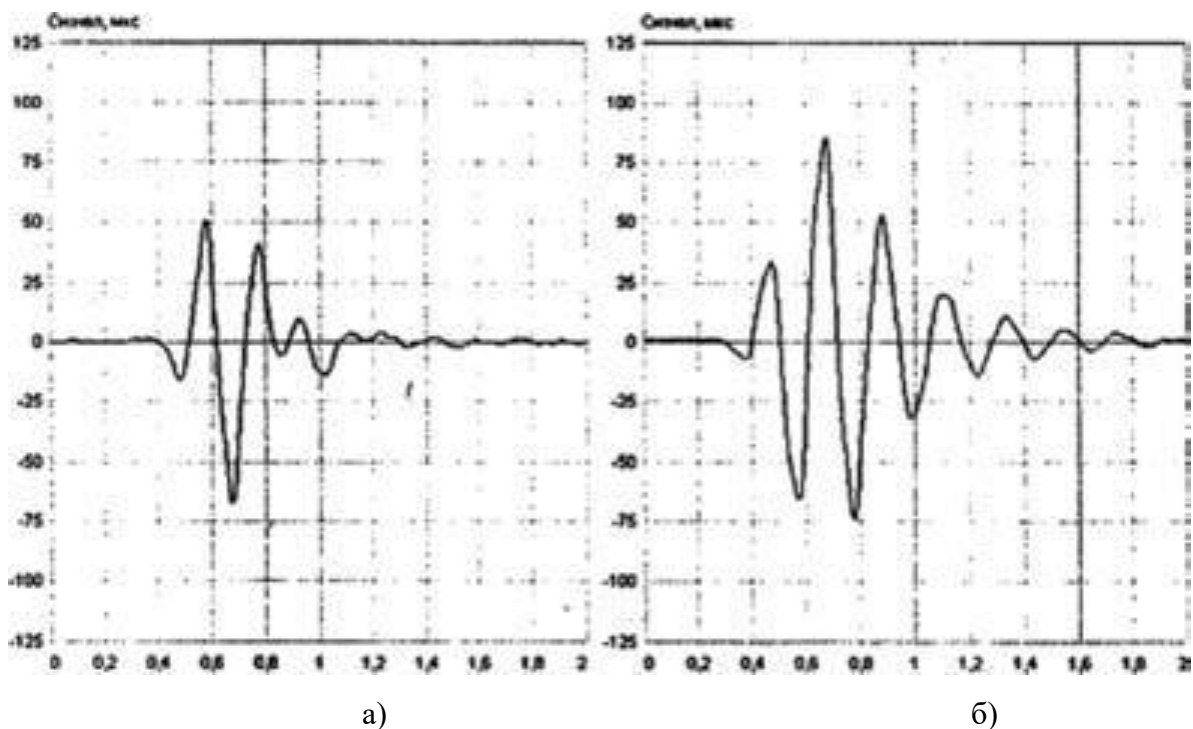
Рисунок. 1.8. Власний зондує імпульс на екрані дефектоскопа УД2В-П46

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПК6104.0000.000 ПЗ				

1.10. Параметри приймального тракту дефектоскопів

Діапазон з частотою – розуміється як мінімальний та максимальний кордон прийнятих частот приймачем, при якому рівень амплітуди сигналу впаде не більше, а ніж на надану величину. Найчастіше певний рівень встановлюється рівним -3 дБ чи -6 дБ.

Підсилювач приймального тракту дефектоскопів поділяться на такі як: резонансні (заздалегідь узгоджені на певні «резонансні» частоти контурів) та також широкосмугові (працюють по всьому зазначеному діапазоні частот). Для того щоб отримати високу роздільну здатність при використанні високо-демпфійованих перетворювачів потрібно мати дефектоскоп з досить широкою смугою частот, для того щоб забезпечити постачання луно-імпульсів з меншим часом (отже не містити перехідних коливань) та мати змогу виявити дрібні та більш близько розташовані дефекти. По іншу сторону, збільшення смуги частоти призводить до підвищення рівня шумів та поліпшення чутливості, в широкосмугових дефектоскопах з більш високою верхньою межею (15 - 25 МГц) як правило, встановлюється декілька частотних піддіапазонів, які підбираються користувачами



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК6104.0000.000 ПЗ

Арк.

30

Рис1.9. Вид відбитого луна-імпульсу перетворювачів частотою 5 МГц (а - демпфированного ПЕП в широкосмуговому режимі, б - стандартний перетворювач в резонансному режимі)

У випадку дефектоскопа з резонансним підсилювачем приймального тракту, роздільна спроможність може бути значно нижче, окрім цього, для підключення перетворювача необхідно перемикання пристрою на надану частоту, яке призведе до обмеження номенклатури перетворювачів які використовуються в рамках раніше встановлених частот приймача. Найчастіше такі: 1,25; 1,8; 2,5; 5 і 10 МГц. Для широкосмугового дефектоскопа номенклатура частот лімітована тільки нижньою та верхньою межею частотного діапазону.

Досить важливим є також спроможність електричного демпфювання сигналу (входу приймача та виходу генератора). Ця функція надає змогу збільшити роздільну здатність менш демпфированного перетворювача електричним методом, зменшити розмір мертвої зони в певних випадках збільшити співвідношення сигнал / шум.[8-9]

1.11. Динамічний діапазон посилення, регулювання посилення

Найосновнішим параметром приймача дефектоскопа - є діапазон сигналів. З першого боку потрібно, при вхідній напрузі пару десятків мікрвольт ці сигнали розрізнялися на рівні шумів, з другого боку, напруга в кілька десятків вольт повинна зображуватися без обмежуючих ефектів. Динамічний діапазон посилення показує максимальні та мінімальні межі сприйнятих сигналів. Величина діапазону зазначається в дБ..

Потрібно мати на увазі, що динамічний діапазон посилення та реальна величина посилення це є досить різні поняття, через те що в динамічний діапазон входить також і ослаблення сигналу завдяки вбудованим атенюаторам та підсилювачам від'ємним коефіцієнтом. На прикладі, у пристрої УД2В-П46 динамічний діапазон 110 дБ, а реальне посилення 80 дБ. Отже при 0 дБ реальне посилення вхідного сигналу є негативним -30 дБ.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В той самий проміжок часу реальна величина посилення також не надає об'єктивної картини, через те що є вірогідність, що у пристрої з посиленням 130 дБ шуми мають змогу зайняти значну частину екрану на 100 дБ. Отже для більшості вітчизняних та західних пристроїв величина реального посилення в технічних особливостях не наводиться а також вона не вказується в порівняльній таблиці.

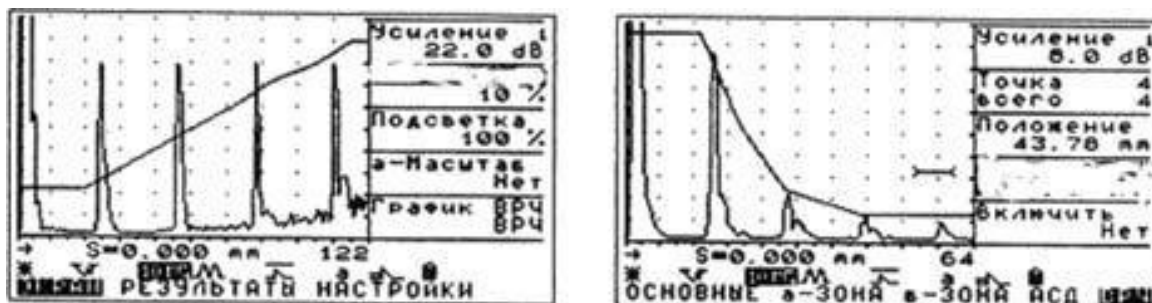
З точки зору зручність користування пристроєм має велике значення та має змогу змінювати величину посилення з досить різними кроками.[16].

1.12. Тимчасове регулювання чутливості

За тим що амплітуда луно-сигналів зникає по глибині із-за згасання ультразвуку в матеріалах та фізики звукових полів, давати оцінку сигналу при однаковому посиленні не має змісту. До цього є два взаємопов'язаних шляхи:

Вирівнювання амплітуд сигналів, методом побудови кривої ТРЧ. Посилення починає змінюватись на глибині з даним розрахунком, для того щоб сигнали від тих самих відбивачів мали на екрані таку ж саму амплітуду незалежно від глибини та їх розташування. У даному випадку поріг оцінки є цілком фіксованим.

Крива амплітуда будується з відстанню (АВК) зворотної кривої ТРЧ та всі оцінки сигналів підводяться по відношенню не до фіксованого порога, а до кривої лінії, яка міняється по глибині.



а)

б)

Рисунок 1.10. Криві ТРЧ (а - вирівнювання амплітуд луно-сигналів за допомогою ВРЧ, б - контроль за допомогою АРК)

У випадку менших зон контролю, початковий метод переважає попри більший діапазон налаштування, через те що визначення АВК буде лімітовано відношенням сигналів у межах 20 дБ, себто 10-100% висоти екрану.

Головною особливістю ТРЧ є - глибина ТРЧ, величина, яка визначає взаємовідношення дійсних амплітуд сигналів, які мають змогу вирівнятися за допомогою ТРЧ. Чим більший показник, тим найкраще. Окрім цього, найчастіше об'єкт контролю має непросту форму, анізотропію властивостей по глибині та форм кривої ТРЧ є далекою від прямолінійної. В такому випадку мають місце і дві характеристики ТРЧ: чисельність точок побудови кривої та максимальної крутизни кривої ТРЧ (максимальна чисельність дБ які можуть бути задані в одиницю часу при введенні параметрів ТРЧ). Чисельність точок кривої ТРЧ користується на практиці не часто, та перевищує 10, але часто в пристроях закладено значно більше.[17]

1.13. Форма відображення відлуння імпульсів на екрані дефектоскопів

На сьогодні є велика кількість методів зображення сигналів. Більш розповсюджений з усіх А-розгортка (A-scan), просте двовимірне відображення змін амплітуди на вході дефектоскопа в проміжку часу. Найбільше інформативна В-розгортка (у вигляді точок різних яскравостей, чим вище амплітуда, тим темніший струм), С-розгортка, TOFD-побудова і 3D-розгортка. Є також ряд інших спеціальних форм представлення сигналів.

Але зображення В, С розгорток наполягає у використанні дефектоскопа разом із комп'ютером, датчиками шляху і т.д. На екрані дефектоскопа сильна інформативна картинка змінюється в сполучення лише білих та чорних крапок (без напівтонів), чисельність яких залежить від розширення екрану. В дефектоскопах зображені, як правило, квазі-В-розгортки - будуються за певним терміном, даному оператором (без координатного пристрою).

					<i>ПК6104.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

A-розгортка трапляється в чотирьох видах:

- 1) дійсний високочастотний сигнал (радіосигнал);
- 2) зовсім детектований сигнал (сума позитивної та негативної напівхвилі сигналу);
- 3) позитивний детектований сигнал;
- 4) негативний детектований сигнал.

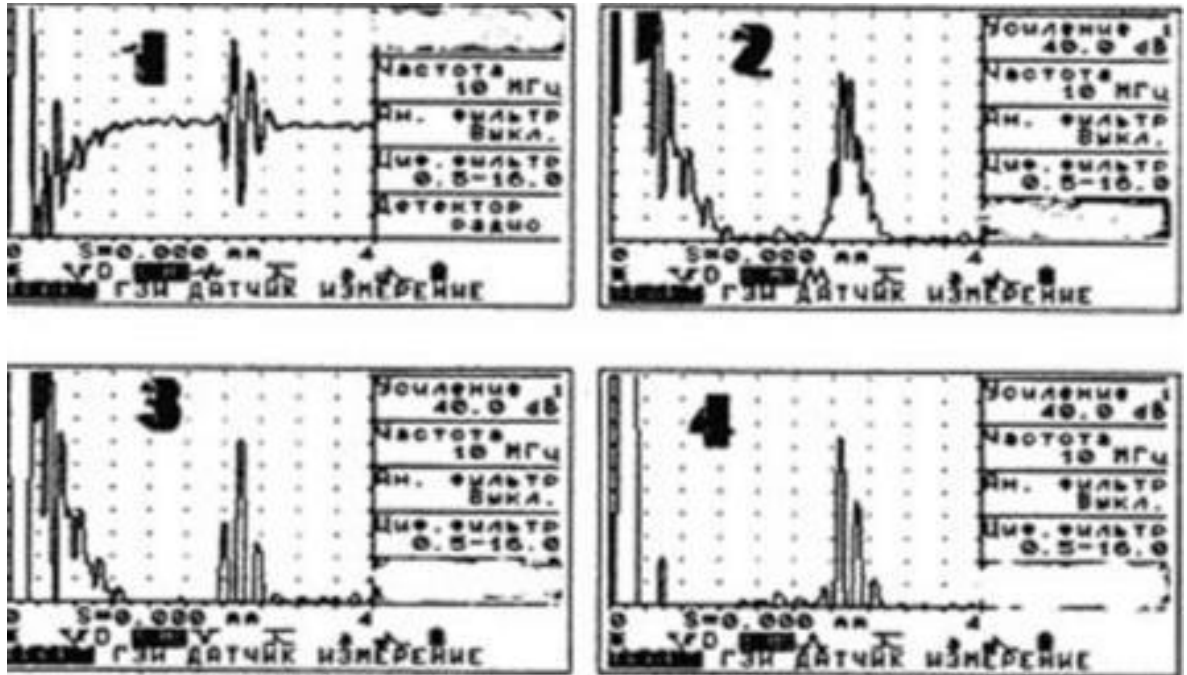


Рисунок 1.11. Відображення A-розгортки: радіосигнал (1), повний детектор (2), негативна напівхвиля (3), позитивна напівхвил (4)

Одне напівперіодне детектування потрібне тоді, коли точно можна визначити час проходження сигналу (вимірюється товщина стінок, локалізація дефекту і т. д.). В даній ситуації розгортки виходять більше суворі фронту імпульсу. Повне детектування має перевагу при уточненні амплітуди сигналів, через те що відображає все відлуння від фази. Радіосигнал має плюси від всіх інших методів та крім цього, незмінний коли потрібно вимірювати відстань до відбивачів з різними полярностями (включення з акустичними властивостями), для того щоб визначити частоту перетворювача, та для знаходження малих відбивачів близько біля великих луно-імпульсів (дрібних під поверхневих дефектів).

Найбільше сервісні режими не мають значення в розгляді, через те що вони присутні у всіх нових дефектоскопах - це «зупинка сигналу» («заморожування» сигналу на екрані), «електронна лупа» (збільшення розміру зони (стрибає) на весь екран, повноекранний режим і т. д.

Окремої уваги заслуговує режим обвідного сигналу. Цей режим дає дозвіл на збільшення вірогідності й спрощення контролю, звільняючи оператора від потреби «ловити» максимум сигналу. Звична схема будови обвідної дає дозвіл зберегти максимальне значення амплітуди у кожній точці розгортки («peak freeze»). В такому випадку вид екрану схожий на зображення еквалайзера програвача (верхня лінія сигналу залишається на екрані), а менші сигнали близько біля великих відбивачів яких не видно, вони будуть маскуватися фронтом / зрізом луна-імпульсу.

Повністю протилежний метод дозволяє збереження тільки одного максимального значення сигналу в кожному зондуючому імпульсі, так названої «обвідної піку». В такому випадку висока роздільна здатність забезпечує виявлення малих дефектів біля великих сигналів, та в ряді випадків, характеризує протяжність та форму дефектів.[18]

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Проаналізувавши існуючі методи дефектоскопії, вирішено застосовувати лунаїмпульсний метод. Основна перевага, з-за чого він став широко поширеним – це надзвичайна простота методу. Щоб провести контроль, треба всього один п'єзо-перетворювач, що дає змогу проводити контроль вручну без потреби точного позиціонування датчика. Завдяки луноїмпульсному методу можливо доволі чітко визначати розташування дефекту, його координати в контролюємому предметі, а також на якій глибині залягає дефект.

2.1. Обґрунтування вибору перетворювача

Сьогодні доступний широкий спектр для вибору п'єзоелектричного перетворювача, різні за формами і частотами резонансів, а також призначеннями. Загальновідомо, що кожний матеріал має різні вимоги для проведення контролю, тому їх так багато.

Самим важливим елементом для перетворювачів є п'єзоелементи. Знаючи вимоги для користування перетворювачем, підбирають розмір та форму п'єзоелементу.

$$h = \frac{\lambda_{\text{ПЕ}}}{2} = \frac{C_{\text{ПЕ}}}{2 \times f} \quad (2.1)$$

Для того, щоб визначити характеристики направленості випромінювання (зону опромінення, роздільну здатність, чутливості, діаграму направленості), потрібно виходити від поперечних розмірів перетворювача.

Рекомендують керуватися співвідношенням: поперечний розмір поділений на товщину має дорівнювати приблизно 20. Тоді величина збудження пластини буде ефективнішою.[8-9].

$$\frac{2a}{h} \approx 20 \quad (2.2)$$

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

2.3. Розрахунок п'єзоелемента

В ролі п'єзоелемента варто обирати ЦТС-19, що володіє такими акустичними характеристиками (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Параметри ЦТС-19

Обозначение	Единица измерения	ЦТС-19	ЦТС-26	ЦТС-26м	ЦТС-36	НЦТС-1	НЦТС-1	Новый НЦТС-2	ЦТС-46	Новый ЦТС-50
T_k	°C	290	350	350	350	175	140	130	260	260
$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	-	1750	1700	1700	670	4000	5700	5100	2100	2200
$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$	-	1450	-	-	1130	-	-	-	-	-
tg δ , не более	%	2,5	2,0	2,0	2,5	2,0	2,8	3,0	2,0	265
Q_m	-	80	70	80	80	50	40	60	70	80
V_{t1}^E	10^3 м/с	3,0	2,9	2,9	3,0	2,87	3,0	2,95	2,9	2,9
σ_p	-	0,37	0,36	0,38	0,30	-	0,38	0,30	0,33	0,33
k_p	-	0,55	0,60	0,60	0,57	0,60	0,62	0,63	0,61	0,64
k_{15}	-	0,60	-	-	0,73	-	-	-	-	-
k_{33}	-	0,67	0,68	0,68	0,70	-	-	0,74	0,72	0,73
d_{31}	10^{-12} Кл/Н	-170	-170	-160	-90	-260	-310	-310	-190	-200
d_{33}	10^{-12} Кл/Н	350	350	340	220	550	650	800	450	470
d_{15}	10^{-12} Кл/Н	400	400	-	440	-	-	-	-	-
g_{31}	10^{-3} В•м/Н	-11,0	-11,3	-10,6	-15,2	-7,3	-6,2	6,9	-10,2	-10,3
g_{33}	10^{-3} В•м/Н	22,6	23,3	22,6	37,1	-15,5	12,9	17,7	23,1	24,1
(ООЧ) _p	%	0,8	-	-	3,0	-	-	-	-	-
(ООЧ) _{зд}	%	0,9	-	-	1,1	-	-	-	-	-
(ООЧ) _{ск}	%	1,0	-	-	2,0	-	-	-	-	-
$T_{раб}$	°C	200	250	250	200	100	85	80	180	180
ρ_v , не менее	При 100°C, 10^6 , Ом•м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ρ	10^3 кг/м ³	7,5	7,6	7,6	7,7	7,4	7,6	7,8	7,5	7,6

Розрахунок довжини хвилі для п'єзоперетворювача:

$$\lambda_{пе} = \frac{C_{цтс}}{f_p} \quad (2.4)$$

де $C_{цтс}$ – швидкість поширення ультразвуку в ЦТС-19

$$\lambda_{пе} = \frac{3000}{2.5 \cdot 10^6} = 1.2 \text{ (мм)} \quad (2.5)$$

Вирахуємо розміри п'єзоелементу, використавши формулу (2.6):

$$h = \frac{3 \cdot 10^3}{2 \cdot 2.5 \cdot 10^6} = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} = 0.6 \text{ (мм)} \quad (2.6)$$

Знайдемо поперечний розмір перетворювачу за формулою (2.7):

$$\frac{2a}{0.6} \approx 20; \quad 2a \approx 20 \cdot 0.6; \quad 2a \approx 12 \text{ (мм)} \quad (2.7)$$

					<i>ПК6104.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Проаналізувавши розраховані величини, робимо висновок про геометричний розмір п'єзоелемента:

$$h = 0.6 \text{ (мм)}$$

$$2a = 12 \text{ (мм)}$$

Період коливання, виходячи з відомої частоти:

$$T = \frac{1}{f_p} = \frac{1}{2.5 \cdot 10^6} = 0.4 \cdot 10^{-6} \text{ (с)} \quad (2.7)$$

Загальний час зондувального імпульсу τ_i лежить в межах:

$$\tau_i = (3 \div 5)T \quad (2.8)$$

Обираємо $\tau_i = 5 \cdot T$, тоді:

$$\tau_i = 5 \cdot 0.4 \cdot 10^{-6} = 2 \text{ (мкс)} \quad (2.9)$$

Повздовжня роздільна здатність дорівнює:

$$\delta_D = \frac{1568 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{2} = 1,568 \text{ (мм)} \quad (2.10)$$

Для матеріала демпфера обираємо компаунд К-293М (рис. 2.2).[8-9].

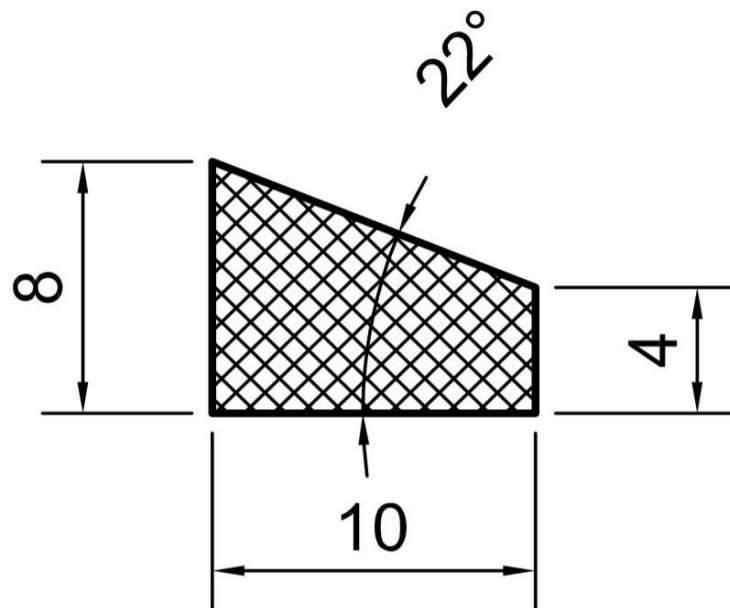


Рисунок 2.2. Геометричні розміри демпфера

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.4. Розрахунок товщини просвітлюючого шару

Важливим елементом у п'єзоперетворювачі є просвітлюючий шар. Цей шар відіграє роль протектору (рис. 2.3), що оберігає пластинку п'єзоперетворювачу від стирання.

$$z_{\text{цтс}} = C_{\text{цтс}} \cdot \rho_{\text{цтс}}$$

$C_{\text{цтс}}$ і $\rho_{\text{цтс}}$ – значення беремо с табл. 2.1

$$z_{\text{цтс}} = 3 \cdot 10^3 \cdot 7.5 \cdot 10^3 = 22.5 \cdot 10^6 \left(\text{Па} \frac{\text{с}}{\text{м}} \right) \quad (2.11)$$

$$z_{\text{пш}} = \sqrt{z_{\text{цтс}} \cdot z_{\text{ок}}} = 31.9 \cdot 10^6 \left(\text{Па} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}} \right) \quad (2.12)$$

де $z_{\text{цтс}}$ – імпеданс ЦТС-19 [$\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$], $z_{\text{ок}}$ – імпеданс ОК [$\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$].

Ближчим до знайденого імпедансу є імпеданс латуні ($C_{\text{лат}} = 4.28 \cdot 10^6 \text{ М}/\text{с}$, $\rho_{\text{лат}} = 8.6 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$).

$$Z_{\text{лат}} = \rho_{\text{лат}} \cdot C_{\text{лат}} = 8.6 \cdot 10^3 \cdot 4.28 \cdot 10^3 = 36.8 (\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}) \quad (2.13)$$

де $Z_{\text{лат}}$ – імпеданс латуні, $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$

Якщо обираємо просвітлюючим шаром латунь, то робимо висновок, що $C_{\text{пш}} = C_{\text{лат}}$.

$$\lambda_{\text{пш}} = \frac{C_{\text{пш}}}{f} = \frac{4280}{2.5 \cdot 10^6} = 1.712 (\text{мм}) \quad (2.14)$$

Товщина просвітлюючого шару розраховується як:

$$D_{\text{пш}} = n \frac{1}{4} \lambda_{\text{пш}} = \frac{1.92 \cdot 10^{-3}}{4} = 0.428 (\text{мм}) \quad (2.15)$$

Виходячи з розрахованих параметрів та скориставшись конструктивними міркуваннями, отримуємо такі величини просвітлюючого шару (Рис.2.3).[8-9].

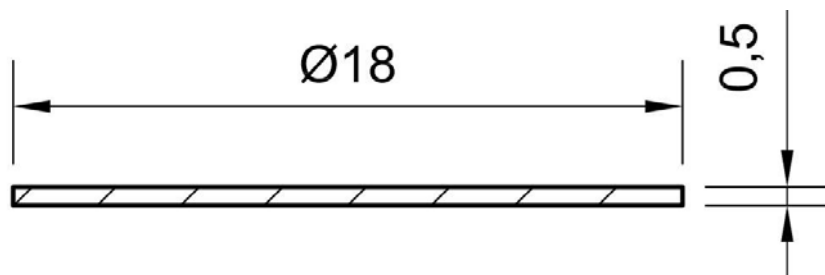


Рисунок 2.3. Протектор (просвітлюючий шар)

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

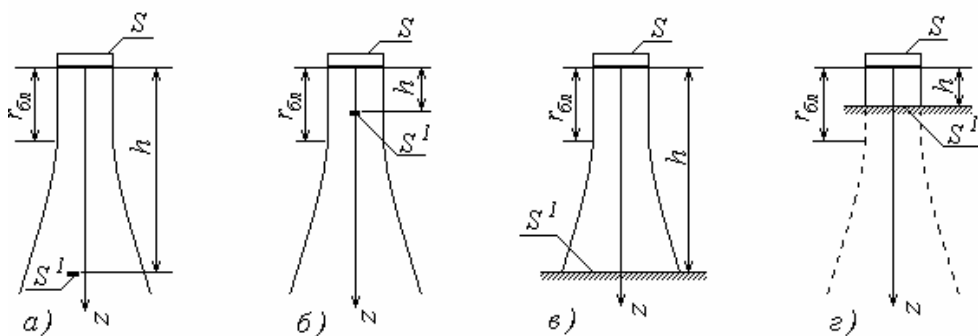
2.5. Розрахунок електроакустичного тракту

Акустичний тракт складається з п'єзоелектричного перетворювача й інших конструкційних елементів, що входять в перетворювач, які впливають на зміну форми сигналу, а ще володіють фізичним контактом з перетворювачем в електричному ланцюзі. Таким способом отримується електроакустичний тракт, що включає в себе електричний ланцюг, по якому пересуваються сигнали від елемента, що генерує ударні збудження, до п'єзоелектричного перетворювача, який перетворює згенеровані сигнали напруги в акустичні сигнали, а у випадку зворотнього процесу відбувається формування електричного сигналу, що виводиться на вхідний ланцюг підсилювача. Важливим параметром для оцінки електроакустичного тракту вважають коефіцієнт акустичного тракту:

$$K_{AT} = \frac{U_{\Pi}}{U_B} \quad (2.16)$$

де U_{Π} – величина прийнятої напруги сигналу, яку підведено на вхід електроакустичного тракту (мається на увазі аналоговий), U_B – величина напруги для зондуючого сигналу.

Розрахунок коефіцієнту ослаблення для акустичних трактів залежний від декількох величин, а саме: розмірів дефектів і їх розташування на головній пелюстці. Тому на рис. 2.4. представлено основні моделі, характерні для акустичних трактів. Враховується, що для випромінювача і відбивача притаманна форма диску. Для кожної базової моделі приводиться індивідуальна формула для розрахунку.



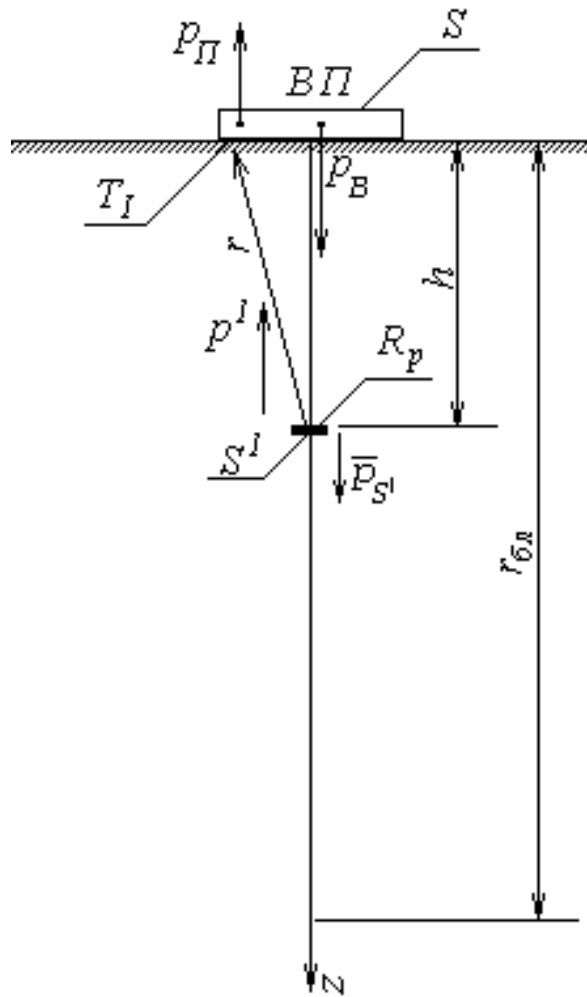


Рисунок 2.6. Променева картинка акустичного тракту, модель Б

$$K_{AT} = 0.8 \frac{S^1}{\lambda h} T_1 R_p e^{-2ha_p}; \quad (2.18)$$

$$K_{AT} = 0.8 \cdot \frac{1}{2,32 \cdot 100} 0.942 \cdot 0.9894 \cdot e^{-2 \cdot 0.1} = 2.38 \cdot 10^{-3}$$

Модель В. Відбивачем є плоска горизонтальна поверхня, розташована в дальній зоні випромінювача, розміри якої значно перевищують розміри випромінювача, тобто повністю перекривають акустичний тракт (рис.2.7). Цей випадок характерний для товщинометрії великої товщини, глибиномірів і ін.

$$K_{AT} = \frac{S}{2\lambda h} T_1 R_p e^{-2ha_p} R(\bar{\theta}); \quad (2.20)$$

$$K_{AT} = \frac{113.1}{2 \cdot 2.32 \cdot 100} \cdot 0.942 \cdot 0.9894 \cdot e^{-2 \cdot 0.1} \cdot 0.8855 = 0.1647$$

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Портативність дефектоскопу

Однією з важливих задач сучасного інженера-конструктора є проектування приладу та системи, яка автоматизована на високому рівні і має змогу до конкурування з вже створеними пристроями. Так як сьогодні вже є багато готових рішень, основним завдання інженера є аналіз готових, і вибір універсального вирішення із можливістю вдосконалення. Параметри, що мають вплив для конкурентоспроможності наявного пристрою, є вилучення собівартості, адаптивності, габаритних розмірів, а також просте застосування. В даній роботі вирішую задачу вироблення портативного приладу, який застосовує в своїй роботі ультразвуковий спосіб виявлення дефекту та використовує більш зручний і ефективний алгоритм, ніж аналоги, для передавання й оброблення інформації. Коли організуємо зв'язок між блоком перетворення й оброблення інформації, досить часто застосовують кабель, але в випадку, коли прямий доступ відсутній між блоками, з'являється потреба в використанні бездротової системи для передавання даних. Таким методом передачі можливо не тільки звільнитися від фізичних зв'язків двох і більше елементів пристрою, а і в подальшому автоматизувати пристрій.

Використання бездротової технології для передавання даних надає можливість застосовувати пристрій для автоматизованої системи, ціль якої: проводити контроль зварних швів листовидібних матеріалів, склейки, пайки на відсутність дефектів. Завдяки можливості застосовувати радіохвильові системи передавання інформації, вирішена проблема передачі і обробки інформації на відстанях.[19].

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

2.7. Огляд технологій бездротової передачі даних

Все більше і більше бездротове підключення до блоків обробки витісняє підключення кабелями. Такий спосіб більше захищений і має велику гнучкість у застосуванні. В роботі буде розглянуто 3 найбільше поширені технології для передавання даних без кабелю: BLUETOOTH, WI-FI, GSM. Вони були вибрані з метою того, що доступні в сучасному смартфоні.

2.7.1. Технологія бездротової передачі даних WI-FI

Технологія бездротового передавання даних WI-FI налаштована за стандартом IEEE 802.11.[20] Він включає в себе 3 підвиди, різними за діапазонами частоти та видами модуляції: 802.11a, 802.11b, 802.11g.

Зазвичай WI-FI мережа створена однією або декількома точками доступу та декількома клієнтами. При використанні технології стає можливим під'єднання декількох користувачів між собою, виключаючи застосування мережевого адаптера (AD-HOC). Спосіб, за яким клієнт підключається до мережі, коротко описується: точки доступів надають свої ідентифікатори мереж (SSID – Service Set Identifier) за рахунок сигнального пакету при швидкості 0,1 Мбіт/с кожні 100 мс. Ось чому найменшою швидкістю для передавання даних вважають 0,1 Мбіт/с. Якщо SSID окремих мереж відомо, клієнти можуть бачити, чи є можливість підключитися до мереж застосовуючі дані точки доступу. Коли складається ситуація, що клієнт знаходиться в зоні поширення сигналів декількох точок з однаковими SSID, юзер має можливість самостійно обрати, користуючись орієнтиром рівня сигналів. Перевагою стандартів WI-FI є вільний вибір користувача критерію під'єднання.

Проте цей стандарт не дає повністю опис всіх нюансів роботи бездротової мережі WI-FI, ось чому виготовники бездротових пристроїв пропонують різні рішення цієї задачі, застосовуючи методи для встановлення мережі, які вважають потрібними з особистих міркувань.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Посеред різних вимог з'являється потреба класифікувати бездротові локальні мережі WI-FI. Точку доступу можна розділити за способами з'єднання в одну систему:

1. Самостійна точка доступу;
2. Централізована точка - працює з контролером;
3. Безконтрольна точка, проте не автономна (без нагляду контролера).[21]

2.7.2. Бездротова технологія BLUETOOTH

BLUETOOTH заснований на стандарті IEEE 802.15.1 та це перша технологія, яка дозволяє використовувати бездротові персональні мережі. Використовуючі антену та цю технологію сигнал можна поширювати на відстань до 250-300 м. Цей стандарт застосовується у компактній системі зв'язку на невеликих відстанях. Такий модуль застосовують в ноутбуках, планшетах, смартфонах, плеєрах. BLUETOOTH-інтерфейс має такі характеристики: низьке енергоспоживання (до 1 мВт потужності), передача інформації в real-time.

Радіоканали, які застосовуються технологією BLUETOOTH 2.0 маю покращення: пропускна здатність 1 Мб/с. За такої умови можна розробити асиметричні канали передачі даних з швидкостями 723,3/57,6 Кб/с або навіть канал, який застосовує однакові швидкості для приймання й передавання даних (називають дуплексним каналом) із швидкістю до 433,9 Кб/с.

Стандарт BLUETOOTH застосовує сигнал із розширеним спектром перебудовою ступінчатої частоти (FHSS) за рандомним законом, швидкість якого сягає 1600 переключань за секунду на відрізьку 2400-2483,5 МГц.[22, 23]

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

2.7.3. Технологія GSM

Стандарт GSM (Groupe Special Mobile) – світова технологія для мобільних стільникових зв'язків, із застосуванням єдиного методу доступу, який розрахований для більшості юзерів, зокрема метод TDMA (Time Division Multiple Access), а також великим показником захисту, використовується шифрування. Ця технологія була розроблена за участі Європейського інституту стандартизації електров'язку (ETSI) наприкінці 80-х.[24]

Пристрої та системи, які використовуються в задачах неруйнівного контролю теж застосовують технологію GSM для передачі даних між первинним перетворювачем та блоком оброблення даних. Для відправлення й приймання інформації застосовується технології CSD, GPRS, і EDGE, швидкість бездротової передачі яких становить відповідно 9,6 кбіт/с, 53.6 кбіт/с, 384 кбіт/с.

Удосконаленою технологією GSM є UMTS (3g, 4g+). Технологія UMTS забезпечує швидкість передавання даних на мобільній станції R99 384 кбіт/с. Покриттям UMTS зараз забезпечена вся наша країна.[25]

2.7.4. Обґрунтування вибору Bluetooth технології для сполучення сенсора зі смартфоном

Поняття створення бездротового каналу передавання інформації для неруйнівного контролю має важливий зміст, а також при побудові автоматизованої системи збирання і передавання даних. Саме бездротове передавання даних дає можливість зменшити затрачений час на контроль об'єкта, мінімізувати число персоналу. Так як BLUETOOTH технологія енергоефективна і доступна в будь-якому смартфоні, вирішено застосовувати її для під'єднання сенсора з телефоном. А також оброблювати сигнал за допомогою смартфона, із наданням можливості відправлення результатів проведення контролю на серверну частину.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розробка конструкції п'єзодатчика

Датчик має просту конструкцію, але має складатися з таких елементів: п'єзоелементу, демпфера, основи, корпусу, гвинту і кришки. Ось чому процес створення такого перетворювача передбачає процес отримання кожного окремих елементів і їх об'єднання між собою.

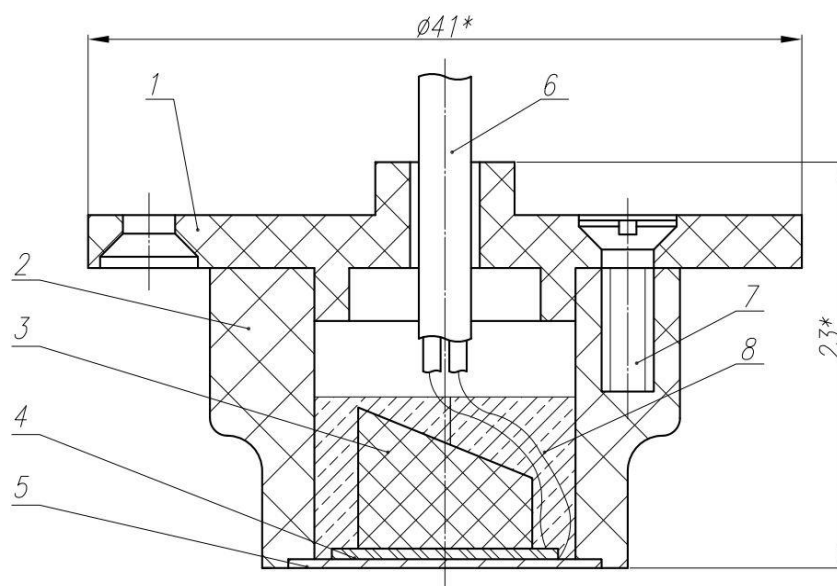


Рисунок 3.1. П'єзодатчик

1 – Кришка, 2 – Корпус, 3 – Демпфер, 4 – П'єзоелемент, 5 – Протектор, 6 – Дріт, 7 – Гвинт,
8 – Епоксидна смола

Корпус відіграє роль захисної деталі конструкції. Під час збирання пристрою потрібно припаяти дроти до п'єзоелемента, потім приклеїти п'єзоелемент до демпфера і протектора. Приклеїти елемент датчика до корпусу, тоді заливається епоксидна смола всередину простору конструкції на $2/3$ об'єма. Дроти, які сполучені із п'єзоелементом, йдуть скрізь щілину в кришці. Потім отвір перекривається гайками на кришці. Останній крок збирання – вкрутити гвинт скрізь кришку до корпусу із п'єзоелементом.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК6104.0000.000 ПЗ

Арк.

49

3.2. Опис функціональної схеми

Ультразвуковий дефектоскоп з бездротовим передаванням інформації представлений на рисунку, а саме його функціональна схема (рис.3.2). Блок перетворення можливо розділити складається з аналогової й цифрової частини. Аналогова (1) складається з генератора ударних збуджень, який представлений у виді п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП), на нього подаємо опорну напругу (ОН) крізь ключ (К). Блок керування (БК) задає частоту ударного збудження завдяки короткому імпульсу. Згенерований імпульс розповсюджується по об'єкту контролю (ОК), потім доходить дефектів, відлунюється назад на ПЕП. Одержаний луноімпульс характеризується малою амплітудою, ось чому перед оцифровкою його підсилюють (П). Цифрова складова схеми (2) несе відповідальність за трансформацію аналогових сигналів в цифрові (АЦП), в блоці передавання інформації (БПІ) перенаправляє сигнал в блок, який відповідає за обробку інформації (БОІ).[26-28]

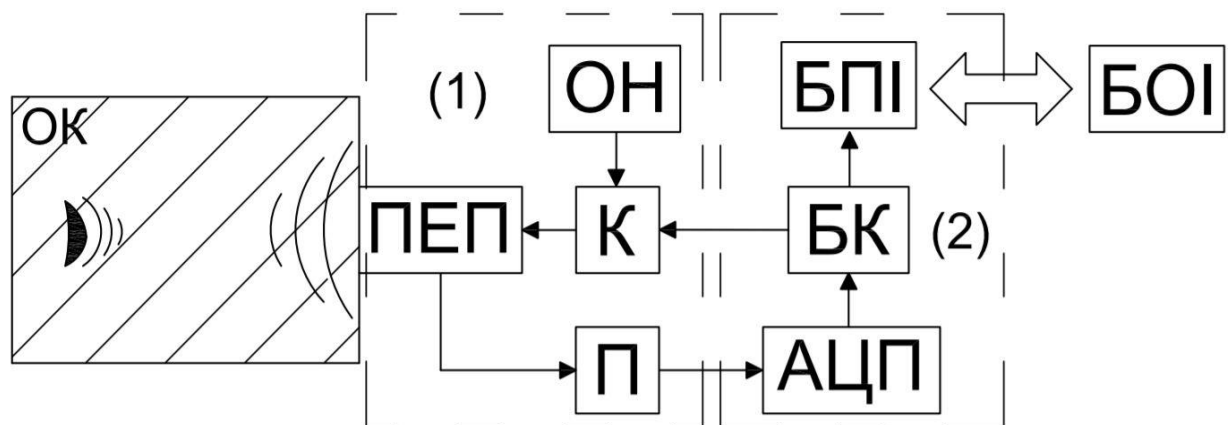


Рисунок 3.2 Функціональна схема ультразвукового дефектоскопу

ОК – об'єкт контролю, ОН – опорна напруга, К – ключ, ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач, П – підсилювач, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, БК – блок керування, БПІ – блок передачі інформації, БОІ – блок обробки інформації.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Розрахунок ударного збудження

Для того щоб сформувати ударне збудження в ОК, потрібно створити короткотривалий імпульс тривалістю 0,25 від довжин хвиль. Під час появи імпульсів на п'єзоперетворювачі сформовується ультразвукове коливання, що і потрапляє в об'єкт контролю.

Блок, що генерує ударні збудження працює так (рис. 4.1): спочатку конденсатор $C1$ скупчує енергію, яка дорівнює напругі живлення. В нашій ситуації в ролі джерела напруги виступає імпульсний перетворювач сталої напруги, який має на початку низьку напругу, потім її конвертує до високочастотної імпульсної. Потім відбувається відкриття транзисторного ключа $VT1$ і розрядка ПЕП після того, як мікроконтролер сформував короткий імпульс. Потім $VT1$ одразу зачинається й цикл розпочинається спочатку. Так і одержано короткі імпульси на виході системи.[29-32]

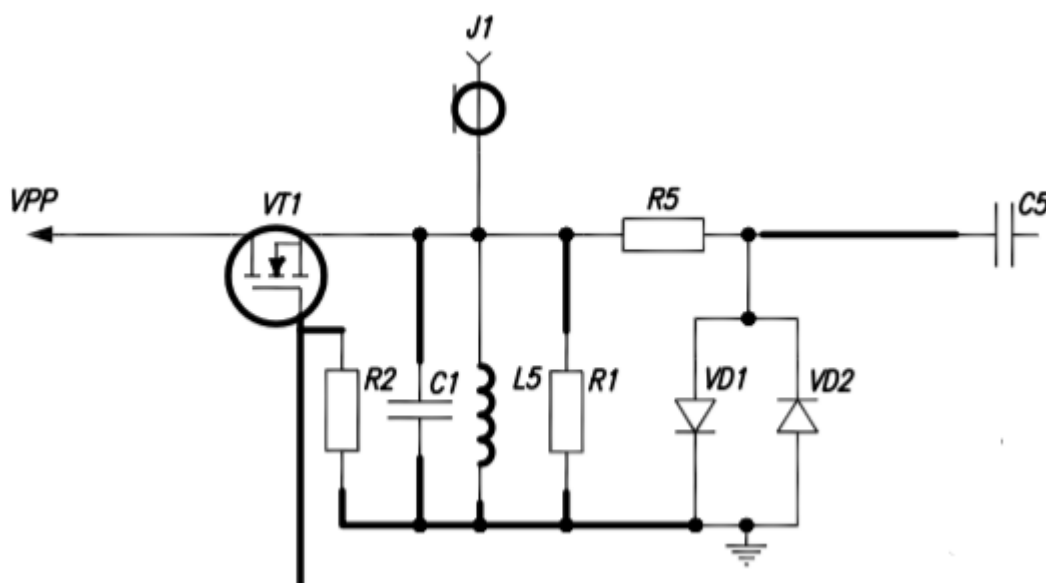


Рисунок 4.1 Схема генератора ударного збудження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Експериментуючи визначили - напруга зондувальних імпульсів має дорівнювати 10 В.

Розрахована напруга живлення E дорівнює:

$$U_{max} = 0.4 E \quad (4.1)$$
$$E = \frac{U_{max}}{0.4} = 25 \text{ В}$$

Завдячуючи новим схемам живлення, стало можливим збільшення напруги до 30V. Задаємося $E = 30 \text{ В}$.

Щоб мінімізувати енергоємність контуру ($W = \frac{C_1 \cdot E^2}{2}$), задаємося ємністю $C_1 = 2,2 \text{ мкФ}$.

Оскільки в даній схемі використовуємо велику частину ємності, тоді щоб збуджувались УЗ коливання, використовуємо генератор для ударних збуджень контуру, в ньому ємністю є п'єзоелектричний перетворювач.

Генератор працює за наступним принципом: після підключення сталої напруги E , C_1 підзаряджається до певного рівня напруги U_0 , яка визначається як постійна часу ланцюга заряду $\tau_{зар}$.

$$\tau_{зар} = R_1 \cdot C_1 = 0.1 \text{ мкс} \quad (4.2)$$

То

$$R_1 = \frac{10^{-7}}{C_1} = 46.8 \text{ Ом} \quad (4.3)$$

Задаємося $R_1 = 50 \text{ Ом}$, то $\tau_{зар} = 0.1 \text{ мкс}$

Щоб спростити схему, підбираємо транзистор, в якому низький рівень напруги, потрібний щоб відкрити транзистор. Як результат, вибрали резистор IRLML0100TRPbF.

- 1) Частота $f = 1 \text{ МГц}$
- 2) Напруга управління база – емітор $U_{бе} = 1 \div 2.5 \text{ В}$
- 3) Час до відпрацювання $t_1 = 4 \text{ нс}$
- 4) Час до закриття $t_2 = 9 \text{ нс}$

					<i>ПК6104.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Під час замикання транзистора VT1 п'єзоелемент розряджається на контур через його внутрішній опір.[29-32]

Стала часу розрядження

$$\tau_{\text{роз}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{пеп}}}{C_1 + C_{\text{пеп}}} \cdot R_{\text{ПЕП}} \quad (4.4)$$

$$R_{\text{ПЕП}} = 0.5 \div 1 \text{ Ом}$$

$$C_{\text{ПЕ}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad (4.5)$$

де $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – електрична стала ; ε - відносна діелектрична стала (для ЦТС-19 $\varepsilon=1200$)

$$S = \pi a^2 = 3.1415 \cdot 0.6^2 = 1.131 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (4.6)$$

$D = H = 0.6 \text{ мм}$ – товщина ПЕП

$$C_{\text{пеп}} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1200 \cdot \frac{1.131 \cdot 10^{-6}}{0.6 \cdot 10^{-3}} = 20.028 \text{ pF} \quad (4.7)$$

То:

$$\tau_{\text{роз}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{пеп}}}{C_1 + C_{\text{пеп}}} \cdot R_{\text{ПЕП}} = \frac{2.2 \cdot 10^{-6} \cdot 20.028 \cdot 10^{-12}}{2.2 \cdot 10^{-6} + 20.028 \cdot 10^{-12}} \cdot 50 \cong 1 \text{ нс} \quad (4.8)$$

Має бути справедливою умова:

$$\tau_{\text{роз}} \ll \tau_{\text{зар}} (1 \text{ нс} \ll 10 \text{ мкс})$$

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. Розрахунок підсилювача

Для оброблення отриманих сигналів потрібно спочатку підсилити їх до рівня 1 В.

Було обрано операційний підсилювач серії AD605:

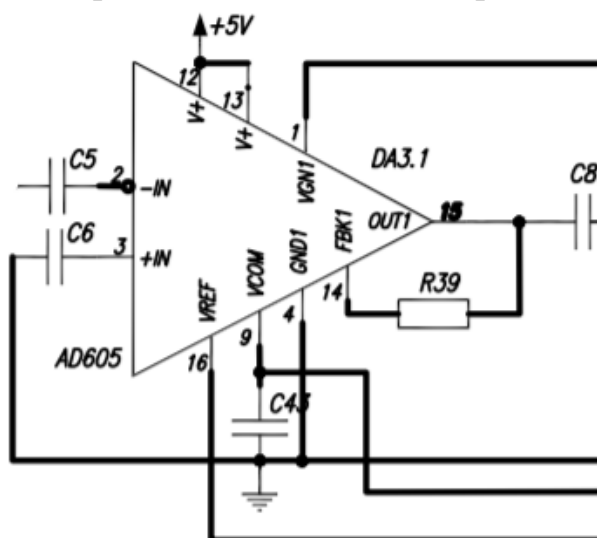


Рис.4.2 Підсилювач AD605

Мікросхема AD605 – дешеви операційний підсилювач, який працює від єдиного джерела живлення, в якому розширений діапазон вхідних напруг (нижче V^-). Характеризується високою швидкістю наростання вихідної напруги (700 В / мкс) і можливістю роботи на високій частоті (140 МГц GBWP), тому і використовуємо AD605. AD605 гарно підходить під відео-додаток. Вихідний каскад має можливість забезпечувати 80 мА із навантажкою 1 В.

Вхідним шумом напруги можна знехтувати, бо він занадто низкий, а для вхідної напруги шум нижчий за напругу живлення V^- . Саме ці властивості підсилюють сигнали низьких рівнів. Із малим значенням спотворення і високою швидкістю дії, AD605 має змогу для буферизації додатків D/A і A/D.

Мікросхема AD605 обрана як операційний підсилювач, бо задовольняє всім потрібні функціональні параметри, таким як:

									Арк.
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Також мікросхема складається з буфера об'ємом 1024 байт пам'яті, який тимчасово зберігає дані. Передбачена зміна в об'ємі буферу для різноманітних завдань. Перевагою цих мікросхем є невелике енергоспоживання (max 200 мА) і невелика напруга живлення (2,7 – 3,3V). Ця мікросхема виробляється в малогабаритних пластикових корпусах TQFP-48 (рис.4.4), що ще більше мінімізує габаритні розміри плати.[16, 33]

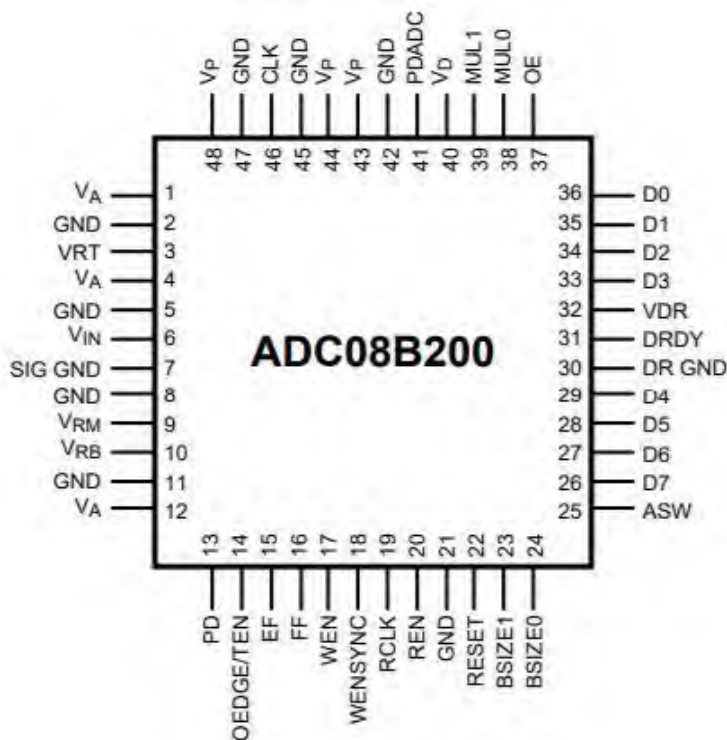


Figure 1. TQFP Package
See Package Number PFB0048A

Рисунок 4.4. Схематичне розташування виводів мікросхеми в пластиковому корпусі TQFP-48

4.4. Підбір мікроконтролера

Заснований на базі ARM Cortex-M4 мікроконтролер серії STM32 F4 є продовження лінійки STM32, що володіє більшою результативністю.

Мають інструкція DSP і модулі операцій із плаваючою комою. Динамічне споживання енергії забезпечує зниження використання струму під

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

час виконання коду з флеш-пам'яті до 140 мкА / МГц для STM32F401 (максимальна частота до 84 МГц) і до 238 мкА / МГц для STM32F42x / 43x, які роблять з частотами до 180 МГц. Мікроконтролер серії STM32 F4 створений як результат злиття можливостей управління МК в real-time і продуктивністю оброблення сигналу, властивої сигнальним процесорам. Серія має п'ять класів продукції, які в повній мірі сумісні.

Характеристики серії:

1) STM32F401- 84 MHz CPU / 105 DMIPS. Є екскурсом в серію STM32 F4, пропонуючи низьке енергоспоживання зменшується, а корпусу малих розмірів, на відміну від інших класів серії STM32 F4.

2) STM32F405 та 415 - 168 MHz CPU з 210 DMIPS, має 1 МБайт флеш пам'яті з розширеними можливостями сполучення і шифрування.

3) STM32F407 та 417 - 168 MHz CPU з 210 DMIPS, має 1 МБайт флеш пам'яті з наявністю Ethernet MAC і інтерфейсом камери для STM32F405 / 415.

4) STM32F427 та 437 - 168 MHz CPU з 210 DMIPS, має 2 МБайт флеш, доповнюючи STM32F407 та F417 розширеними можливостями сполучення і шифрування.

5) STM32F429 та 439 - 180 MHz CPU з 225 DMIPS, має 2 МБайт двухбанкової флеш-пам'яті з інтерфейсом SDRAM, контролером TFT LCD, технологією акселерації Chrom-ART, аудіоінтерфейсом, пропонуючи велику

6) продуктивність і менше енергоспоживання в порівнянні з серією STM32F4x7 та F4x5.

Загальні характеристики МК сімейства:

- 1) ARM 32-bit Cortex-M4 CPU;
- 2) Частоти дискретизації 168МГц, 210 DMIPS / 1.25 DMIPS / МГц
- 3) Підтримка DSP-інструкцій;
- 4) Нова надпродуктивна АНВ-матриця шин;
- 5) Не більш як 1 Мбайт Flash-пам'яті;
- 6) До 192 та 4 кбайт SRAM-пам'яті;

										Арк.
										57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПК6104.0000.000 ПЗ					

- 7) Середня напруга живлення 3,3V;
- 8) Внутрішній генератор на 16МГц або 32кГц ;
- 9) Зовнішнє джерело тактових імпульсів 4 ... 26МГц та для RTC - 32,768кГц;
- 10) Модулі налагодження SWD / JTAG, модуль ETM;
- 11) Має три 12-біт АЦП на 24 вхідних каналу
- 12) Два 12-бітних ЦАП;
- 13) DMA-контролер розрахований під 16 потоків з підтримкою пакетної передачі даних;
- 14) 17 таймерів (розраховані на 16 та 32 розряду);
- 15) Два сторожових таймера (WDG і IWDG);
- 16) Комунікаційні інтерфейси:USART (ISO 7816, LIN, IrDA), I2C, I2S, SPI;
- 17) CAN (2,0 В Active);
- 18) USB 2.0 FS / HS OTG;
- 19) Контролер SDIO (карти SD, SDIO, MMC, CE-ATA);
- 20) 96-бітний унікальний ID, апаратне обчислення CRC;
- 21) Модуль шифрування HMAC, AES 128, 192, 256, HASH (MD5, SHA-1), Triple DES;
- 22) Температурний діапазон розширений до меж: -40 ... 105 ° C.[34]

4.5. Опис роботи розробленої електричної принципової схеми

Спроектована модель портативного ультразвукового дефектоскопу, макетну плату якого представлено на рис. 4.5, має можливість застосовувати ультразвуковий датчик із різними частотами резонансу (1/1.25/2.5/5 МГц) з-за динамічний змін роздільної здатності АЦП. Створено всі можливості зміни програмного забезпечення мікроконтролера і десяти пінів, які можливо запрограмувати під різні задачі: індикацію, динамічні настройки окремих величин приладу, підключення інших датчиків.

					<i>ПК6104.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

5. ВІРОГІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ

У цьому розділі розбираються головні чинники появи помилок та їх дія на рівень вихідних показників. Оглянуті фактори похибок: спричинена роздільною здатністю АЦП, операційних підсилювачів, проходження луно-імпульсу через нестабільний акустичний контакт.

5.1. Похибка зумовлена квантуванням АЦП

Головною похибкою при обчисленні АЦП є похибка рівня квантування. У цифровому вимірювальному пристрої квантування в основному еталонна величина, однакова із вимірюваною чи з одною із проміжних величин. Внаслідок порівнювання значень рівня квантування з зазначеною величиною, а також наступного числового кодування, на кожний наданий розмір вимірюваної величини на виході АЦП представлений більш близьким значенням.

Похибка роздільної здатності:

$$\Delta_{\text{квант.}} = \frac{\Delta}{2} \quad (5.1)$$

Роздільна здатність АЦП представлена, як:

$$\Delta = \frac{1}{2^N} * 100\% \quad (5.2)$$

Розрахуємо похибку квантування:

$$\Delta = \frac{1}{2^8} * 100\% = 0.040\%$$

$$\Delta_{\text{квант.}} = \frac{\Delta}{2} = 0,020\%$$

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2. Похибка операційних підсилювачів

Розрахуємо відносну похибку підсилювачів:

$$\delta_{.M} = \frac{\delta_k}{1 + K \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \quad (5.3)$$

δ_k - мультиплікативна похибка (0,1%)

$$\delta_{.M_1} = \frac{0,1}{1 + \frac{50}{51}} = 0,05\%$$

Загальна похибка є добутком похибок АЦП та підсилювача:

$$\Delta_{заг} = \Delta_{квант} * \Delta_{ЧРЧ} * \Delta_{підс.} \quad \Delta_{заг} = 0,020 \cdot 0,05 = 0,001\%$$

5.3. Оцінка вірогідності контролю

Найсуттєвішим розрахунком цього розділу є оцінка вірогідності контролю. В контролі дефектів в об'єкті контролю з'являється помилка 1-го роду, яка з'являється при не правильному судженні, що об'єкт контролю без дефектів визначається як дефектний. Альтернативні похибка з'являються в протилежному випадку, де дефектний матеріал може сприйматись як бездефектний, це похибка 2-го роду. Відомості про наявність дефекту знаходяться у вихідному сигналі п'єзо-перетворювача.

Відхилення, за основу якого прийняти граничний сигнал з відхиленням в 1%. Помилки 1 і 2 роду спільно рівні між собою а також прийняті рівними 1%. [36, 37]

$$\alpha = 1\%, \beta = 1\%$$

Вірогідність контролю становить:

$$P = 1 - (\alpha + \beta) = 1 - (0.01 + 0.01) = 0.98$$

Вірогідність контролю дорівнює $P = 98\%$.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ВИСНОВКИ

Проектування мобільного ультразвукового дефектоскопа є головною ціллю та завданням даного дипломного проекту. Для того щоб вирішити поставлене завдання було здійснено аналіз наявних методів ультразвукової дефектоскопії та створені на їх основі сучасні пристрої. Після того як був вибрано оптимальний метод, зроблено розрахунок та сформовано принцип роботи та взаємодія основних елементів пристрою.

Також було розглянуто теоретичну частину проходження ультразвукових коливань в досліджуваному об'єкті та методи збудження та приймання ультразвукових коливань, методи зображення одержаних даних в графічній формі.

Досить значна увага приділена способам ультразвукової дефектоскопії до складу яких входять: методи проходження, луно-імпульсні методи та їх різновидності. Були розглянуті способи побудування ультразвукових датчиків. Проведено аналіз принципу роботи найсучасніших ультразвукових дефектоскопів.

Спираючись на теоретичну частину був обраний оптимальніший метод ультразвукової дефектоскопії, а конкретно луно-імпульсний метод, який застосовує прямий суміщений п'єзо-перетворювач. Розраховані також основні геометричні розміри найголовніших елементів датчика: п'єзопластини, демпферу і просвітлюючого шару.

Отримавши параметри п'єзо-перетворювача було зроблено розрахунок акустичного тракту та було визначено ступінь згасання сигналу після проходження об'єкту контролю.

Наступною частиною проекту стала конструкторська-технологічна частина у якій спроектовано й розроблено метод побудови п'єзо-датчика із наданими параметрами, на основі вже відомих аналогів пристрої була створена й описана структурна схеми мобільного ультразвукового дефектоскопу.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

В основі структурної схеми було підібрано елементну базу та розроблено функціональну схему враховуючи вже надані параметри схеми. Далі користуючись аналогами існуючих схем була спроектована макетна плата та описано її функціональну властивості.

Останньою частиною проекту є розрахунки вірогідності контролю даного пристрою, керуючись його структурою та конструктивними параметрами для використання.

Кінцевим результатом дипломного проекту став розроблений ультразвуковий мобільний дефектоскоп з бездротовою технологією передавання інформації, який може бути використаний для автоматизованих систем контролю зварних швів листового матеріалу, склеювання, пайки та і т. д. на наявність дефектів.

До суттєвих плюсів відноситься малогабаритність, адаптивність під умови контролю та мале енергоспоживання, які дають приладу універсальність у застосуванні в місцях, де важкодоступний доступ.

Змога використання радіохвильової системи передачі даних надає можливість у застосуванні досконаліших систем оброблення інформації на великих відстанях від ОК.[15, 38]

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Список літератури

1. Petryk, V. Wireless data transmission in ultrasonic nondestructive testing = Беспроводная передача данных в ультразвуковом неразрушающем контроле / Valentyn Petryk, Anatoliy Protasov, Kostiantyn Syeryu, Serhiy Ukrainec // Ж-л «Научни Известия на НТСМ»: материалы международной конференции «Дни НК 2017». – Созополь, 2017. – №1 (216). – С. 121–123.

2. Повшенко, О. А. Безпроводна передача даних в системах неруйнівного контролю шляхом застосування GSM/GPRS технологій / О. А. Повшенко, В. Ф. Петрик // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання : матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-16 листопада 2017 р. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – С. 45–47.

3. Миргородський, О. О. Використання бездротових технологій в задачах неруйнівного контролю / О. О. Миргородський, В. Ф. Петрик // Погляд у майбутнє приладобудування: матеріали 10-ї міжнародної науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, Київ, 16– 17 травня 2017 р. / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 117.

4. Миргородський, О. О. Використання сучасних мобільних пристроїв та технологій бездротової передачі даних у неруйнівному контролі / О. О. Миргородський, В. Ф. Петрик // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання : матеріали VI Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів і молодих учених, м. Івано-Франківськ, 15-16 листопада 2017 р. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. – 2017. – С. 47.

5. Петрик, В. Ф. О возможности передачи данных неразрушающего контроля объектов на большие расстояния / В. Ф. Петрик, А. А. Миргородский // Найновите постижения на Европейската наука – 2017: материали за XIII

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

международна научна практична конференция, г. София, 15–22 юни 2017 г. – София : «БялГРАД» ООД, 2017. – С. 45-46.

6. Миргородский, А. А. О расширении возможностей беспроводных технологий в задачах неразрушающего контроля / А. А. Миргородский, В. Ф. Петрик // Новые направления развития приборостроения : материалы 10-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, г. Минск, 26–28 апреля 2017 г. : в 2 т. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 1. – С. 92.

7. Куц, Ю.В. Исследование импульсной вихретоковой системы контроля диэлектрических покрытий / Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, О. Л. Дугин, Ю. Ю. Лисенко // Журнал «Научни Известия НТСМ»: материалы международной конференции «Дни НК 2014», 09-18 червня, 2014 р. – Созополь, 2014. – № 150 – С. 28–30.

8. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

9. Основы ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ», 2010 – 448 с.

10. Гурвич А. К., Ермолов И. Н. Ультразвуковая дефектоскопия сварных швов — Киев: Техника, 1972, 460 с.

11. Щербинский В. Г., Пафос С. К., Гурвич А. К. Ультразвуковая дефектоскопия: вчера, сегодня, завтра //В мире неразрушающего контроля. — 2002. — №. 4. — С. 18.

12. «Ультразвуковые датчики (Часть 1). Устройство и работа. Особенности» : [Електр. ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/ultrazvukovye-datchiki/>

13. «Ультразвуковые датчики (Часть 2). Устройство и работа. Особенности» : [Електр. ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

									Арк.
									65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПК6104.0000.000 ПЗ				

<https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/ultrazvukovye-pribory/>

14. Petryk, V. Study of a mobile eddy current flaw detector / Valentyn Petryk, Olexandr Povshenko // CUTTING-EDGE SCIENCE – 2018 : materials of the International XIII scientific and practical conference, Sheffield, April 30–May 7, 2018. – Sheffield : «Science and aducation» LTD, 2018. – Volume 20. – Pp. 19–22.

15. Povshenko, O. Portable Ultrasound Flaw Detector / O. Povshenko, V. Petryk, A. Protasov // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі : матеріали 2-гої науково-технічної конференції, Польща, м. Люблін, 15-19 жовтня 2018 року. - Люблін, Польща, 2018.- С. 34-36.

16. Петрик, В. Ф. Вихретоковый дефектоскоп с беспроводной системой передачи данных / В. Ф. Петрик, В. В. Карпинский // Ключови въпроси в съвременната наука – 2016: материалы XII международна научна практична конференция, 15-22 април 2016. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2016. – Том 23. – С. 47–48.

17. Кустовський, О. Л. Бездротовий акустичний дефектоскоп / О. Л. Кустовський, В. Ф. Петрик, Р. С. Савченко // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання : матеріали II науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 25–26 листопада 2009 року. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. – С. 79.

18. Ультразвуковой контроль сварных соединений / В.А. Троицкий, В.Ю. Попов. — К.: Феникс, 2010. — 224 с. ISBN 978-966-651-804-3.

19. Петрик, В. Ф. Використання безпроводних технологій передачі даних для вирішення задач у неруйнівному контролі / О. Л. Кустовський, В. Ф. Петрик, К. М. Серий, Д. О. Мельник // Вісник НТУ «ХП», 2012 р. – № 40. – С.71-77.

20. Концепція безпроводної мережі Wi-Fi. [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/7460190/page:14/>.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Стандарт IEEE 802.11n [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://wireless-e.ru/standarty/standart-ieee-802-11n/>.

22. Петрик, В. Ф. Использование беспроводных технологий в дефектоскопии / В. Ф. Петрик, Г. М. Ковтун, Д. М. Топиха // Ж-л «Научни Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни НК 2014». – Сизополь, 2014. – № 150 – С. 486 – 488.

23. Петрик, В.Ф. Використання серійних мобільних пристроїв при проектуванні портативних дефектоскопів / Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Серый К.Н., Повшенко А.А. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2019. - Том 30 (69), Ч. 2, № 6. - С.12-16.

24. Петрик, В.Ф. Розвиток технологій неруйнівного контролю / В.Ф.Петрик, А.Г.Протасов // Збірник тез доповідей ХІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 року, м. Київ / ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 143-144.

25. Petryk, V. Portable non-destructive testing device based on serial mobile devices / V. Petryk, A. Protasov, O.Povshenko // матеріали 9-ї Національної науково-технічної конференції і виставки «Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2019», 19-21 листопада 2019 р., м. Київ, Україна – Київ : УТ НКТД, 2019. – С. 227-229.

26. Povshenko, O. Modeling of ultrasonic signals in diagnostic devices / O. Povshenko, A. Protasov, V. Petryk // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі : матеріали 3-ої науково-технічної конференції, Україна , м. Київ, 17-19 вересня 2019 року. - Київ, Україна, 2019.- С. 57-60.

27. Petryk, Valentyn. Defectoscope Based on Modern Mobile Devices / Valentyn Petryk, Anatolii Protasov // Збірник тез доповідей ХVІІІ Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», 15-16 травня 2019 року, м. Київ / ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 160.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Petryk, V. Ultrasound Flaw Detector Based on a Mobile Phone / Valentyn Petryk, Anatolii Protasov // CUTTING-EDGE SCIENCE – 2019 : materials of the International XV scientific and practical conference, Sheffield, April 30– May 7, 2019. – Sheffield : «Science and aducation» LTD, 2019. – Volume 14. – P. 64–66.

29. Патент України на корисну модель UA 76830 U, G01N 27/00. Вихрострумний дефектоскоп / О.Л. Кустовський, О.Л. Дугін, В.Ф. Петрик. – № u201212788; заявл. 09.11.2012; опубл. 10.01.2013. – Бюл. № 1/2013.

30. Патент України на корисну модель UA 50968 U, G01N 29/24. Спосіб неруйнівного контролю об'єктів та речовин / О.Л. Кустовський, В.Ф. Петрик. – № u201000374; заявл. 15.01.2010; опубл. 25.06.2010. – Бюл. № 12/2010.

31. Патент України на корисну модель UA 119536 U, G01N 29/00, G01N 29/34 (2006.01), G01N 29/26 (2006.01), H04W 88/04 (2009.01). Мобільний ультразвуковий дефектоскоп / В.Ф. Петрик, А.Г.Протасов, К.М.Серий, С.С.Українець. – № u201703958; заявл. 21.04.2017; опубл. 25.09.2017. – Бюл. № 18/2017.

32. Дугін, О. Л. Мобільний вихрострумний дефектоскоп / О. Л. Дугін , О. Л. Кустовський, В. Ф. Петрик // XX-та Міжнародна конференція та виставка «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики», м. Гурзуф, 01 - 05 жовтня 2012 р. – Гурзуф : УІЦ «Наука. Техніка. Технологія», 2012.

33. Аналогово-цифровий перетворювач [Електр. ресурс] – Режим доступу до ресурсу - https://uk.wikipedia.org/wiki/Аналого-цифровий_перетворювач .

34. Ходнев Т.А. Обзор микроконтроллеров семейства STM32F4 [Електронний ресурс] / Ходнев Т.А.. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://fpga.in.ua/dsp/dsp-theory/obzor-mikrokontrollerov-semejstvastm32f4.html>.

35. Куц, Ю.В. Экспериментальное исследование вихретоковой системы контроля крупногабаритных изделий / Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лысенко, А. Л. Дугин // Научни известия на НТСМ : материалы международной конференции «Дни НК 2013». – 2013. – № 2(139). – С. 72–75.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.

37. Поджаренко В. 0. ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГУМУСУ В ҐРУНТІ / В. 0. Поджаренко. – Вінниця, 2009. – 4 с.

38. Petrik, V. Using wireless data transmission in eddy current nondestructive testing / Valentin Petrik, Anatoliy Protasov, Kostiantyn Syeryu, Iuliia Lysenko // Приборостроение - 2017 : материалы 10-й Международной научно технической конференции, 1-3 ноября 2017 года, Минск, Республика Беларусь / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. - Минск : БИТУ, 2017. - С. 74-76.

					ПК6104.0000.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки