

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

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

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

(код та назва спеціальності)

на тему: Мобільний ультразвуковий дефектоскоп

Виконав : студент IV курсу, групи

ПК-51

(шифр групи)

Барановський Д.В.

\_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник доцент Петрик В.Ф.

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

(підпис)

Консультант Графічний

\_\_\_\_\_

(назва розділу)

асистент Богдан Г.А.

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

(підпис)

Консультант Розробка ел. схеми

\_\_\_\_\_

(назва розділу)

к.т.н., доцент Баженов В.Г.

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

(підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2019 року

### ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

| № з/п | Формат | Позначення         | Найменування                           | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|--------------------|--|------------------|----------|
| 1     | A4     |                    | Завдання на дипломний проект           | 2                |          |
| 2     | A4     | ДП ПК51. 01.000 ПЗ | Пояснювальна записка                   | 72               |          |
| 3     | A2     | ДП ПК51. 01.000 ТК | Складальне креслення П'єзоперетворювач | 1                |          |
| 4     | A3     | ДП ПК51. 02.000 ТК | Деталювання. Корпус                    | 1                |          |
| 5     | A3     | ДП ПК51. 03.000 ТК | Деталювання. Кришка                    | 1                |          |
| 6     | A1     | ДП ПК51. 04.000 ТК | Схема електрична принципова            | 1                |          |
| 7     | A2     | ДП ПК51. 05.000 ТК | Схема електрична структурна            | 1                |          |
| 8     | A2     | ДП ПК51. 06.000 ТК | Схема електрична функціональна         | 1                |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |
|       |        |                    |  |                  |          |

|           |                   |       |      | ДП ПК51 01.000.00               |  |        |
|-----------|-------------------|-------|------|---------------------------------|--|--------|
|           | ПІБ               | Підп. | Дата |                                 |  |        |
| Розробн.  | Барановський Д.В. |       |      | Відомість<br>дипломного проекту | Лист   | Листів |
| Керівн.   | Петрик В.Ф.       |       |      |                                 | 1  | 1      |
| Консульт. |                   |       |      |                                 | КПІ ім. Ігоря<br>Сікорського<br>Каф. ПСНК<br>Гр. ПК-51 |        |
| Н/контр.  | Лашко О.В.        |       |      |                                 |  |        |
| Зав.каф.  | Протасов А.Г.     |       |      |                                 |  |        |

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту  
на тему: «Мобільний ультразвуковий дефектоскоп»**

Київ – 2019 року

## Анотація

На дипломний проект студента четвертого курсу, групи ПК-51 приладобудівного факультету Барановського Дмитра з теми: “Мобільний ультразвуковий дефектоскоп”.

В даному дипломному проекті розроблено мобільний акустичний дефектоскоп, що має легку адаптованість до нових об'єктів контролю та різних класів задач.

В першому розділі дипломного проекту представлені деякі теоретичні відомості про ультразвук, описані методи ультразвукової дефектоскопії, наведені теоретичні відомості про види та типи ультразвукових перетворювачів.

В розрахунково – теоретичній частині був проведений вибір та розрахунок п'єзоелектричного перетворювача, який найкраще підходить для поставленої задачі. Результатом проведеного розрахунку є визначення габаритних розмірів основних частин конструкції перетворювача.

В конструкторсько – технологічній частині була проведена розробка конструкції п'єзо датчика, був створений кресленик перетворювача по розрахованим раніше габаритним розмірам основних елементів конструкції. Також було розроблено функціональну схему приладу на основі вже існуючих дефектоскопів. Було проведено розрахунки основних вузлів електричної схеми та розроблено схему електричну принципову. Розроблений мобільний ультразвуковий дефектоскоп відповідає всім поставленим вимогам.

## **Annotation**

On the diploma project of the student of the fourth year, groups of PC-51 of the Faculty of Adjacent Baranovskiy Dmitry with those: "Mobile ultrasonic flaw detector".

In this diploma project a mobile acoustic flaw detector is developed, which easily adapts to new objects of control and different classes of tasks.

In the first edition of the diploma project there are presented works of theoretical viscosity about ultrasound, described methods of ultrasonic flaw detection, induced theoretical viscosity about the appearance and types of ultrasonic rearrangements.

In the calculation - theoretical part of the selection and calculation sensor, which best part go for the task in delivered. As a result of this survey, the overall dimensions of the main parts of the reshuffle construction are determined.

In the design and technological part of the bull was carried out dismantling of the construction of the transducer, the walls of the armchair reshuffle on the calculation earlier dimensional dimensions of the basic elements of the structure. Also, the functional layout of the fitting on the basis of even more distinctive flaw detectors was fragmented. The main electrical circuits of the main nodes have been flawed and the circuit of the electrical principle has been fragmented. Mobile ultrasonic flaw detector scattering is provided by all available means.

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю**  
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)  
Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.051003  
«Приладобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Протасов А.Г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**  
**Барановський Дмитро Віталійович**

1. Тема проекту «Мобільний ультразвуковий дефектоскоп», керівник проекту Петрик Валентин Федорович, доцент, затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1384-с

2. Термін подання студентом проекту 10 травня 2019

3. Вихідні дані до проекту: Мобільний ультразвуковий дефектоскоп повинен дозволяти 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) 6 креслеників

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 проекту\*

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1     | Формулювання завдання проекту             | 15.03.2019                      |          |
| 2     | Проведення аналітичного огляду            | 10.04.2019                      |          |
| 3     | Розрахунок компонентів                    | 25.04.2019                      |          |
| 4     | Оформлення пояснювальної записки          | 15.05.2019                      |          |
| 5     | Розробка креслеників                      | 12.06.2019                      |          |

Студент

Барановський Д.В.

Керівник проекту

Петрик В.Ф.

\_\_\_\_\_

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 8  |
| 1. Аналітичний огляд .....  | 10 |
| 1.1. Ультразвукові коливання.....                                       | 10 |
| 1.2. Методи ультразвукової дефектоскопії .....                          | 14 |
| 1.2.1. Луна-імпульсний метод .....                                      | 15 |
| 1.2.2. Тіньовий метод.....  | 16 |
| 1.2.3. Дзеркально-тіньовий метод.....                                   | 17 |
| 1.2.4. Дифракційно-часовий метод .....                                  | 18 |
| 1.2.5. Ревербераційний метод.....                                       | 18 |
| 1.2.6. Ехо-наскрізний .....   | 19 |
| 1.2.7. Велосиметричний.....   | 20 |
| 1.2.8. Когерентний метод.....   | 20 |
| 1.3. Ультразвукові датчики .....  | 21 |
| 1.4. Параметри зондувальних імпульсів .....                             | 24 |
| 1.5. Частота проходження зондувальних імпульсів .....                   | 25 |
| 1.6. Параметри розгортки дефектоскопів .....                            | 25 |
| 1.7. Параметри приймального тракту дефектоскопів .....                  | 27 |
| 1.8. Динамічний діапазон підсилення, регулювання підсилення .....       | 29 |
| 1.9. Тимчасове регулювання чутливістю .....                             | 30 |
| 1.10. Форма відображення відлуння імпульсів на екрані дефектоскопа..... | 31 |
| 1.11. Бездротова передача даних .....                                   | 33 |
| 2. Розрахунково-теоретична частина .....                                | 36 |
| 2.1. Обґрунтування вибору перетворювача.....                            | 36 |
| 2.2. Вибір робочої частоти перетворювача .....                          | 38 |

|                  |             |                          |               |             |   |             |             |               |
|------------------|-------------|--------------------------|---------------|-------------|---|-------------|-------------|---------------|
|                  |             |                          |               |             | <i>ПК51.010000.000 ПЗ</i>                       |             |             |               |
| <i>Змн.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докum.</i>          | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |             |             |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Барановський Д.В.</i> |               |             | <i>Мобільний ультразвуковий<br/>дефектоскоп</i> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Акрциф</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Петрик В.Ф.</i>       |               |             |   | 6           | 71          |               |
| <i>Реценз.</i>   |             |                          |               |             | <i>ПБФ</i>                                      |             |             |               |
| <i>Н. Кантр.</i> |             |                          |               |             |   |             |             |               |
| <i>Затверд.</i>  |             |                          |               |             |   |             |             |               |



|   |    |
|---|----|
| 2.3. Розрахунок п'єзоелемента .....               | 38 |
| 2.4. Розрахунок товщини просвітлюючого шару ..... | 41 |
| 2.5. Розрахунок електроакустичного тракту .....   | 43 |
| 3. Конструкторська-технологічна частина .....     | 47 |
| 3.1. Розробка конструкції п'єзо датчика .....     | 47 |
| 3.2. Опис функціональної схеми .....              | 49 |
| 4. Розробка принципової схеми .....               | 51 |
| 4.1. Розрахунок ударного збудження .....          | 51 |
| 4.2. Розрахунок підсилювача .....                 | 55 |
| 4.3. Підбір АЦП .....                             | 57 |
| 4.4. Підбір мікроконтролера .....                 | 59 |
| 5. Вірогідність контролю .....                    | 61 |
| 5.1. Похибка зумовлена квантуванням АЦП .....     | 61 |
| 5.2. Похибка операційних підсилювачів .....       | 62 |
| 5.3. Оцінка вірогідності контролю .....           | 62 |
| Висновки .....                                    | 63 |
| Список літератури .....                           | 65 |
| Додатки   |    |

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 7    |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |  |      |

## Вступ

В даний час промисловість розвивається досить швидкими темпами, ставлячи перед людьми все нові та нові задачі та проблеми. Для вирішення цих задач необхідно використовувати новітні технології. Потреба у використанні конкурентоспроможних, за економічними та технологічними показниками, приладів, для вирішення задач сьогодення, зростає з кожним днем. Щодня все більше і більше людей переходять на новітню техніку, відкидаючи застарілу. [1, 2].

Прилади, виготовлені з новітніх технологій мають досить значні переваги над своїми застарілими аналогами. До самих основних переваг можна віднести:

1. Простота використання
2. Зручність перегляду інформації
3. Простота конструкції
4. Невеликі габаритні розміри та вага
5. Простота обробки та передачі інформації
6. Можливість автоматизації
7. Стійкість до механічних пошкоджень.

Одним із найбільш розповсюджених методів неруйнівного контролю є ультразвукова дефектоскопія. Даний метод широко застосовується через свою простоту та швидкість проведення контролю. Також цей метод має досить велику точність вимірювання, та має відносно малу вартість необхідну для проведення контролю. [3].

Однією із головних переваг ультразвукової дефектоскопії є те, що можна проводити контроль без небезпеки для оператора, а також використання ультразвуку не призводить до пошкодження і руйнування контрольованих матеріалів. [4].

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  | 8    |

Головними потребами, на сьогодні, виступають необхідність автоматизації та вдосконалення приладів та систем призначених для проведення неруйнівного контролю. Однією із важливих проблем є необхідність проведення контролю об'єктів, які знаходяться у місцях з обмеженим доступом. [5, 6].

Вирішення даної проблеми дозволить зменшити час проведення контролю важкодоступних об'єктів або поверхонь, зменшити кількість персоналу, необхідного для контролю, збільшити якість самого контролю, а також збільшити якість зроблених висновків.

В даній роботі розробляється прилад, який базується на ультразвукових методах пошуку дефектів, та не потребує з'єднувальних кабелів для передачі даних.

Прилад, який не буде використовувати з'єднувальні кабелі, та матиме малі габаритні розміри та вагу, сильно спростить роботу операторові, оскільки він зможе проводити контроль лише однією рукою. Також отримані дані будуть надсилатися за допомогою безпроводного зв'язку на смартфон або комп'ютер, що дасть можливість використовувати більш кращі та сучасніші методи обробки інформації. Також вже оброблені дані можна буде з легкістю переглядати, у зручному для оператора, форматі, що дасть можливість робити більш точні та якісніші висновки. [7].

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 9    |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

## 1. Аналітичний огляд

### 1.1 Ультразвукові коливання

Акустичними хвилями називають механічні коливання, що поширюються у пружних середовищах. Якщо частота акустичних коливань перевищує 20 кГц (тобто вище порогу чутливості для людського вуха), то такі коливання називають ультразвуковими. У дефектоскопії використовується діапазон частот 0,5-10 МГц.

При розповсюдженні акустичних хвиль частинки середовища, в якому поширюється хвиля, не переносяться, а коливаються відносно точки рівноваги. Найменша відстань між двома частинками середовища, що коливаються в одній фазі, називається довжиною хвилі.

Швидкість розповсюдження акустичної хвилі в середовищі визначається характеристиками та фізичними властивостями самого середовища, отже якщо необхідно змінити довжину хвиль даному середовищі, то потрібно змінювати частоту коливань даної акустичної хвилі. Швидкість розповсюдження акустичної хвилі залежить також і від типу даної хвилі. Якщо напрямок коливань частинок середовища такий самий як і напрямок поширення хвилі, то така хвиля називається поздовжньою. Якщо напрямок коливань частинок середовища перпендикулярний напрямку поширення хвилі, то така хвиля називається поперечною.

Ультразвукова дефектоскопія заснована на здатності пружних акустичних хвиль поширюватися в твердих матеріалах та відбиватися від меж самого тіла або від порушень його суцільності, що володіють іншими акустичними характеристиками та властивостями. [8]

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 10   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

Ультразвукові методи неруйнівного контролю (НК) розділяють на дві групи:

- Активні
- Пасивні

До активних (Рис.1.1) методів НК належать такі, які засновані на випроміненні акустичного сигналу (зондувального імпульсу) в об'єкт контролю (ОК), та подальшому дослідженні сигналу який пройшов через ОК або сигналу який відбився від донної поверхні ОК. [8]

До пасивних (Рис.1.2) відносяться методи, які засновані лише на реєстрації та аналізі сигналів, що утворюються в ОК в результаті проходження певних фізичних процесів. Пасивні методи ультразвукової дефектоскопії дістали назву методи акустичної емісії. [8]

Активні методи в свою чергу поділяються на:

- метод проходження - використовує випромінюючий та приймаючий перетворювачі, що розміщуються на різних сторонах ОК, або контрольованої ділянки; при цьому аналізуються зміни інтенсивності сигналу, що пройшов крізь ОК;
- методи відбиття - засновані на реєстрації та аналізі акустичних імпульсів що відбилися від різноманітних дефектів або від границь ОК;
- комбіновані методи – комбінація методів проходження та відбиття; аналізують акустичні сигнали, що пройшли крізь ОК а також сигнали, що відбилися від дефектів або від границь ОК;

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 11   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |

- метод власних коливань - використовує вільні або вимушені коливання ОК, аналізуючи їх параметри (частоту, спектри коливань, згасання та ін.);
- імпедансі методи - аналізують характер зміни механічного імпедансу у зоні контакту перетворювача та ОК. [8]

Використання ультразвукового НК в дефектоскопії з метою виявлення дефектів базується на розповсюдженні пружних механічних коливань в ОК і їхнє приймання після відображення від межі розподілу (дефекту) або від протилежного боку виробу (донний сигнал).[9]

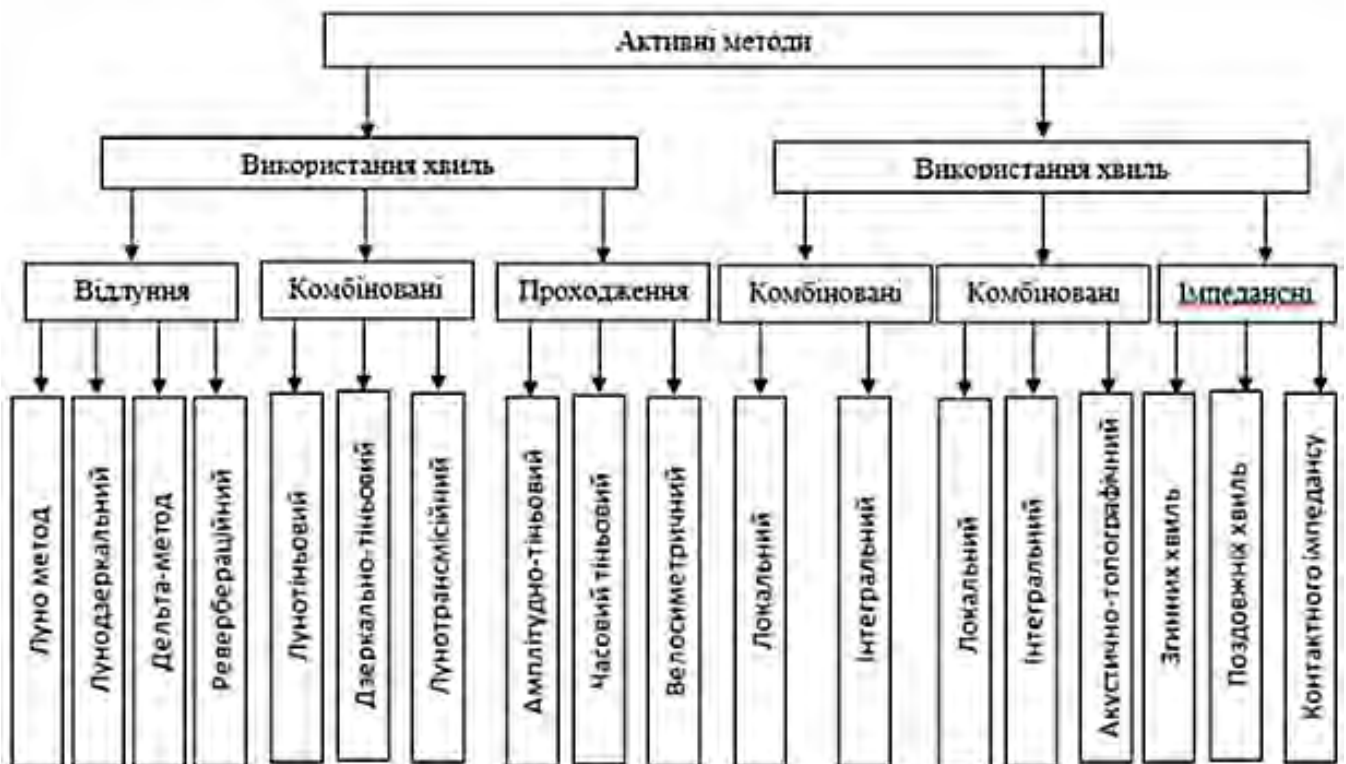


Рисунок 1.1 Класифікація активних акустичних методів

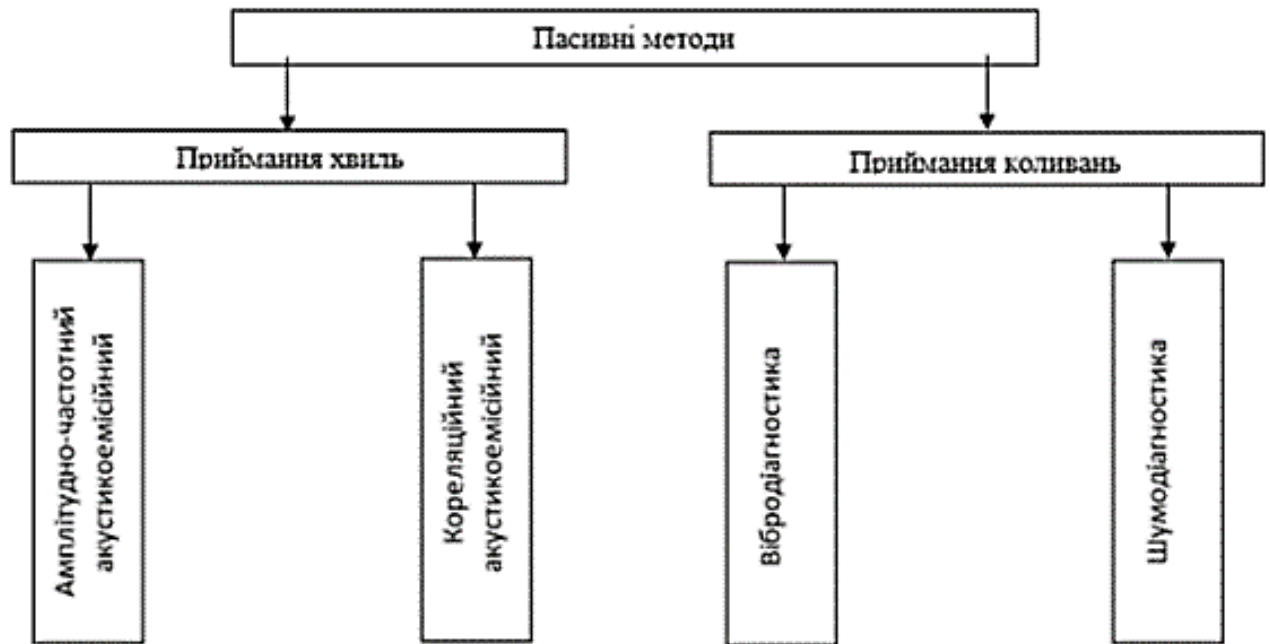


Рисунок 1.2. Класифікація пасивних методів контролю

## 1.2. Методи ультразвукової дефектоскопії

Методи ультразвукового НК засновані на дослідженні процесу поширення ультразвуку з частотою 0,5 – 25 МГц в ОК. Частина простору в якому поширюється ультразвук називається ультразвуковим полем. Ультразвукові поля створюються в будь яких матеріалах та середовищах, а це означає, що методи ультразвукового НК є універсальними. Їх використовують для контролю деталей виготовлених з таких матеріалів, як метали, пластмаси, гума, скло та багато інших. [10]

Розрізняють три основних методу ультразвукової дефектоскопії: тіньовий, дзеркально-тіньовий і луна-метод. Для контролю зварних з'єднань найбільш широке застосування отримав луна-метод, при якому ознакою виявлення дефекту є прийом шукачем луна-імпульсу від самого дефекту. [11]

|      |      |          |        |      |      |
|------|------|----------|--------|------|------|
|      |      |          |        |      | Арк. |
|      |      |          |        |      | 13   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |      |

### 1.2.1 Луна-імпульсний метод

Перетворювач генерує зондувальний імпульс (тобто виступає в ролі генератора) і він же приймає відбиті від дефектів луно-сигнали.

Цей метод широко застосовується за рахунок своєї простоти, бо для проведення контролю здебільшого необхідний лише один перетворювач, а завдяки цьому зникає необхідність використовувати спеціальні пристосування для фіксації перетворювачів.

Окрім того даний метод дозволяє досить точно визначати координати дефекту такі як положення дефекту відносно перетворювача, та глибину залягання, що не можна сказати про решту методів ультразвукового контролю. Інші методи дозволяють визначити тільки наявність дефекту.[11]

Ознакою наявності дефекту ( в загальному випадку – відбивача) є луно-сигнал 3 на екрані дефектоскопа (рис. 1.3), одержаний в результаті відбиття зондувального випромінювання 1 від дефекту (відбивача) 2.

В даному методі інформативними параметрами виступають амплітуда прийнятого луно-сигналу та інтервал часу вздовж осі часової розгортки, який в однорідному середовищі пропорційний глибині залягання відбивача. [10]

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 14   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |



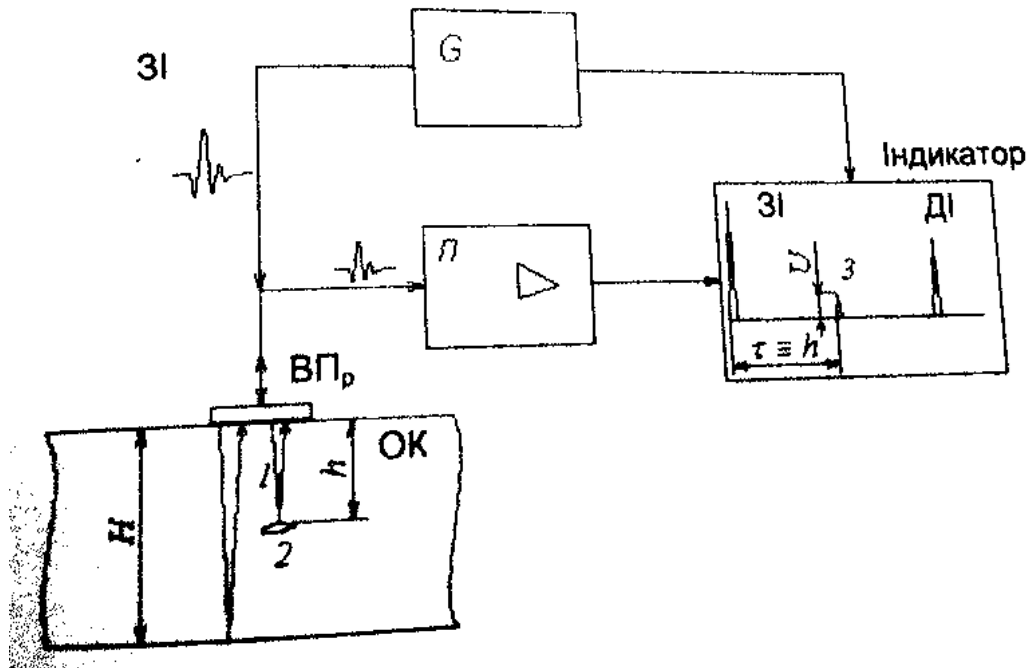


Рисунок 1.3. Схема луно-імпульсного методу: G –генератор зондувальних імпульсів; П –підсилювач сигналів відбиття; ВП –суміщений випромінювач-приймач; ЗІ і ДІ –зондувальний і донний імпульси

### 1.2.2. Тіньовий метод

В тіньовому методі ультразвукової дефектоскопії використовуються два перетворювачі (рис. 1.4), що розташовані на одній акустичній осі по різні сторони від ОК. У цьому випадку один з перетворювачів виступає генератором зондувальних імпульсів, а другий приймачем сигналу який пройшов крізь ОК. [10]

При проведенні контролю таким методом обов'язково необхідний двосторонній доступ до ОК. Хоча чутливість даного методу не висока, проте він знайшов широке застосування при контролі наприклад автомобільної резини або предметів з не великою товщиною. [12]

Щоб дізнатися чи присутній в даному ОК дефект необхідно порівняти амплітуди прийнятого та випроміненого сигналів. Якщо амплітуда прийнятого сигналу буде значно меншою чим амплітуда випроміненого, або

буде взагалі відсутня, то можна стверджувати, що в даному ОК присутній дефект.

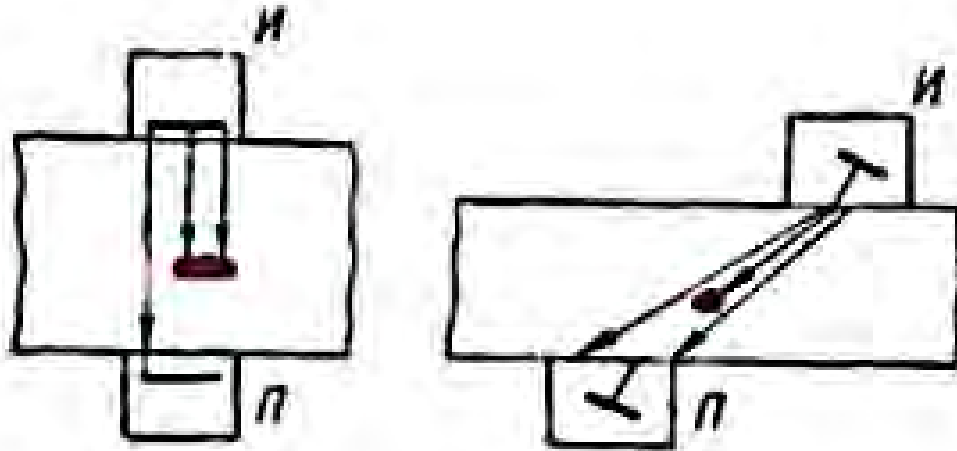


Рисунок 1.4. Тіньовий метод

### 1.2.3. Дзеркально – тіньовий

Дзеркально-тіньовий метод ультразвукової дефектоскопії використовується для контролю деталей з двома паралельними сторонами (рис. 1.5). Даний метод заснований на відбитті сигналу від протилежної межі деталі. Ознакою дефекту, як і при тіньовому методі, вважається значне зменшення амплітуди або зникнення відбитих коливань. Головною перевагою даного методу над тіньовим методом являється те, що необхідний доступ лише до однієї сторони ОК для проведення контролю. [12]

Щоб покращити обробку отриманих даних можна використовувати безпроводну передачу інформації з приладу на блок обробки інформації. Детальніше з цим можна ознайомитись в [13, 14].

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 16   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

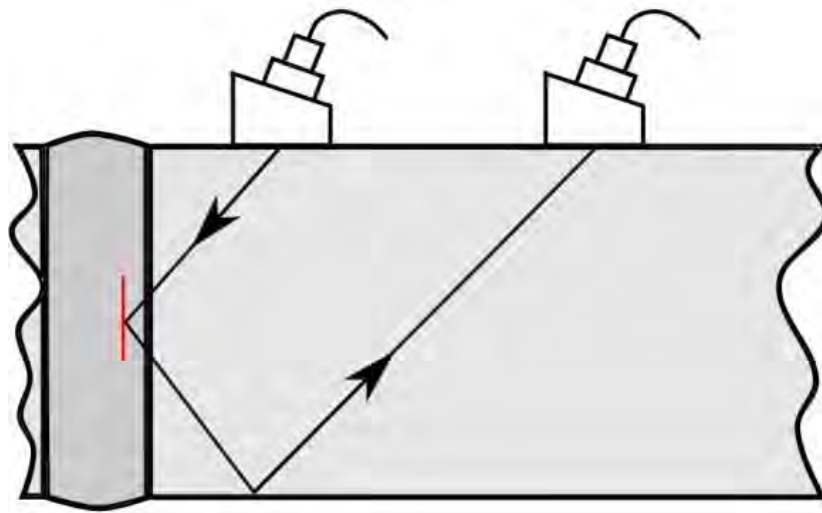


Рисунок 1.5. Дзеркально-тіньовий метод

#### 1.2.4. Дифракційно - часовий метод

В даному методі використовується два перетворювача, які розташовуються по одну сторону від деталі під кутом один навпроти одного. Якщо дефект має гострі кромки (як, наприклад, тріщини) то коливання дифрагують на кінцях дефекту і відбиваються у всі сторони, у тому числі і в бік приймача. Після повернення сигналу до дефектоскопу, він реєструє час, коли повернувся імпульс, якщо амплітуда даного імпульсу достатня для сприйняття дефектоскопом. На дисплеї приладу відображаються два сигнали від нижньої, та від верхньої меж дефекту, за допомогою такого відображення можливо досить точно визначити умовні розміри дефекту. Даний спосіб є досить універсальним, дозволяє проводити контроль на будь-якої складності швах, проте вимагає спеціального обладнання для закріплення перетворювачів, а також дефектоскоп, який може працювати в такому режимі. Крім того, амплітуда дифрагованих сигналів досить мала. [12]

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 17   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |

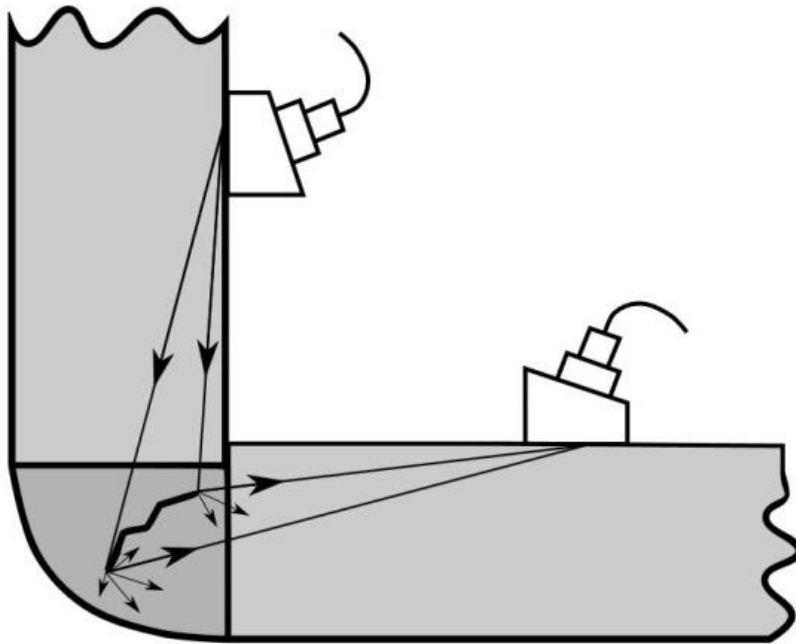


Рисунок 1.6. Дифракційно-часовий метод

### 1.2.5. Ревербераційний метод

Реверберація - процес поступового зменшення інтенсивності звуку при його багаторазових відбиттях.

Ревербераційний метод заснований на поступовому згасанні сигналу в об'єкті контролю. При контролі двошарової конструкції, у разі якісного з'єднання шарів, частина енергії з першого шару буде йти в другий, тому реверберація буде менша. У випадках коли з'єднання буде не досить якісним, то сигнал буде багато разів відбиватися від першого шару. Даний метод використовується для контролю з'єднання різних видів наплавлень. Головним недоліком ревербераційного методу являється те, що дефектоскоп реєструє сигнал який відбивається від межі з'єднання двох шарів. Причиною відбиття сигналу від межі з'єднання двох шарів є різниця швидкостей пружних хвиль у з'єднаних матеріалах і їх різний питомий акустичний опір.

Через конструкційні особливості деяких виробів, контроль якості з'єднання матеріалів даним методом може бути неможливий саме через

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 18   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |

наявність на екрані дефектоскопа сигналів, які вибиваються від меж з'єднання.[12]

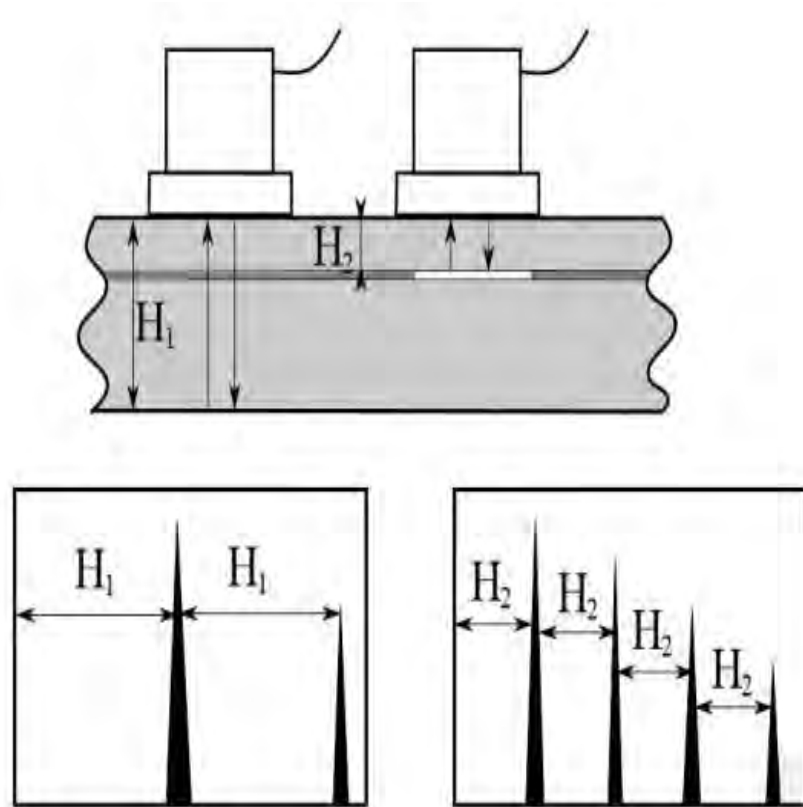


Рисунок 1.7. Ревербераційний метод

### 1.2.6 Ехо-наскрізний

Ехо - наскрізний метод використовує два перетворювачі, які розташовуються на різних сторонах ОК на одній акустичній осі. (Рис. 1.8) У випадку коли дефект відсутній, то на екрані дефектоскопа буде видно наскрізний сигнал 1, та сигнал який двічі відбився від стінок ОК 2. У випадку коли присутній напівпрозорий дефект, на екрані дефектоскопу також спостерігаються відображені наскрізні сигнали від дефекту 3 та 4. [10]

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 19   |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

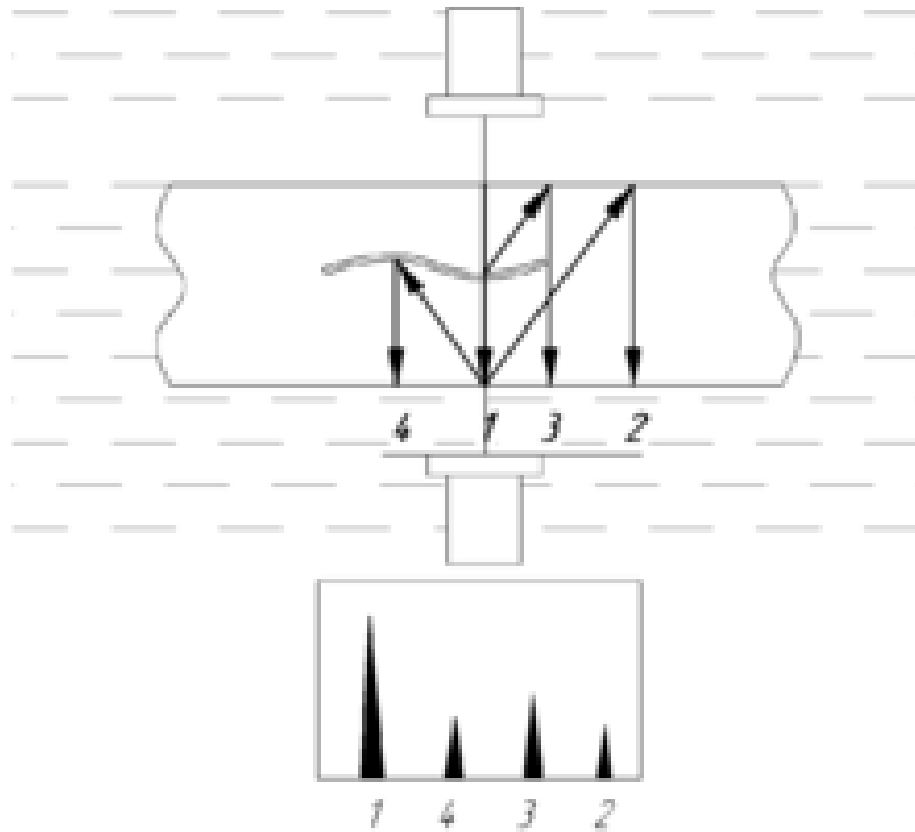


Рисунок 1.8. Датчики розташовані по різні сторони об'єкта контролю

### 1.2.7. Вело симетричний

Вело симетричний метод ультразвукової дефектоскопії базується на реєстрації зміни швидкості поширення пружних хвиль в області дефекту. Даний метод доцільно використовувати для перевірки виробів з полімерних композитних матеріалів та для багат шарових конструкцій. Перевірка такого типу ОК ультразвуковим методом не призводить до пошкодження та руйнування зразків, що і є його головною перевагою. Також можна відзначити високу швидкість дослідження та низьку вартість при дуже малій небезпеці для людини, а також досить високу портативність ультразвукового дефектоскопа. [12]

### 1.2.8. Когерентний метод

В даному методі ультразвукової дефектоскопії окрім часу проходження та амплітуди луно-сигналу також використовується і його фаза.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 20   |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

В когерентному методі дефектоскопії використовують декілька абсолютно однакових перетворювачів, що працюють синфазно. Саме це дозволяє отримувати дуже близькі до реальних зображення дефектів. Якщо використовувати в даному методі контролю перетворювач з фазованими решітками, то це значно зменшує тривалість проведення контролю. [11]

### 1.3 Ультразвукові датчики

Ультразвукові датчики – це окремі змінні модулі до дефектоскопа. Принцип їхньої роботи заснований на перетворенні електричної енергії в ультразвук. Якщо порівнювати ультразвукові датчики з якимсь пристроєм, то вони дуже схожі по, принципу роботи, на радари. Оскільки швидкість акустичної хвилі є постійною величиною, тому за допомогою таких датчиків можна без труднощів виміряти відстань до дефекту в ОК.

Ультразвукові датчики мають певний ряд особливостей за допомогою яких можна з легкістю визначити область їхнього використання.

Одними із головних особливостей є:

1. Відносно мала дальність дії;
2. Низька швидкість поширення хвиль;
3. згенерований сигнал спрямовується в необхідну сторону.

Головною перевагою таких датчиків слугують досить малі габаритні розміри та доступність в економічному плані.

Ультразвукові датчики широко використовуються в автомобілях для полегшення паркування водієві, а також в системах автоматичного управління автомобілем.

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 21   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |

Також датчик можна назвати перетворювачем, який об'єднує активний елемент і діафрагму. У даному випадку перетворювач виступає в ролі приймача та передавача. Активним елементом створюється короткочасний імпульс, який потім реєструється у вигляді відбитого сигналу від перешкоди. Його виготовляють із спеціального п'єзоелектричного матеріалу. У даному випадку алюмінієва діафрагма виступає в якості контактної поверхні датчика, дозволяючи визначити акустичні характеристики. Підставка перетворювача досить пружна, щоб дозволяє їй поглинати вібрації. Всі елементи знаходяться в надійному пластмасовому корпусі, та залиті компаундом, щоб не виникало механічних пошкоджень. Корпус перетворювача оснащений роз'ємом для підключення. [15]

Ультразвукові перетворювачі працюють так: коли ззовні приходить електричний сигнал, активний елемент перетворювача діє на діафрагму, що призводить до її вібрації. В результаті цього ультразвукові імпульси посилюються в простір. Поширюючись в просторі випромінені хвилі зустрічаються з якоюсь перешкодою, відбиваються від неї, та повертаються назад до перетворювача. Повернувшись назад хвилі діють на активний елемент призводячи цим до його вібрації. В результаті цього з активного елемента знімається електричний сигнал. [15]

Ультразвукові датчики які вимірюють відстань до об'єктів володіють великою кількістю переваг, однак вони мають також і декілька функціональних обмежень. Точність вимірювання та працездатність пристрою в цілому залежить від погодних умов, та від рівня забрудненості. Також перетворювач може пропускати об'єкти малого розміру, та поверхні що погано відбивають ультразвук.[15]

Для вирішення задач ультразвукової дефектоскопії зазвичай використовують п'ять найпоширеніших типів ультразвукових перетворювачів:

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 22   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |



- Контактні датчики. Як можна здогадатися з назви, контактні датчики використовують притискаючи їх до ОК, задля створення контакту між ними. Звукову хвилю, яка поширюється перпендикулярно до поверхні матеріалу використовують для пошуку тріщин, порожнин які розташовані паралельно до поверхні контрольованого зразка, а також для вимірювання товщини. [15]

- Похилі датчики. Похилі датчики зазвичай використовуються разом із призмами, виготовленими найчастіше із пластика або оргскла. Призма потрібна для того, щоб вводити ультразвукові хвилі в досліджуваний матеріал під певним необхідним кутом до поверхні даного матеріалу.

Датчики даного типу зазвичай використовують для контролю зварних швів.

- Датчики з лінією затримки. В конструкції ультразвукових датчиків з лінією затримки зазвичай передбачається короткий пластиковий хвилевід або лінія затримки між активним елементом і контрольованим об'єктом. Даний тип датчиків застосовується у вимірах, де присутні високі температури, а лінія затримки захищає сам датчик від перегріву.

- Імерсійні датчики. Імерсійні датчики призначаються для передачі акустичних хвиль в контрольований об'єкт через товстий шар контактної рідини. Такий тип датчиків використовують в автоматизованих дослідженнях і в ситуаціях, де необхідно чітко сфокусувати сигнал для збільшення роздільної здатності.

- Роздільно-суміщені датчики. Роздільно-Суміщений датчик являє собою роздільні генератор імпульсів та приймач суміщені в одному корпусі. Даний тип датчиків рекомендовано використовувати на поверхнях з великою шорсткістю, для визначення корозійних та пористих структур, а також при контролі крупнозернистих матеріалів. Роздільно-суміщені датчики також є стійкими для високих температур. [15,16]

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 23   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |

## 1.4. Параметри зондувальних імпульсів

Зондувальним імпульсом в ультразвуковій дефектоскопії називається імпульс, який генерується перетворювачем. Хоча конструкції різних ультразвукових дефектоскопів відрізняються одна від одної, проте загальний принцип збудження зондувального імпульсу залишається однаковим. Конденсатор в дефектоскопі збільшує свій заряд до певної напруги, потім тактовий генератор посилає керуючий сигнал на електронний вимикач в результаті чого він замикається, Після цього конденсатор починає розряджатися через демфуючий опір який з'єднаний паралельно з коливальним елементом. Імпульс від розряду конденсатора збуджує в коливальному елементі механічні коливання які затухають. Даний спосіб збудження зондувального імпульсу називають ударним. [17]

Період створений механічних коливань, та крива розряду конденсатора залежать від опору резистора  $R$ , та ємності конденсатора  $C$ . В деяких дефектоскопах для того щоб оптимально узгодити прилад з певним перетворювачем можна регулювати величини опору та ємності. Але для збудження різних перетворювачів не достатньо лише регулювання опору та ємності, необхідно також додати можливість регулювання енергії, оскільки власна частота коливань елементу в перетворювачі залежить на сам перед від його товщини. Також використовуються генератори прямокутних імпульсів для того щоб підвищити ефективність збудження п'єзоелементу. Використання таких генераторів дозволяє формувати імпульси необхідної нам тривалості.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адж. |
| Змн. | Адж. | № докцм. | Підпис | Дата |  | 24   |

## 1.5. Частота проходження зондувальних імпульсів

Однією з головних характеристик, що визначають наскільки швидко можна відсканувати поверхню ОК, щоб не пропустити дефекти є частота проходження зондувальних імпульсів. Також головними характеристиками є: стан поверхні контролю та її геометрія, діаметр перетворювача, умови проведення контролю і т.д. Тому дана характеристика є відносною. Проте знаючи максимальну частоту проходження зондувальних імпульсів можна зробити оцінку граничної продуктивності даного приладу. Якщо умовно прийняти, що ширина діаграми спрямованості на заданій глибині рівна 5 мм, то врахувавши те, що для реєстрації дефекту потрібно мінімум три імпульси на один дефект, ми можемо оцінити максимальну швидкість пересування перетворювача для якісного контролю. [18]

Отже при частоті проходження 500ГЦ максимальною швидкість сканування поверхні зразку буде приблизно 50 м/хв. Цього достатньо для проведення навіть автоматизованого контролю. Прилади повинні мати можливість перемикання частоти проходження зондувальних імпульсів з високої на низьку і навпаки, для того щоб можна було контролювати матеріали з різним загасанням ультразвуку.

## 1.6. Параметри розгортки дефектоскопів

Тривалість - це інтервал повторного сканування, протягом якого відбитий луна-сигнал може відобразитися на екрані. Тривалість розгортки зазвичай вказується в міліметрах або мікросекундах. Коли говорячи про розгортку в міліметрах, то завжди мають на увазі конкретний матеріал з відомою швидкістю ультразвуку (традиційна сталь 45 зі швидкістю близько 5950 - 6000 м / с). Максимальну тривалість розгортки дуже часто називають «глибокого проникнення». Ця назва абсолютно неправильна, оскільки вона

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 25   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

побічно спрямована на те, щоб створити у споживача ідею про те, що тривалий час сканування відповідає потужності випромінювання пристрою. Фактично, глибина проникнення залежить головним чином від амплітуди імпульсу, затухання звуку в ОК, коефіцієнтом перетворення п'єзоелектричного перетворювача, геометрії ОК і т. д.

Мінімальний інтервал часу, який можна розтягнути на весь дисплей дефектоскопа називається мінімальною розгорткою дефектоскопа. З цього слідує, що чим менший інтервал часу, який можна розтягнути на весь дисплей дефектоскопа, тим зручніше використовувати такий пристрій для виміру малих товщин або для пошуку близько розміщених один біля одного дефектів.

На дисплеї дефектоскопа може бути показаний радіосигнал (рис.1.9, а) або його половина (після детектора) рис.1.9, б. Як можна побачити з цих зображень зручнішим для використання є зображення на рис. 1.9, б.

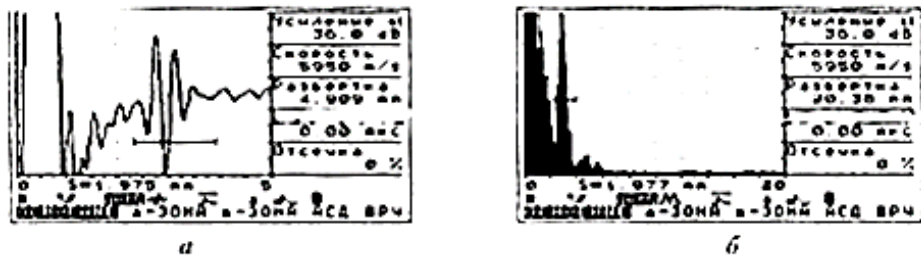


Рисунок 1.9. а - режим радіосигналу, розгортка 5 мм, б - режим повного детектора, розгортка 20 мм

Крок зміни розгортки також є важливим. Чим менший крок зміни, тим більш точну розгортку можливо буде встановити на екрані дефектоскопу. Хоча крок розгортки залежить зазвичай від того яким способом обробляється сигнал та від частоти його відцифровки але у будь якому випадку мати можливість регулювати розгортку з кроком від 1 мм не завадить. Також одним із важливих параметрів є величина затримки розгортки.

Затримка розгортки – це початковий інтервал часу, який не відобразатиметься на дисплеї дефектоскопа. Даний інтервал часу вимірюється зазвичай в мікросекундах. Для того, щоб проводити контроль

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 26   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

виробу та шукати в ньому дефекти на глибині від 900 до 1000 міліметрів, необхідно встановити розгортку трошки більше чим один метр, проте в такому випадку буде досить не зручно працювати з таки сигналом. При розгортці в 1 метр сигнал а екрані дефектоскопа матиме вигляд тонкої лінії. Зважаючи на те, що сигнали на глибині до 900 міліметрів нас взагалі не цікавлять, то для полегшення роботи можна встановити затримку розгортки 300 мікросекунд (така затримка розгортки в сталі буде приблизно 900 мм), а потім встановити розгортку всього 100 міліметрів. Також досить часто затримку розгортки роблять і від'ємною, тобто до того моменту поки зондувальний імпульс не увійде безпосередньо в ОК. Встановлення негативної затримки розгортки дозволяє нам прив'язатися до нашого зондувального імпульсу, а також дає можливість вивести його на екран дефектоскопа, що є дуже важливим для виконання операцій повірки.

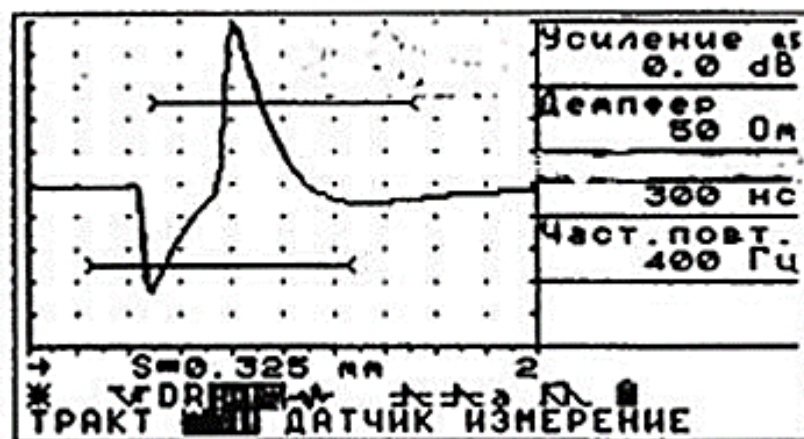


Рисунок 1.10. Власний зондувальний імпульс на екрані дефектоскопа УД2В-П46

### 1.7. Параметри приймального тракту дефектоскопів

Частотний діапазон приймача – це таке мінімальне та максимальне значення частот прийнятих приймачем, що в діапазоні між ними амплітуда прийнятого сигналу зменшується в порівнянні з істинним значенням не більше ніж у задану кількість разів. Як правило межу зміни амплітуди обирають рівною -3 дБ або -6дБ.

В приймальному тракті дефектоскопів підсилювачі поділяють на дві групи:

1. Резонансні – такі підсилювачі узгоджені на якусь певну резонансну частоту.
2. Широкосмугові – підсилювачі які можуть працювати у зазначеному діапазоні частот.

При використанні високодемпфированих перетворювачів для того щоб отримати високе значення роздільної здатності потрібно використовувати дефектоскоп який може працювати в широкому діапазоні частот. Це необхідно для того, щоб можна було знаходити дефекти малих розмірів, та дефекти які розташовані близько один до одного. Проте збільшуючи роздільну здатність ми одночасно жертвуємо чутливістю, а також підвищується рівень шумів. Саме тому в дефектоскопах з широкою смугою частот, максимальне значення якої дуже високе, зазвичай встановлюють кілька під діапазонів частот, які користувач може вибирати самостійно.

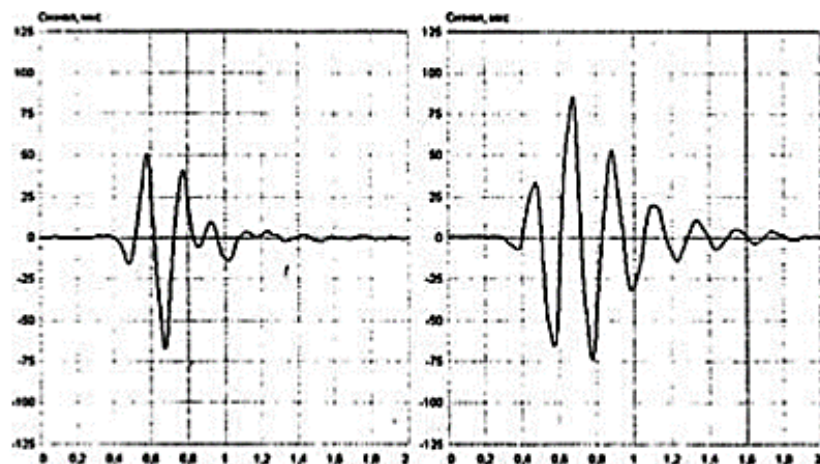


Рис1.11. а - демпфированного ПЕП в широкосмуговому режимі, б - стандартний перетворювач в резонансному режимі

При використанні дефектоскопу в приймальному тракті якого використовується резонансний підсилювач, для того щоб підключити перетворювач необхідно перемкнути прилад на певну частоту, яку використовує перетворювач. Це призводить до того, що можна буде

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 28   |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

використовувати вже не будь який перетворювач, а такий, під частоту якого можливо буде налаштувати дефектоскоп. Крім того роздільна здатність таких пристроїв значно менша в порівнянні з широкосмуговим дефектоскопом. Також при використанні широкосмугового дефектоскопу можна використовувати будь який перетворювач частота якого знаходиться в діапазоні частот самого дефектоскопа.

Можливість електричного демпфірування сигналу є також дуже важливою. Дана функція дозволить оператору зменшити розміри мертвої зони перетворювача, збільшити величину співвідношення сигнал/шум (в окремих випадках), також дасть можливість, при використанні слабо демпфірованих перетворювачів, електричним способом збільшувати роздільну здатність.

### **1.8. Динамічний діапазон підсилення, регулювання підсилення**

Діапазон сигналів приймача дефектоскопа є одним із головних параметрів. Хоча і необхідно коли вхідна напруга становить декілька мікрвольт, щоб її сигнали можна було якимсь чином виділяти та розрізнити на рівні шумів, проте коли величина вхідної напруги перевищує десятки вольт, то її сигнали повинні відображатися без обмежень. Відношення максимальної і мінімальної меж прийнятих сигналів визначається динамічним діапазоном підсилення. Величина даного діапазону вказується у децибелах (дБ).

Також потрібно зважати на те, що реальна величина підсилення і динамічний діапазон підсилення це різні речі. Відрізняються вони тим, що в динамічний діапазон підсилення також входить і послаблення сигналів за допомогою підсилювачів з негативним коефіцієнтом підсилення та вбудованих атенюаторів. Як приклад можна розглянути ультразвуковий дефектоскоп УД2В-П46, в даного приладу динамічний діапазон підсилення становить 110дБ, проте істинне підсилення даного дефектоскопа становить лише 80дБ. Це свідчить про те, що при 0дБ істинне підсилення сигналу такого дефектоскопа приймає від'ємні значення а саме -30дБ. Проте реальна

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 29   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

величина підсилення дефектоскопів не дає об'єктивної картини також. Бо цілком можливо таке, що в дефектоскопі підсилення якого складає понад 130дБ сигнали шумів можуть перекривати великі частини дисплею вже при підсиленні в 100дБ. Проте реальна величина підсилення, для багатьох дефектоскопів, не вказується в технічній документації. [19]

Можливість змінювати величину підсилення з різними кроками є дуже важливою функцією, якщо дивитися з точки зору зручності користування пристроєм.

### **1.9. Тимчасове регулювання чутливістю**

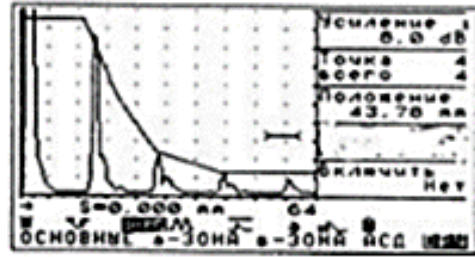
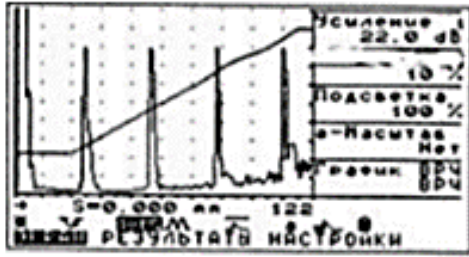
При проведенні ультразвукової дефектоскопії робити оцінку прийнятого сигналу при однаковому підсиленні безглуздо, оскільки в залежності від глибини проникнення ультразвуку в матеріал амплітуда сигналу зменшується. Це відбувається тому, що ультразвук під час проходження через будь яке середовище загасає. Для вирішення цієї проблеми є два пов'язаних між собою шляхи:

Перший шлях базується на тому, що можна вирівнювати амплітуду прийнятих сигналів шляхом побудови кривої тимчасового регулювання чутливості. Це означає, що підсилення сигналу буде не однаковим, а змінюватиметься в залежності від глибини. Змінюватиметься таким чином, щоб прийняті сигнали від однакових дефектів відображалися на екрані дефектоскопу з однаковою амплітудою не залежно від глибини залягання цих дефектів. Поріг оцінки в такому випадку можна прийняти фіксованим.

Другий шлях базується на тому, що будується крива залежності амплітуди від відстані (АВК). Ця крива є зворотною до кривої тимчасового регулювання чутливості і будь яка оцінка прийнятого сигналу проводиться відносно цієї кривої, яка змінюється в залежності від глибини, а не до фіксованого порогу.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | 30   |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |      |





а).

б).

Рисунок 1.12. Криві тимчасового регулювання чутливості (ТРЧ) (а - вирівнювання амплітуд луна-сигналів за допомогою ТРЧ, б - контроль за допомогою АВК)

При контролі чималих зон зазвичай використовують перший спосіб через те, що він має більший діапазон налаштування чим другий спосіб.

Однією із головних характеристик тимчасового регулювання чутливості є його глибина. Глибина тимчасового регулювання чутливості це величина, яка визначає відношення істинних амплітуд сигналів, котрі можна вирівняти за допомогою даного регулювання. Чим більше значення даної величини, тим краще. Коли форма кривої тимчасового регулювання підсилення не лінійна, через складну геометричну форму ОК, тоді важливими також є ще дві характеристики: Максимальна крутизна кривої та кількість точок її побудови. [20]

Така характеристика, як кількість точок кривої використовуючись на практиці майже ніколи не перевищує значення 10, однак в сучасних пристроях це значення набагато більше.

### 1.10. Форма відображення відлуння імпульсів на екрані дефектоскопів

Методів та способів відображення сигналів на сьогоднішній день існує дуже багато, проте самий найбільш поширений з них це відображення у вигляді А-розгортки. А-розгортка являє собою звичайне двомірне зображення, яке показує зміну амплітуди з плином часу

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 31   |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

Також існують В – розгортки, це коли зображення відображається у

вигляді точок різної яскравості, в залежності від амплітуди точки її яскравість змінюється, С-розгортки, TOFD-побудова і 3D-розгортка. Попередні вказані види відображення є більш інформативними чим А-розгортка проте вони вимагають спільне використання дефектоскопа з комп'ютером, різноманітними датчиками та ін., тому що на дисплеї дефектоскопа картинки у вигляді даних розгортки мають вигляд чорно білих крапок кількість яких залежить від розширення екрану.

В свою чергу А-розгортки є досить популярними та зустрічаються в декількох видах:

- 1) Радіосигнал (високочастотний реальний сигнал);
- 2) Детектований сигнал (сума позитивних та негативних півхвиль сигналу);
- 3) Позитивний детектований сигнал;
- 4) Негативний детектований сигнал.

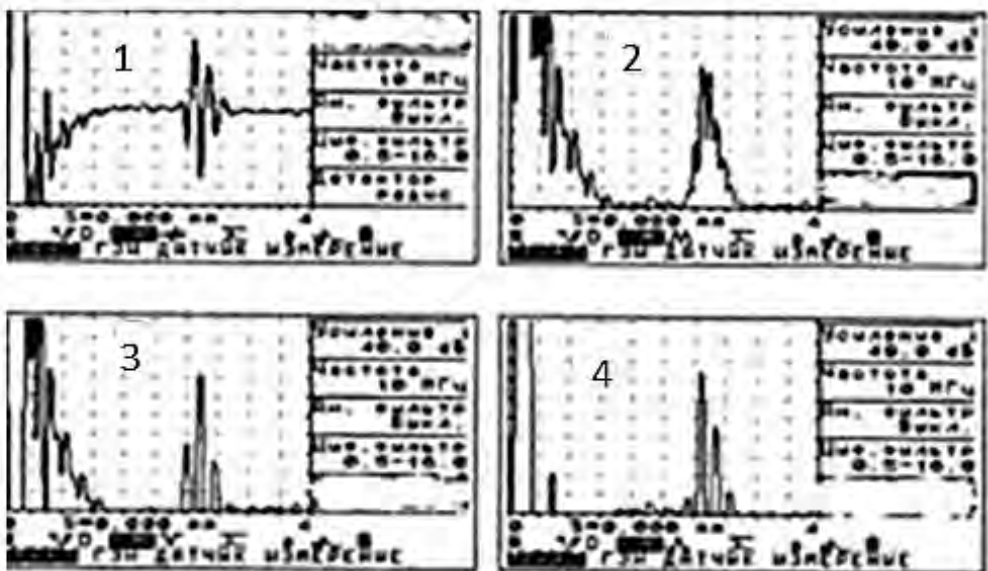


Рисунок 1.13. Відображення А-розгортки: радіосигнал (1), повний детектор (2), негативна півхвиля (3), позитивна півхвиля (4)

|      |      |           |        |      |      |
|------|------|-----------|--------|------|------|
|      |      |           |        |      | Адк. |
|      |      |           |        |      | 32   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |      |

Коли необхідно точно визначити час проходження сигналу, тоді ми можемо використовувати однонапівперіодне детектування. Проте при такому вигляді розгортки фронт імпульсу виглядає більш суворо. При визначенні амплітуди сигналів, зображуючи повне відлуння від фази, повне детектування має значні переваги. Переваги всіх способів має в собі радіосигнал, а також від досить широко використовується у випадках коли потрібно вимірювати відстань до включень з різними акустичними властивостями, для виявлення дефектів малих розмірів, які знаходяться поблизу більших дефектів, а також для визначення частота перетворювача. Також є багато корисних режимів які присутні в всіх дефектоскопах такі як: «зупинка сигналу», «електронна лупа» та багато інших.

Одним із досить корисних режимів є режим обвідного сигналу. Цей режим, звільняючи людину, яка проводить контроль, від необхідності уважно спостерігати на екран і ловити максимальну амплітуду сигналу, дозволяє спростити контроль та збільшити вірогідність правильності отриманих даних. Проста схема побудови обвідної дозволяє зберігати максимальні значення амплітуди прийнятого сигналу в кожній точці розгортки, що є дуже зручним у використанні.

Також є режим обвідної піку, його принцип полягає в тому, щоб зберігати амплітуди тільки максимального значення для кожного імпульсу. За допомогою даного режиму хороша роздільна здатність приладу дозволяє знаходити малі дефекти, які знаходяться поблизу дефектів більших розмірів, а також в деяких випадках, оцінювати форму дефекту та його розміри [21].

### 1.11 Бездротова передача даних

В наш час перед людиною постають все нові та нові задачі, вирішувати які вже не завжди виходить старими перевіреними методами. Для вирішення нових задач треба використовувати нові підходи, нові технології та дивитись

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адж. |
|      |      |          |        |      |  | 33   |
| Змн. | Адж. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

на задачу з іншої сторони. Безпроводна передача даних може стати вирішенням багатьох задач. Прилади, які не потребують з'єднувальних кабелів, мають малі габаритні розміри, мають малу вагу, що досить реально зробити використовуючи новітні мікросхеми, та ще і прості у використанні стануть не замінними у проведенні контролю. [39]

Використання таких приладів призведе до зменшення часу проведення контролю, полегшить роботу операторів, і дасть можливість автоматизувати більшість систем. [40]

Зазвичай у неруйнівному контролі використовується передача даних на невеликі відстані за допомогою bluetooth проте коли потрібно збільшити радіус передачі даних то доцільно використовувати технології Wi-Fi та GSM [1-6].

Ці технології базуються на радіохвильовій модуляції сигналів та використовують різні способи передачі інформації. [39]

Технології бездротової передачі інформації за зоною своєї дії поділяються на такі види:

1. Глобальні WWAN (Wireless Wide Area Network) – GSM
2. Локальні WLAN (Wireless Local Area Networks) – Wi-Fi
3. Персональні WPAN (Wireless Personal Area Networks) – Bluetooth [39].

GSM – передає інформацію пакетами даних. За допомогою GSM користувачі можуть обмінюватися інформацією на великих відстанях з пристроями які використовують ту ж мережу, а також з іншими мережами такими як інтернет. GSM передбачає тарифікацію за обсягом переданої / отриманої інформації саме тому якщо немає потреби передавати дані на дуже великі відстані, то дану мережу застосовувати не доцільно[39].

Wi-Fi - технологія бездротової локальної мережі з пристроями на основі стандартів IEEE 802.11. Wi-Fi працює в безліцензійному частотному діапазоні ISM (2402-2480 МГц) [40]

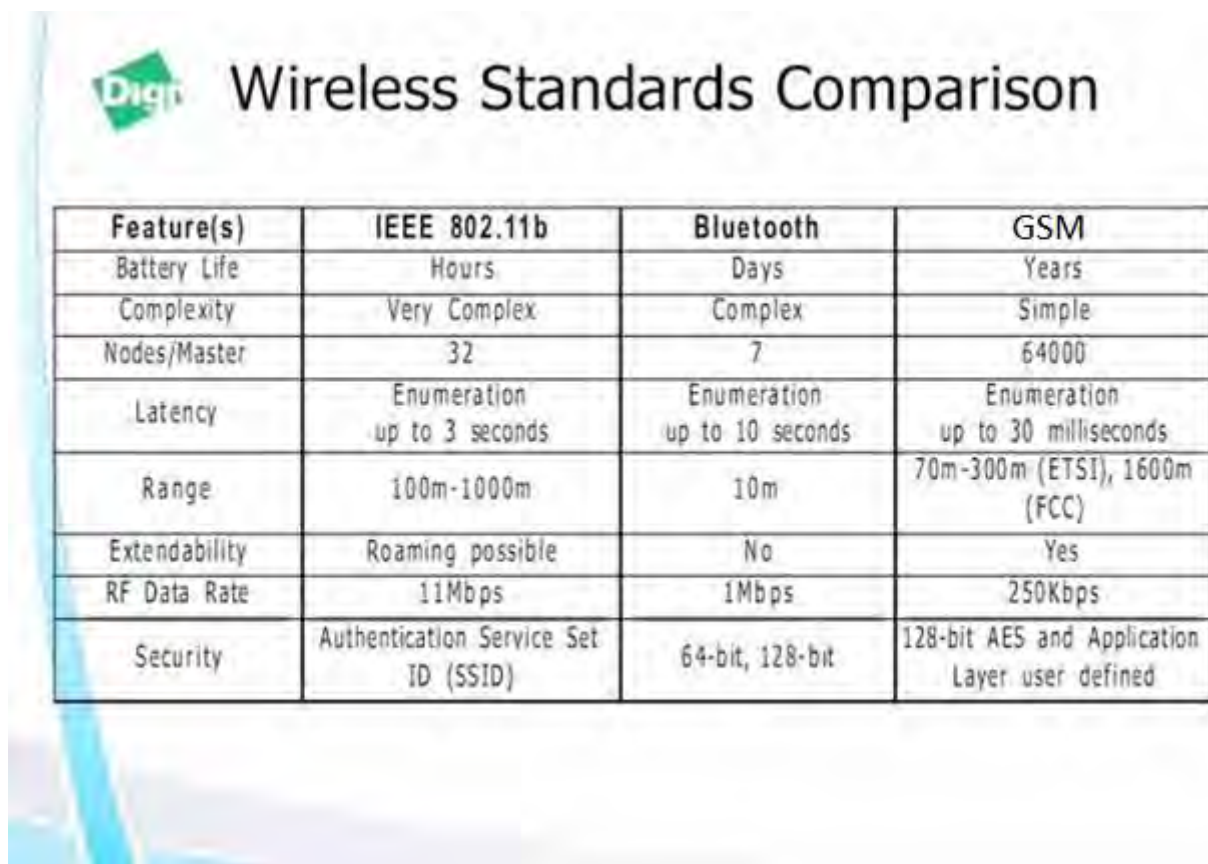
Bluetooth - виробнича специфікація бездротових персональних мереж. Bluetooth може забезпечити передачу даних між приладами, які підтримують

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  | 34   |

bluetooth технологію. Bluetooth використовується тоді, коли необхідно передавати інформацію на не значні відстані. Для завдань неруйнівного контролю ця мережа підходить найкраще. Bluetooth дозволяє пристроям встановлювати зв'язок один з одним, коли вони знаходяться в радіусі до 10 м один від одного (дальність сильно залежить від перешкод і перепон), навіть у різних приміщеннях. [39,40]

Щоб дізнатись про використання бездротової передачі інформації на незначні відстані для вирішення завдань НК можна переглянути результати досліджень моделі безпроводного вихрострумowego дефектоскопу та безпроводного ультразвукового дефектоскопу, які засновані на використанні Bluetooth технології [18-20, 25-30, 35] та Wi-fi технології [34, 36].

Для збільшення радіусу передачі даних у [1, 5, 7, 41] показано застосування GSM технології.



**Wireless Standards Comparison**

| Feature(s)    | IEEE 802.11b                         | Bluetooth                    | GSM  |
|---------------|--------------------------------------|------------------------------|--|
| Battery Life  | Hours                                | Days                         | Years  |
| Complexity    | Very Complex                         | Complex                      | Simple   |
| Nodes/Master  | 32                                   | 7                            | 64000  |
| Latency       | Enumeration up to 3 seconds          | Enumeration up to 10 seconds | Enumeration up to 30 milliseconds              |
| Range         | 100m-1000m                           | 10m                          | 70m-300m (ETSI), 1600m (FCC)                   |
| Extendability | Roaming possible                     | No                           | Yes  |
| RF Data Rate  | 11Mbps                               | 1Mbps                        | 250Kbps  |
| Security      | Authentication Service Set ID (SSID) | 64-bit, 128-bit              | 128-bit AES and Application Layer user defined |

Рис 1.14. Порівняння бездротових стандартів

## 2. Розрахунково-теоретична частина

### 2.1. Обґрунтування вибору перетворювача

Метод ультразвукового неруйнівного контролю, конфігурація ОК, умови контролю, тощо істотно впливають на вибір конструкцій п'єзоперетворювачів. Тому вони мають багато різновидів. Роте принципи, покладені в основу створення конструкцій перетворювачів, зберігаються для всіх типів перетворювачів.

Най головнішим елементом п'єзоперетворювача є п'єзоелемента, розміри якого визначаються з умов використання самого перетворювача. Головним розміром самого п'єзоелемента є його товщина, яка визначається за формулою (2.1)

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

Хоча і товщина п'єзоелементу є його головним розміром, проте характеристику напрямленості випромінювання задають поперечні розміри перетворювача, також від поперечний розмірів перетворювача залежить чи з'являться побічні сигнали в спектрі випромінювання.

Співвідношення розміру перетворювача до товщини п'єзоелементу (2.2) рекомендовано обирати наближеним до 20.

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

В даному випадку буде найефективнішим співвідношення збудження п'єзоелементу.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 36   |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

У цій роботі було використано прямий п'єзоелектричний перетворювач. Прямий перетворювач – це такий перетворювач, який проводить випромінювання і прийом ультразвукових імпульсів в об'єкт контролю під кутом 90 градусів до поверхні самого ОК, яка входить в контакт з даним перетворювачем.

На (Рис. 2.1.) зображено елементи конструкції прямого ультразвукового перетворювача. Основним елементом перетворювача є п'єзоелемент 1, який перетворює електричну енергію в енергію пружних коливань і навпаки. 2-демпфер; 3-протектор; 4-корпус; 5-електричний з'єднувач; 6-струмопровід; 7-компаунд; 8-контактна рідина; 9-акустична пастка; 10-ОК.

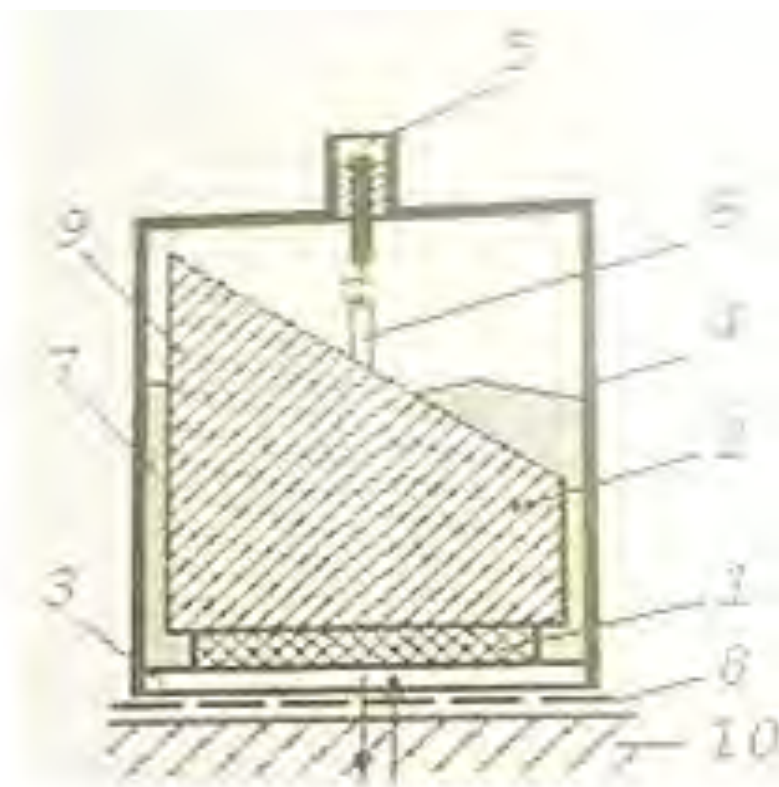


Рисунок 2.1. Елементи конструкції прямого ультразвукового перетворювача

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 37   |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

## 2.2. Вибір робочої частоти перетворювача

Спираючись на технічне завдання, робоча частота  $f_p = 5$  МГц. В такому випадку довжина ультразвукової хвилі в ОК визначається за формулою (2.3):

$$\lambda_{OK} = \frac{C_{OK}}{f_p} \quad (2.3)$$

де  $C_{OK} = 5100$  м/с – швидкість поширення ультразвукової хвилі в сталі. Маючи всі дані, розраховуємо довжину хвилі:

$$\lambda_{ok} = \frac{5.1 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^6} = 1.02 \text{ (мм)}$$

## 2.3. Розрахунок п'єзоелемента

Оберемо п'єзоелемент виготовлений з ЦТС-19, який має такі акустичні характеристики (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Властивості ЦТС-19

|                  |  |      |
|------------------|--|------|
| Швидкість звуку  | $C_1$ м/с                              | 3300 |
| Густина          | $\rho \cdot 10^{-3}$ кг/м <sup>2</sup> | 7.45 |
| Пьезокоефіцієнти | $d_{33} \cdot 10^{12}$ , Кл/Н          | 200  |
|                  | $d_{31} \cdot 10^{12}$ , Кл/Н          | 100  |
|                  | $e_{33}$ , Кл/м <sup>2</sup>           | 15   |



|                                  |                                      |      |
|----------------------------------|--------------------------------------|------|
| Відносна діалектична проникність | $\varepsilon^{T_{33}}/\varepsilon_0$ | 1725 |
| Модуль Юнга                      | $\gamma^{10} 10^{-11}, \text{Па}$    | 0.7  |
| Механічна добротність            |                                      | 50   |
| Коефіц. Електромех. зв'язку      | $k_p$                                | 0.40 |
| Температура Кюрі                 | $T_c, ^\circ\text{C}$                | 290  |

Довжина хвилі в п'єзоперетворювачі рівна:

$$\lambda_{\text{ЦТС}} = \frac{c_{\text{ЦТС}}}{f_p} \quad (2.4)$$

Де  $c_{\text{ЦТС}}$ - швидкість звуку в ЦТС-19

$$\lambda_{\text{ЦТС}} = \frac{3300}{5 \times 10^6} = 0.66 \text{ (мм)} \quad (2.5)$$

Розрахуємо геометричні розміри п'єзоелемента :

Підставимо значення у (2.1)

$$h = \frac{3.3 \times 10^3}{2 \times 5 \times 10^6} = 0.33 \times 10^{-3} \text{ (м)} = 0.33 \text{ (мм)} \quad (2.6)$$

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 39   |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

Для визначення поперечного розміру скористаємося формулою (2.2):

$$\frac{2a}{0.33} \approx 20$$

$$2a \approx 20 \times 0.33$$

$$2a \approx 6.6$$

З конструкційних міркувань п'єзоелемент був взятий з такими параметрами:

$$h = 0.3 \text{ (мм)}$$

$$2a = 6 \text{ (мм)}$$

$T$  – період одного коливання, с.

$$T = \frac{1}{f_p} = \frac{1}{5 \cdot 10^6} = 0.2 \cdot 10^{-6} \text{ (с)} \quad (2.7)$$

Загальний час зондувального імпульсу  $\tau_i$  знаходиться в межах:

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

Із конструктивних міркувань обираємо  $\tau_i = 5 \cdot T$ , тоді:

$$\tau_i = 5 \cdot 0.2 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ (мкс)} \quad (2.9)$$

Повздовжня роздільна здатність складає:

$$\delta D = \frac{1568 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{2} = 0.784 \text{ (мм)} \quad (2.10)$$

Демпфер буде виготовлений з компаунду К-293М (рис. 2.2).

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 40   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

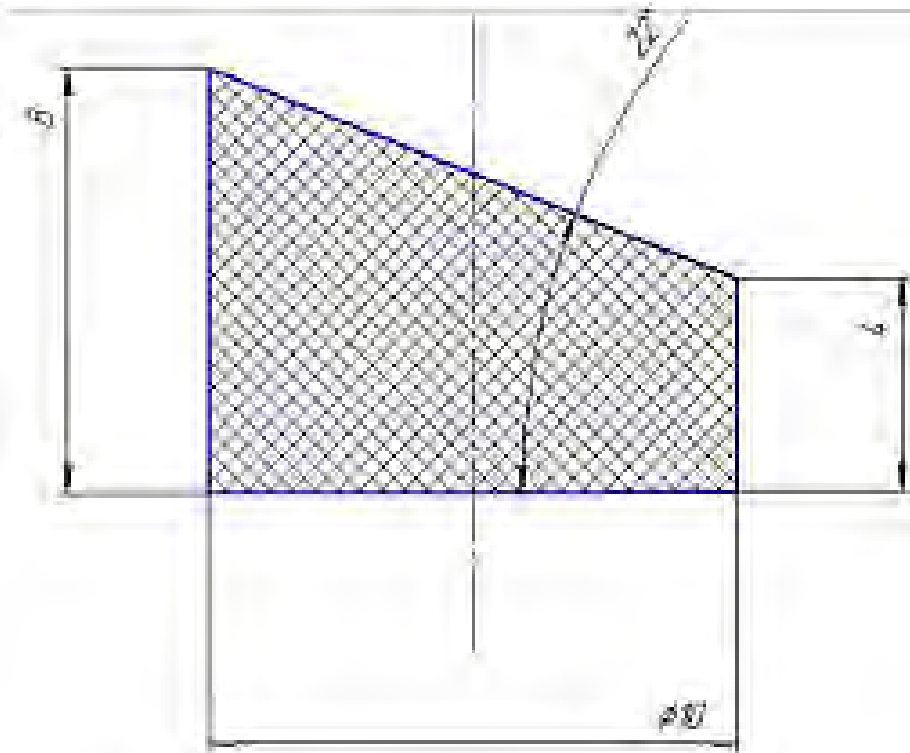


Рисунок 2.2. Геометричні розміри демпфера

#### 2.4. Розрахунок товщини просвітлюючого шару

В якості просвітлюючого шару в конструкції датчика використовуємо протектор (рис 2.3), який водночас захищає пластину п'єзоперетворювача від стиранням.

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

$C_{\text{цтс}}$  і  $\rho_{\text{цтс}}$  – Значення беремо с табл. 1

$$z_{\text{ЦТС}} = 3.3 \cdot 10^3 \cdot 7.45 \cdot 10^3 = 24.75 \cdot 10^6 \quad \left(\text{Па} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}\right) \quad (2.11)$$

$$z_{\text{ПШ}} = \sqrt{z_{\text{ЦТС}} \cdot z_{\text{ОК}}} = 7,9 \cdot 10^6 \quad \left(\text{Па} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}\right) \quad (2.12)$$

де  $Z_{\text{ЦТС}}$  – імпеданс ЦТС-19 , Па·с/м;

$Z_{\text{ОК}}$  – імпеданс об'єкту контролю, Па·с/м.

Визначений вище імпеданс близький до імпедансу магнію ( $Z_{\text{Mg}}=8.35 \cdot 10^6$  (Па·с/м)), отже просвітлюючий шар вибираємо з цього матеріалу.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 42   |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

$$C_{Mg} = \frac{Z_{Mg}}{\rho_{Mg}} = \frac{8.35 \cdot 10^6}{1740} = 4800(\text{м/с}) \quad (2.13)$$

де  $Z_{Mg}$  – імпеданс магнію, Па·с/м;

$\rho_{Mg}$  – густина магнію, кг/м<sup>3</sup>.

Оскільки в якості матеріалу просвітлюючого шару обрано магній, то можна зробити висновок, що  $C_{ПШ} = C_{Mg}$ .

$$\lambda_{ПШ} = \frac{C_{ПШ}}{f} = \frac{4800}{10 \cdot 10^6} = 4.8 \cdot 10^{-4} \quad (2.14)$$

Визначимо товщину просвітлюючого шару за формулою:

$$D_{ПШ} = n \frac{1}{4} \lambda_{ПШ} = \frac{4.8 \cdot 10^{-4}}{4} = 0.13(\text{мм}) \quad (2.15)$$

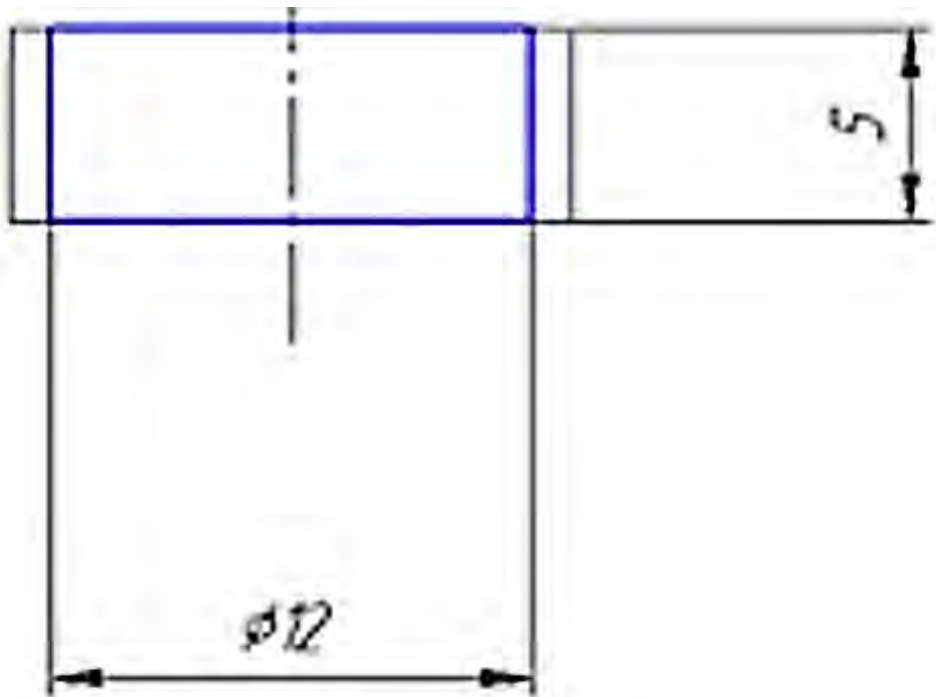


Рисунок 2.3. Протектор

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 43   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

## 2.5. Розрахунок електроакустичного тракту

До складу електроакустичного тракту входить п'єзоелектричний перетворювач та інші конструкційні елементи перетворювача, котрі мають фізичний контакт з перетворювачем електричного ланцюга, а також змінюють форму самого сигналу. Отже таким чином ми можемо отримати модель електроакустичного тракту до якої входять електричні ланцюги. По електричним ланцюгам з генератора ударного збудження сигнал проходить до перетворювача. Перетворювач перетворює прийнятий сигнал з напруги в акустичний. При зворотньому процесі буде сформований електричний сигнал, який в подальшому буде подаватися до входу підсилювача. Коефіцієнт акустичного тракту є його головною оцінкою.

$$K_{ат} = \frac{U_n}{U_B} \quad (2.16)$$

де -  $U_n$  напруга прийнятого сигналу,  $U_B$  - напруга зондувального сигналу.

Для того щоб розрахувати коефіцієнт акустичного тракту потрібно звертати увагу на багато параметрів такі як: положення дефекту в головній пелюстці діаграми направленості та його геометричні розміри. У зв'язку з цим є 4 базові моделі акустичних трактів (Рис. 2.4.). Приймаємо, що наші відбивач та випромінювач мають дископодібну форму, для кожної базової моделі є своя розрахункова формули коефіцієнта акустичного тракту. [9]

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

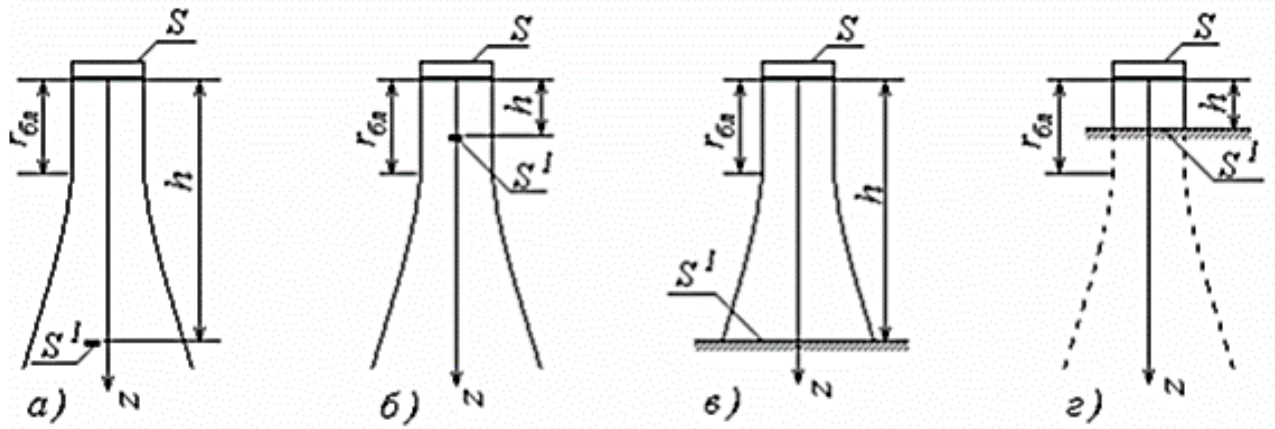


Рисунок 2.4. Моделі розрахунку акустичного тракту у випадку нормального введення

Модель А. Відбивач має правильну круглу форму та розміри менші ніж у випромінювача. Відбивач знаходиться у дальній зоні (рис. 2.5). Для такого випадку коефіцієнт акустичного тракту дорівнює:

$$K_{\text{ат}} = \frac{S'S}{\lambda^2 h^2} \cdot T_1 \cdot R_p \cdot e^{-2ha_p} \quad (2.17)$$

$$K_{\text{ат}} = \frac{1 \cdot 113.1}{2.32^2 100^2} \cdot 0.942 \cdot 0.9894 \cdot e^{-2 \cdot 0.1} = 1.6 \cdot 10^{-3}$$

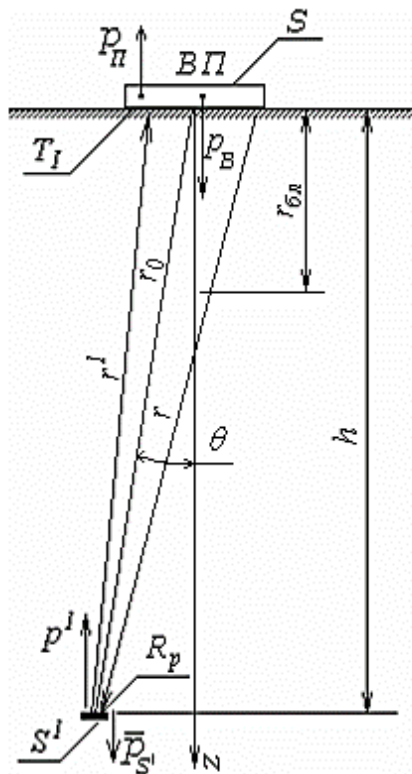


Рисунок 2.5 Променева картина акустичного тракту модель А

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 45   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

Модель Б. Відбивач має форму диску та розміри менші ніж у випромінювача. Відбивач знаходиться у ближній зоні (рис. 2.6).

$$K_{ат} = 0,8 \frac{S'}{\lambda h} \cdot T_1 \cdot R_p \cdot e^{-2ha_p} \quad (2.18)$$

$$K_{ат} = 0,8 \frac{1}{2,32 \cdot 100} \cdot 0,942 \cdot 0,9894 \cdot e^{-2 \cdot 0,1} = 2,38 \cdot 10^{-3}$$

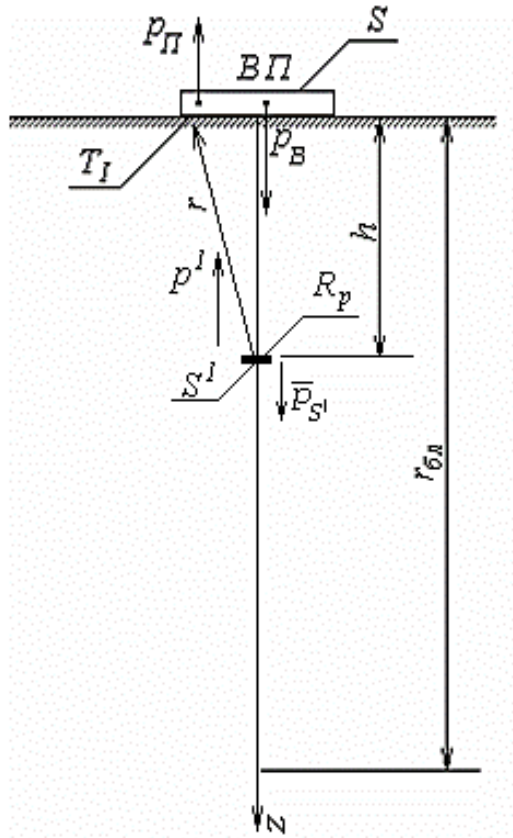


Рисунок 2.6. Променева картина акустичного тракту модель Б

Модель В. Відбивач має форму плоскої горизонтальної поверхні, яка розташована в дальній зоні. Розміри горизонтальної поверхні значно більші за розміри перетворювача (рис.2.7).

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 46   |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

$$K_{\text{ат}} = \frac{S}{2\lambda h} \cdot T_1 \cdot R_p \cdot e^{-2ha_p} \cdot R(\bar{\theta}) \quad (2.19)$$

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

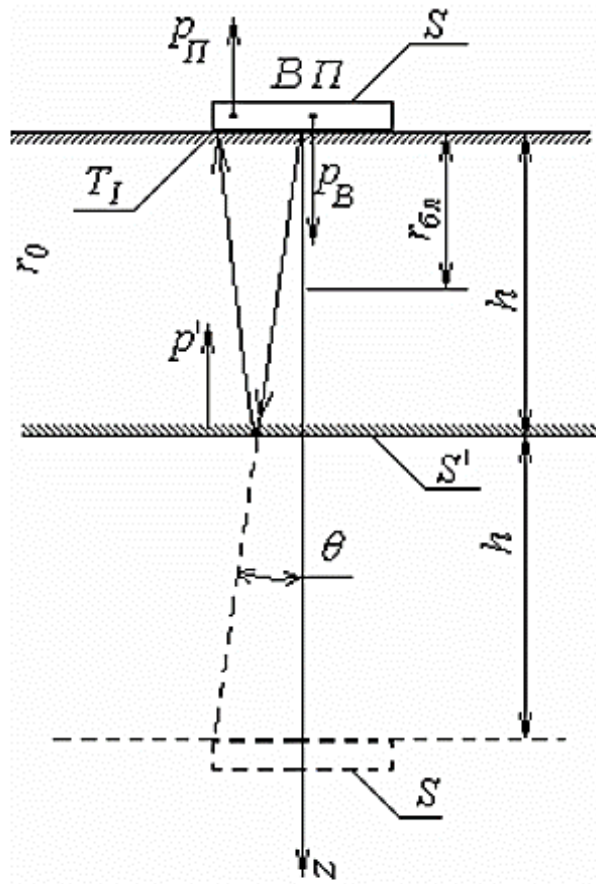


Рисунок 2.7. Променева картина акустичного тракту модель В

Модель Г. Відбивач має форму плоскої поверхні, що знаходиться в ближній зоні випромінювача. Розміри дефекту більші ччим розміри перетворювача. ( рис. 2.8).

$$K_{\text{ат}} = 0,8 \cdot T_1 \cdot R_p \cdot e^{-2ha_p} \quad (2.20)$$

$$K_{\text{ат}} = 0,8 \cdot 0.942 \cdot 0.9894 \cdot e^{-2 \cdot 0.1} = 0.61$$

|      |      |           |        |      |      |
|------|------|-----------|--------|------|------|
|      |      |           |        |      | Адк. |
|      |      |           |        |      | 47   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |      |



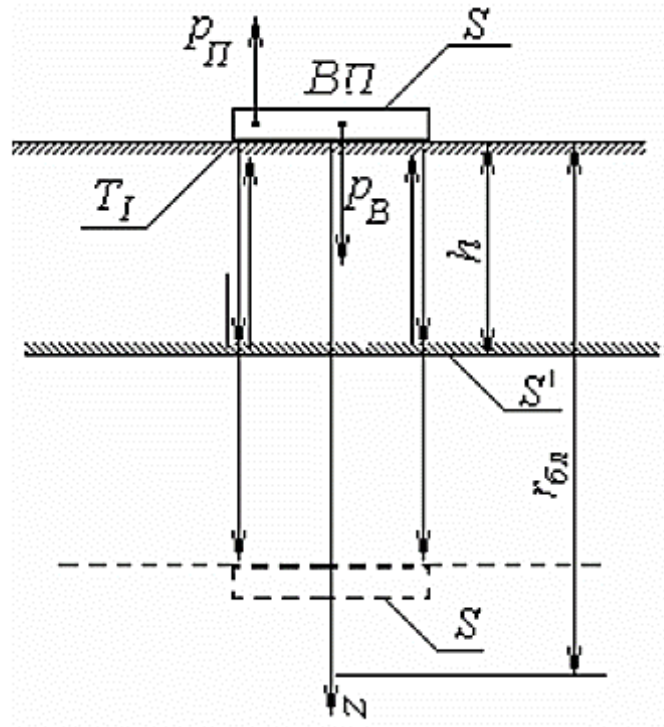


Рисунок 2.8. Променева картина акустичного тракту модель Г

### 3. Конструкторська-технологічна частина

#### 3.1. Розробка конструкції п'єзо датчика

В конструкції п'єзо датчика (Рис 3.1) повинні обов'язково бути такі частини, як основа, демпфер, гвинти, корпус, п'єзоелемент. Саме тому технологія виготовлення таких датчиків досить не проста, тому що вбирає в себе виготовлення кожної окремої деталі перетворювача, а потім і їхнє сполучення один з одним.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 48   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

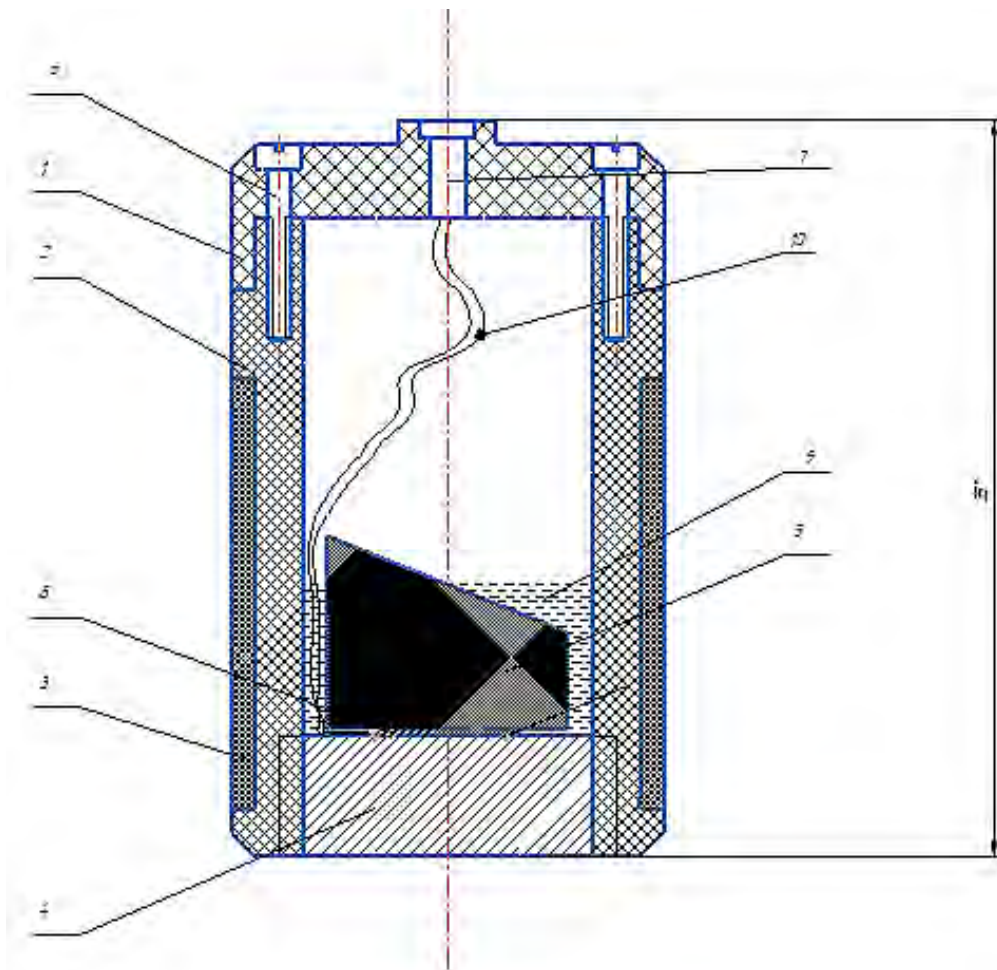


Рис. 3.1 П'єзо датчик

1. Кришка
2. Корпус
3. Гумова насадка
4. Протектор
5. Демпфер
6. Болт
7. Роз'єм
8. П'єзо елемент
9. Епоксидна смола
10. Дроти

Корпус являє собою головну деталь конструкції. Спочатку припаюємо дроти до п'єзо елемента потім приклеюємо п'єзо елемент до демпферу і також до протектору. Вкручуємо уже склеєну деталь датчика в корпус , після чого

|      |      |          |        |      |      |
|------|------|----------|--------|------|------|
|      |      |          |        |      | Арк. |
|      |      |          |        |      | 49   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |      |

заливаємо епоксидною смолою. Після цього закриваємо кришку, пригвинчуємо її до корпусу на надягаємо гумову насадку.

Габаритні розміри перетворювача:

- Висота 63 мм
- зовнішній діаметр 36 мм
- діаметр дроту 5 мм

Усі деталі були розроблені з умов міцності, що передбачає довготривалий термін використання датчика.

### 3.2. Опис функціональної схеми

Розглянемо розроблену функціональну схему мобільного ультразвукового дефектоскопа (рис.3.2). Прилад можна умовно розділити на дві частини: цифрову (Ц) та аналогову (А). До аналогової частини входять: п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП), ключ (К), джерело опорної напруги (ДОН), підсилювач (П). Цифрова частина включає в собі аналого-цифровий перетворювач (АЦП), блок керування (БК), модуль передачі даних (МПД), блок обробки інформації (БОІ). Через ключ на перетворювач подається опорна напруга з джерела опорної напруги. Імпульсами з блоку керування на ключ задається частота ударного збудження. Перетворювач випромінює згенеровані ультразвукові імпульси в об'єкт контролю, після чого ультразвук поширюється в ОК відбиваючись від дефектів або від донної поверхні матеріалу. Після відбиття імпульси повертаються в перетворювач, оскільки амплітуда прийнятого сигналу значно менша чим випроміненого, то перед тим як сигнал відцифрувати, його необхідно підсилити. Після підсилювача сигнал потрапляє до аналого-цифрового перетворювача, де і відцифровується. Потім цифровий сигнал за допомогою модуля передачі даних по бездротовому зв'язку передається в блок обробки інформації, де він обробляється. [22].

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Авк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 50   |
| Змн. | Авк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

Завдяки бездротовому зв'язку блоком обробки інформації може виступати будь який сучасний смартфон, або комп'ютер [23, 24].

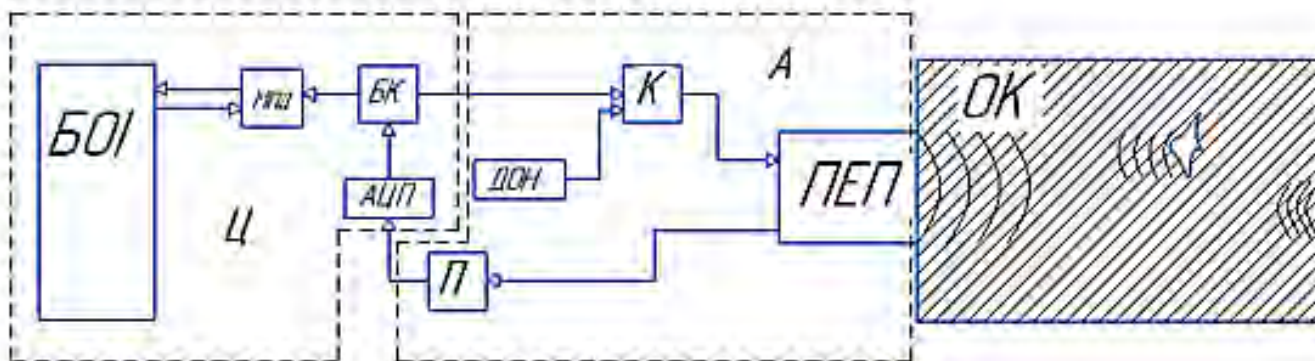


Рисунок 3.2 Функціональна схема ультразвукового дефектоскопа

БОІ – блок обробки інформації.

МПД – модуль передачі даних.

БК – блок керування.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

П – підсилювач.

ДОН – джерело опорної напруги.

К – ключ.

ПЕП – п'єзо електричний перетворювач.

ОК – об'єкт контролю.

## 4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Важливою частиною створення будь якого приладу є розробка схеми електричної принципової. Необхідно відповідально переглянути можливі аналоги до приладу який створюється, оцінити всі їхні плюси та мінуси і тоді приступати до створення електричної принципової схеми.

На основі існуючих аналогів було розроблено схему електричну принципову. З аналогами можна ознайомитись в [25 - 29].

### 4.1. Розрахунок ударного збудження

Для того, щоб сформувати ультразвукові коливання в ОК необхідно спочатку сформувати короткий імпульс на п'єзоперетворювачі, довжина якого не буде перевищувати 25% довжини хвилі. Цей імпульс формується генератором ударного збудження, схема якого представлена на Рис. 4.1. Після чого як на перетворювачі з'являється сформований короткий імпульс, починають формуватися ультразвукові коливання, які в подальшому переходять в ОК.

Представлений генератор ударного збудження працює наступним чином: спочатку електрична енергія, яка дорівнює напрузі живлення, заряджає конденсатор С1. Джерелом напруги у нашому випадку виступає імпульсний перетворювач постійної напруги, який має на вході невелику напругу, та перетворює її у високочастотну імпульсну напругу з рівнем необхідним для збудження перетворювача. Мікроконтролер формує короткий імпульс, тривалість якого не перевищує 25% довжини хвилі, який відкриває транзисторний ключ VT1. Через відкритий транзисторний ключ починає розряджатися перетворювач. Після цього VT1 знову закривається і конденсатор починає заряджатися, і весь цикл повторюється знову. Після виконання такого циклу на виході генератора ударного збудження ми отримуємо необхідний нам короткий імпульс. [30].

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 52   |
| Змн. | Арк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

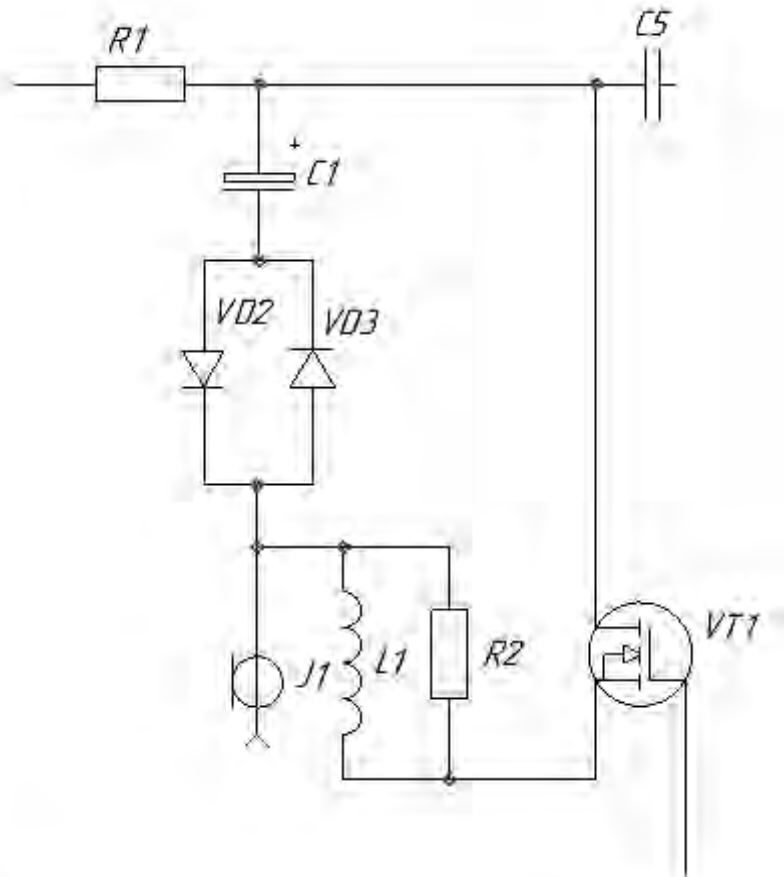


Рис. 4.1 Схема генератора ударного збудження

Експериментальним шляхом було визначено напругу зондувального імпульсу, яка повинна становити 10В.

Розрахуємо напругу живлення E:

$$U_{max} = 0.4 \cdot E \quad (4.1)$$

$$E = \frac{U_{max}}{0.4} = 25 \text{ В}$$

Використовуючи новітні схеми живлення маємо можливість збільшити розраховану напругу живлення до 30 В. Отже приймаємо  $E = 30 \text{ В}$ .

Ємність конденсатора C1 обираємо рівною 2,2  $\mu\text{F}$  для того, щоб зменшити енергоємність контуру.

В даній схемі для збудження ультразвукових коливань використовується генератор ударного збудження, в якому п'єзоелектричний перетворювач виступає в якості ємності. [30].

|      |      |          |        |      |      |
|------|------|----------|--------|------|------|
|      |      |          |        |      | Адк. |
| Змн. | Адк. | № докum. | Підпис | Дата | 53   |

Такий генератор працює за наступним принципом: конденсатор С1 заряджається до напруги  $U_0$  при підключенні напруги живлення Е. Напруга  $U_0$  визначається постійною часу ланцюга заряду  $\tau_{зар}$

$$\tau_{зар} = R_1 \cdot C_1 = 10 \text{ мкс} \quad (4.2)$$

З формули (4,2) розрухуємо  $R_1$

$$R_1 = \frac{\tau_{зар}}{C_1} = 45.5 \text{ Ом} \quad (4.3)$$

Приймаємо  $R_1 = 50 \text{ Ом}$ , тоді  $\tau_{зар} \approx 10 \text{ мкс}$ .

Для даної схеми було підібрано транзистор з низьким рівнем напруги для відкриття IRLML0100TRPbF.

Основні характеристики :

1. Напруга управління база – емітер ним переходом  $U_{бе} = 1 \div 2,5 \text{ В}$
2. Час спрацювання  $t_1 = 4 \text{ нс}$
3. Час закриття  $t_2 = 9 \text{ нс}$
4. Частота  $f = 1 \text{ МГц}$

При замиканні транзистора VT1 п'єзоелемент розряджається на контур через його внутрішній опір.

Постійна часу розряду:

$$\tau_{роз} = \frac{C_1 \cdot C_{ПЕП}}{C_1 + C_{ПЕП}} \cdot R_1 \quad (4,4)$$

$$C_{ПЕП} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad (4,5)$$

$\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$  - електрична постійна

$\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність (для ЦТС  $\varepsilon = 1200$ )

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата |  | 54   |

$$S = \pi \cdot a^2 = 3,1415 \cdot 0,6^2 = 1,131 \text{ мм}^2 \quad (4,6)$$

$d = H = 0,6 \text{ мм}$  – товщина ПЕП

$$C_{\text{ПЕП}} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1200 \cdot \frac{1,131 \cdot 10^{-6}}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 20,03 \text{ pF} \quad (4.7)$$

Розрахуємо  $\tau_{\text{роз}}$

$$\tau_{\text{роз}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{ПЕП}}}{C_1 + C_{\text{ПЕП}}} \cdot R_1 = \frac{2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 20,03 \cdot 10^{-12}}{2,2 \cdot 10^{-6} + 20,03 \cdot 10^{-12}} \cdot 50 = 1 \text{ нс} \quad (4,8)$$

Необхідно щоб виконувалась умова :

$$\tau_{\text{роз}} \ll \tau_{\text{зар}}$$

$$1 \text{ нс} \ll 10 \text{ мкс}$$

Умова виконується.

## 4.2. Розрахунок підсилювача

Для того щоб працювати з отриманим сигналом перед тим як його відцифрувати, його необхідно підсилити до рівня з яким може працювати АЦП, тобто до рівня 1 В.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 55   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |



В якості підсилювача обрано операційний підсилювач серії LMH6658  
схема якого представлена на Рис 4.2.

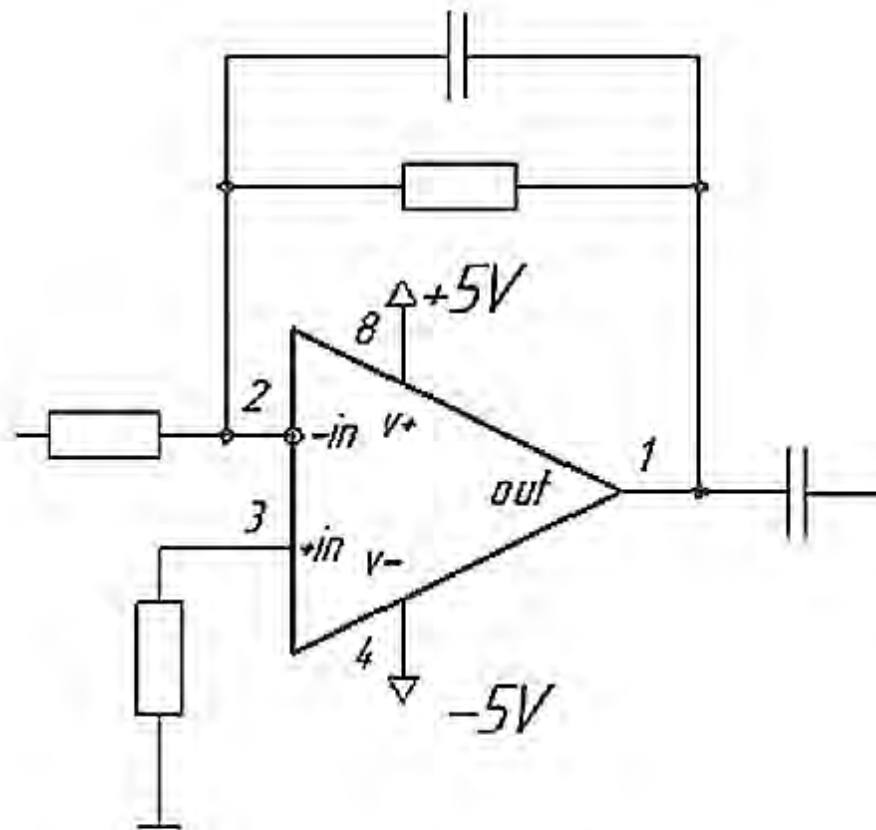


Рис.4.2 Підсилювач LMH6658

Аналогова мікросхема LMH6658 це операційний підсилювач, який може працювати від одного джерела живлення з великим діапазоном вхідних напруг.

Основні характеристики:

- Напруга живлення: від 3 В до 12 В
- Швидкість наростання вихідної напруги ( $V_{пит} = \pm 5V$ ): 700 В / мкс
- Несиметричність посилення: 0,03%
- Несиметричність фази: 0,1 °
- Рівень нелінійних спотворень (на частоті 5 МГц): - 55дБс
- Час виходу на робочий режим (0,1%): 37 нс

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 56   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

- Повністю нормовані всі параметри для напруг живлення 5В і  $\pm 5В$
- Діапазон допустимих вхідних напруг в симетричному включенні: від 0,5 В нижче V- до 1,7 В вище V +
- Максимальний розмах напруги на виході ( $R_n = 2 \text{ кОм}$ ): 1,6 U менш  $V_{пит}$
- Час відновлення після перевантаження на виході: 18 нс
- Захист від КЗ на виході
- Напруга шумів на вході: 11 нВГц
- Шумовий струм на вході: 2,1 пкА / Гц
- Немає інверсії фази при перевищенні діапазону вхідних напруг
- Струм: 6,2 мА / канал
- Смуга пропускання, обмежена -3 дБ ( $K_u = 1$ ): 270 МГц
- Вихідний струм: +80 / -90 мА

Саме тому даний операційний підсилювач можна використовувати у високошвидкісних системах.

Дана мікросхема була вибрана у якості підсилювача тому, що задовольняє нас по всіх параметрах таких як: може використовуватися у високошвидкісних схемах, має мініатюрні корпуси SC70, SOIC-8, VSSOP-8 та SOT-23-5.

Вхідна напруга  $U_{ВХ} = 50 \text{ мВ}$

Коефіцієнт підсилення можна порахувати за формулою (4.9)

$$K_U = \frac{U_{ВИХ}}{U_{ВХ}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (4.9)$$

$$K_U = \frac{U_{ВИХ}}{U_{ВХ}} = \frac{1}{50 \cdot 10^{-3}} = 20$$

Обираємо  $R_1 = 2.2 \text{ кОм}$ , тоді використовуючи (4.9)

$$R_2 = R_1 \cdot 20 = 44 \text{ кОм}$$

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 57   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

### 4.3. Підбір АЦП

При підборі аналого – цифрового перетворювача було обрано мікросхему ADC08B200.

ADC08B200 є високошвидкісним аналого-цифровим перетворювачем з інтегрованим буфером для зйомки. 8-бітний, має високу швидкість дискретизації сигналу 200 MSPS (Million Signals Per Second). Цей пристрій містить вибірковий буфер розміром до 1024 байт, що дозволяє швидко захоплювати вхідний сигнал з меншою швидкістю зчитування. На Рис. 4.3 запропонована блок діаграма даної мікросхеми. Також однією із переваг цієї мікросхеми є її низьке енергоспоживання до 200 мА, а також досить не велика напруга живлення від 2,7 до 3,3 В [19,31].

Block Diagram

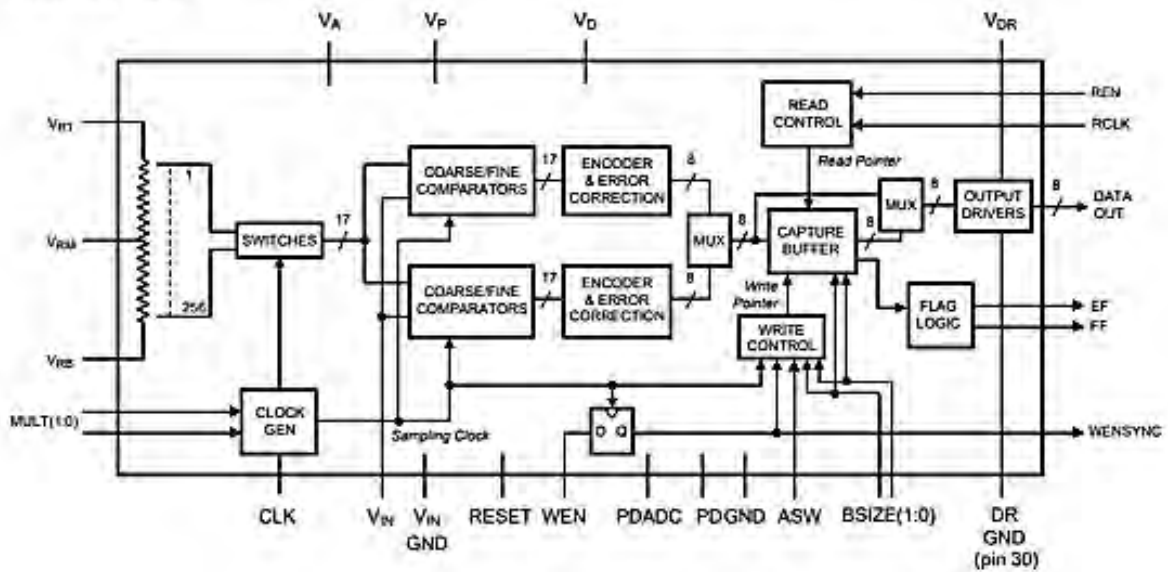


Рисунок 4.3. Блок діаграма ADC08B200

Мікросхема ADC08B200 має досить малі габаритні розміри та виготовлена в пластиковому корпусі TQFP-48 (Рис 4.4.). Малі габарити даної мікросхеми дають нам можливість зменшити розміри основної плати. [31].

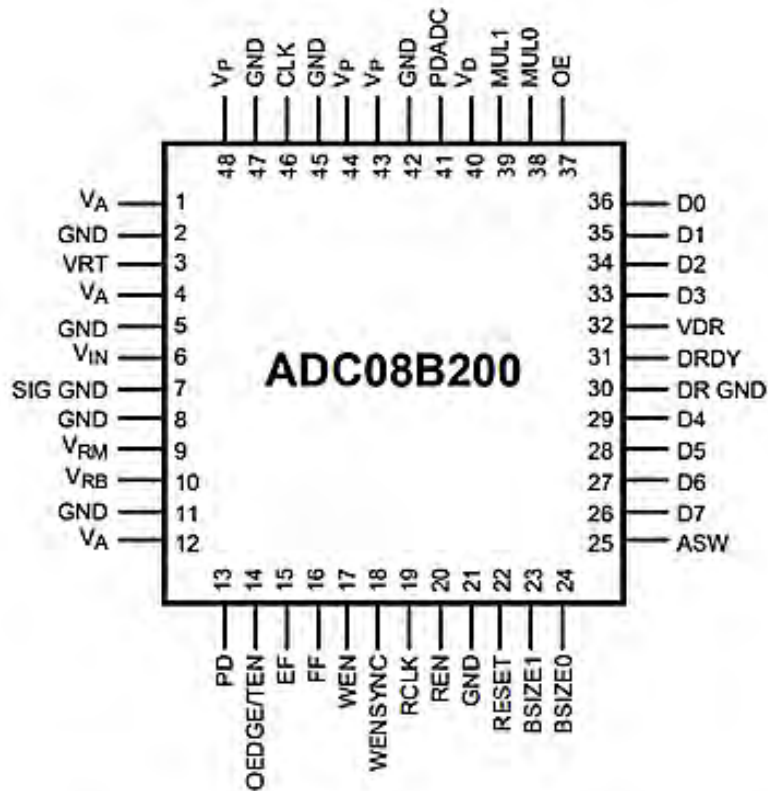


Рисунок 4.4. Схематичне розташування виводів мікросхеми в пластиковому корпусі TQFP-48

#### 4.4. Підбір мікроконтролера

Лінійка мікроконтролерів від STMicroelectronics розширює платформу STM32 новим ядром ARM Cortex™ -M4, додаючи цифрову обробку сигналів і ще більшу продуктивність в номенклатуру продуктів сімейства STM32. Дана лінійка за висновками і програмно сумісна з серією STM32 F2, працює на більшій тактовій частоті (168 МГц замість 120 МГц), підтримує обчислення з плаваючою комою, має великий обсяг оперативної пам'яті 192 кбайт і вбудованого ПЗУ (від 512 кбайт до 1 Мбайт). Нові мікроконтролери побудовані по 90-нм технології. Інтегрований адаптивний акселератор реального часу "ART Accelerator" забезпечує неперевершену продуктивність з нульовими затримками виконання програми з ПЗУ на частоті 168 МГц. Крім того, застосована технологія забезпечує відмінні динамічні параметри енергоспоживання. [20, 32].

Мікроконтролери серії STM32 F4 випускаються в чотирьох варіантах:

STM32F405x: повний набір периферії і USB On-The-Go (OTG) full-speed / high-speed інтерфейс. Доступні в чотирьох корпусах (WLCSP64, LQFP64, LQFP100, LQFP144) з 1 Мбайт Flash. [32].

У STM32F407 до периферії наявної в STM32F405 додаються: другий USB OTG full-speed інтерфейс; вбудований Ethernet MAC 10/100 Мп і RMIІ і апаратною підтримкою IEEE1588 Precise Time Protocol v2, а також 8 ... 14-розрядний паралельний інтерфейс камери для приєднання КМОП-камери, що підтримує до 67,2 Мбайт / с. Доступні в чотирьох корпусах (LQFP100, LQFP144, LQFP / BGA176), від 512 кбайт до 1 Мбайт Flash. [32].

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 60   |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |      |

STM32F415 і STM32F417 несуть на борту crypto / hash-процесор додатково до того, що мається на STM32F405 і STM32F407. Цей процесор забезпечує апаратне прискорення AES 128, 192, 256, Triple DES, HASH (MD5, SHA-1). Пропускна здатність шифрування по AES-256 досягає 149,33 Мбайт / с. [32].

Ключові особливості серії STM32 F4:

1. Ядро Cortex-M4 з інструкціями DSP, FPU;
2. ART акселератор, виконання з 0 циклів затримки до 168 МГц;
3. До 1 Мбайт Flash і 192 кбайт SRAM;
4. Енергоспоживання:
  - 4.1. 230 мкА / МГц на 168 МГц при прогоні Coremark з Flash-пам'яті ;
  - 4.2. Живлення 1,7 ... 3,6 У VDD;
  - 4.3. <МкА типове споживання календаря;
5. Продуктивність:
  - 5.1. Coremark: 363,17 на 168 МГц, Coremark / МГц: 2.162;
  - 5.2. Dhrystone: 210 на 168 МГц;
  - 5.3. 7 провідних, 8 ведених пристроїв на матричній шині multi АНВ;
6. Інтерфейс камери;
7. Інтерфейс зовнішньої пам'яті;
8. Аналоговий генератор випадкових чисел. [32].

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 61   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |

## 5. ВІРОГІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ

### 5.1. Похибка зумовлена квантуванням АЦП

Похибка рівня квантування є основною при розрахунку аналого – цифрового перетворювача. Похибки квантування АЦП - це наслідок обмеженої розрядності АЦП. Похибку квантування не можливо усунути для жодного типу АЦП. Величина похибки квантування знаходиться в діапазоні від 0 до половини значення молодшого значущого розряду (МЗР). Як правило, амплітуда вхідного сигналу значно більша, ніж МЗР. В цьому випадку помилка квантування не корельована з сигналом і має рівномірний розподіл. Її середньоквадратичне значення збігається з середньоквадратичним відхиленням розподілу. [33].

Похибка роздільної здатності:

$$\Delta_{\text{квант}} = \frac{\Delta}{2} \quad (5,1)$$

$\Delta$  – Роздільна здатність АЦП

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

$$\Delta = \frac{1}{2^8} \cdot 100\% = 0.4\%$$

$$\Delta_{\text{квант}} = \frac{0.4}{2} = 0.2\%$$

### 5.2. Похибка операційних підсилювачів

Відносна похибка операційного підсилювача розраховується за наступною формулою:

|      |      |          |        |      |      |
|------|------|----------|--------|------|------|
|      |      |          |        |      | Арк. |
|      |      |          |        |      | 62   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |      |

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

$\delta_k$  - Мультиплікативна похибка, яка рівна 0,1%

$$\delta_M = \frac{0,1}{1 + 20 \cdot \frac{2,2}{2,2 + 44}} = 0,05\%$$

Загальна похибка вимірювання є добутком похибок підсилювача та АЦП

$$\Delta_{\text{заг}} = \Delta_{\text{квант}} \cdot \Delta_{\text{підс}} = 0,2\% \cdot 0,05\% = 0,01\%$$

### 5.3. Оцінка вірогідності контролю

Оцінка вірогідності контролю є однією із важливих розрахунків. Під час проведення контролю виникають два типи похибок. Перша виникає при помилковому припущенні, що бездефектний зразок є дефектним, а друга навпаки, коли дефектний зразок є бездефектним. Інформація про присутність дефекту міститься у вихідному сигналі п'єзоелектричного перетворювача [33].

Відхилення, основою якого прийнято вважати граничний сигнал з відхиленням в 1%. Помилки двох типів одночасно рівні між собою та є рівними 1%.

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

Вірогідність контролю становить:

$$P = 1 - (\alpha + \beta) = 1 - (0,01 + 0,01) = 0,98 = 98\%$$

Отже вірогідність контролю дорівнює 98%.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  | 63   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |



## ВИСНОВОК

Головною метою дипломного проекту є проектування мобільного ультразвукового дефектоскопу. Для того, щоб вирішити поставлене завдання був проведений аналітичний огляд існуючих праць, та існуючих методів дефектоскопії за допомогою ультразвуку. Було підібрано оптимальний метод, який задовольняв нас по всіх параметрах. Після цього було проведено розрахунки основних вузлів конструкції та описано принцип роботи приладу.

В першому розділі було розглянуто та описано теоретичні відомості про ультразвукові коливання, методи ультразвукової дефектоскопії, способи відображення отриманих даних після проведення контролю та ін.

Також було розглянуто типи та види ультразвукових перетворювачів, принцип їхньої побудови та принцип роботи. Було проведено аналіз існуючих сучасних приладів для пошуку дефектів ультразвуковими методами.

Після проведеного огляду, на основі отриманих даних, було обрано метод ультразвукової дефектоскопії, який найкраще підходить для поставленого завдання, а саме луно імпульсний метод із використанням прямого ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача.

Проведені розрахунки геометричних розмірів основних елементів конструкції перетворювача. Маючи розраховані геометричні розміри основних елементів перетворювача був проведений розрахунок акустичного тракту, та встановлено на скільки послаблюється сигнал після проходження через ОК

Наступним розділом проекту стала конструкторсько – технологічна частина. Маючи всі необхідні розміри основних елементів перетворювача було створено креслення перетворювача та описано принцип його побудови.

На основі вже існуючих вихрострумівих бездротових приладів було розроблено функціональну схему ультразвукового дефектоскопу з безпроводною передачею даних. З існуючими приладами можна ознайомитися в [19,34,35,36,14,30].

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 64   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

Було підібрано елементну базу на основі розробленої функціональної схеми та розроблено схему електричну принципову з використанням підібраних раніше елементів.

Результатом даної роботи став розроблений проект ультразвукового дефектоскопу, який передає дані за допомогою бездротової передачі. Детальніше з бездротовою передачею даних можна ознайомитись в [38]. Даний прилад може застосовуватися для проведення контролю зварних швів, склеювання, пайки та інших видів матеріалів на наявність дефектів. Також даний прилад можна застосовувати в автоматизованому контролі. [39].

Головними перевагами розробленого приладу можна рахувати його малі габаритні розміри, простоту конструкції, легкість використання, досить низьке енергоспоживання. Мобільний ультразвуковий дефектоскоп не потребує з'єднувальних кабелів. З урахуванням головних переваг можна зробити висновок, що такий прилад буде актуальним у проведенні контролю матеріалів, які знаходяться у важкодоступних місцях. [40].

Також з використанням бездротової передачі даних з'являється можливість використовувати кращі методи обробки отриманих даних, що сприяє більш високій якості проведеного контролю та полегшує роботу операторів. [41].

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | 65   |
| Змн. | Адк. | № докцм. | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |      |

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

|      |      |        |        |      |  |      |
|------|------|--------|--------|------|--|------|
|      |      |        |        |      |  | Арк. |
|      |      |        |        |      |  | 66   |
| Змн. | Арк. | № док. | Підпис | Дата |  |      |

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. Українець, С. С. Передача даних за допомогою GSM технологій в системах неруйнівного контролю / С. С. Українець, В. Ф. Петрик, О. А. Повшенко // Погляд у майбутнє приладобудування: матеріали 10-ї міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, м. Київ, 16–17 травня 2017 р. / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 122.
8. «Сварка резка пайка метала» : [Електрон. ресурс]. – Дата доступа 23.05.14: <http://www.aspar.com.ua/pajkarezka/36.html>
9. «Акустичний контроль» : [Електрон. ресурс]. - Дата доступа 23.05.14: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Акустичний\\_контроль](http://uk.wikipedia.org/wiki/Акустичний_контроль)
10. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ», 2010 – 448 с
11. Олександр Іванов «Метод ультразвукової дефектоскопії»: [Електрон. ресурс]. – Дата доступа 11.05.13: <http://shop.nvdc.biz/?p=90>
12. «Ультразвуковая дефектоскопия» : [Електрон. ресурс.] – Дата доступа 23.05.14: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковая\\_дефектоскопия](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковая_дефектоскопия)
13. 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». – Созополь, 2014. – № 150 – С. 486 – 488.
14. Топіха, Д. О. Мобільний ультразвуковий дефектоскоп / Д. О. Топіха, В. Ф. Петрик // ІV науково-практична конференція студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання», м.

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 67   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |

Івано-Франківськ, 26-27 листопада 2013 р. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2013. – С. 175-176.

15. «Ультразвукові датчики» : [Електр. ресурс.] – Дата доступу 23.05.14 <http://svitohlyad.com.ua/domashnij-zatyshok/ultrazvukovi-datchyky/>
16. Том Нелліган «Ультразвуковая дефектоскопия»: [Електрон. ресурс]. – Дата доступу 09.05.13: <http://ud2-70.h18.ru/index.files/Page616.htm>
17. 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.
18. Повшенко, О. А. Мобільний ультразвуковий дефектоскоп / О. А. Повшенко // XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, Україна : збірник статей / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. – С. 449–452.
19. Петрик, В. Ф. Вихретоковий 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.
20. 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,
- 21 Ультразвуковой контроль сварных соединений / В.А. Троицкий, В.Ю. Попов. — К.: Феникс, 2010. — 224 с. ISBN 978-966-651-804-3
22. Миргородський, О. О. Бездротова передача даних в задачах неруйнівного контролю та автоматизації / О. О. Миргородський, В. Ф. Петрик // XI

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Адк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 68   |
| Змн. | Адк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, Україна : збірник статей / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. – С. 438–440.

23. Petryk, Valentyn. Defectoscope Based on Modern Mobile Devices / Valentyn Petryk, Anatolii Protasov // Збірник тез доповідей XVIII 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. Патент України на корисну модель UA 50632 U, G01N 29/00. Ультразвуковий безпроводний дефектоскоп / О.Л. Кустовський, В.Ф. Петрик. – № u201005265; заявл. 29.04.2010; опубл. 10.06.2010. – Бюл. № 11/2010.

28. 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.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 69   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

29. Патент України на корисну модель UA 121451 U, G01N 29/00, G01N 29/34 (2006.01), G01N 29/26 (2006.01), H04W 88/04 (2009.01). Телеметричний вихрострумний дефектоскоп / В.Ф. Петрик, А.Г.Протасов, К.М.Серий, С.С.Українець. – № u201704998; заявл. 23.05.2017; опубл. 11.12.2017. – Бюл. № 23/2017.
30. 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.
31. Аналого-цифрової преобразователь [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Аналого-цифровой\\_преобразователь](https://ru.wikipedia.org/wiki/Аналого-цифровой_преобразователь)
32. 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-semejstva-stm32f4.html>.
33. Поджаренко В. О. ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГУМУСУ В ҐРУНТІ / В. О. Поджаренко. – Вінниця, 2009. – 4 с.
34. Петрик, В.Ф. Мобильный вихретоковый дефектоскоп с беспроводной системой передачи данных / В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин, В. В. Карпинський, Ю. Ю. Лисенко // Журнал «Научни Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни на безразрушительния контрол 2016», г. Созополь, 2016 г. – Созополь, 2016. – № 1(187) – С. 43–45.
35. Протасов, А.Г. Вихрострумний дефектоскоп з телеметричним каналом зв'язку / А. Г. Протасов, К. М. Серий, О. Л. Дугін, В. Ф. Петрик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – 2014. – № 19 (1062). – С. 132–139.
36. Петрик, В. Ф. Телеметрический вихретоковый дефектоскоп / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов, А. Л. Дугин // Журнал «Научни Известия НТСМ» :

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  | 70   |
| Змн. | Арк. | № док.м. | Підпис | Дата |  |      |

материалы международной конференции «Дни НК 2014», г. Созополь, 09-18 июня, 2014 г. – Созополь, 2014. – № 1(150) – С. 34 – 36.

37. 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 «ХПІ», 2012 р. – № 40. – С.71-77.
38. Петрик, В. Ф. Бездротова передача даних у неруйнівному контролі / О. Л. Кустовський, В. Ф. Петрик // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання : матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції, м. Івано-Франківськ, 2-5 грудня 2008 року. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2008. – С. 120.
39. Барановський, Д. В. Бездротовий ультразвуковий дефектоскоп / Д. В. Барановський // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 346–349.
40. Повшенко, О. А. Мобільний ультразвуковий дефектоскоп / О. А. Повшенко // XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, Україна : збірник статей / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. – С. 449–452.
41. 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.

|      |      |           |        |      |  |      |
|------|------|-----------|--------|------|--|------|
|      |      |           |        |      |  | Адк. |
|      |      |           |        |      |  | 71   |
| Змн. | Адк. | № док.им. | Підпис | Дата |  |      |



# Додатки

## **Технічне завдання**

### **1. Найменування дипломного проекту**

„Мобільний ультразвуковий дефектоскоп”.

### **2. Мета виконання дипломного проекту та призначення виробу**

2.1. Мета виконання дипломного проекту – розробка нового приладу, який зможе забезпечити можливість проведення контролю елементів конструкції або поверхонь, які знаходяться у важкодоступних місцях або мають обмежений доступ, на наявність в них дефектів або порушень цілісності.

#### 2.2. Призначення приладу.

Мобільний ультразвуковий дефектоскоп, призначений для пошуку дефектів та передачі даних до центру обробки за допомогою безпроводного каналу передачі даних.

### **3. Передумови для розробки приладу**

Дана розробка виконується відповідно до тематики дипломного проектування, затвердженої кафедрою приладів і систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

### **4. Вимоги до технічних характеристик.**

Основні параметри:

- об’єкт контролю – сталевий виріб з товщиною до 15 см.
- дефекти розміром до 3 міліметрів квадратного
- Границя допустимої основної похибки – не більше 1%;

### **5. Робочі умови експлуатації приладу.**

Номінальне значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

- температура навколишнього середовища  $-10...60^{\circ}\text{C}$ ;
- відносна вологість 75% при температурі навколишнього середовища  $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;
- атмосферний тиск  $750\pm 30$  мм.рт.ст.

## **6. Вимоги до конструкції приладу.**

Система повинна зберігати працездатність й свої параметри відповідно до ДСТУ 17516-72.

6.1. Конструкція системи повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації.

6.2. Система повинна мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування.

6.3. Використані покупні вироби та матеріали, під час випробування системи повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби системи.

## **7. Техніко-економічні вимоги.**

7.1. Передбачається виготовлення одного дослідного зразка приладу.

7.2. Орієнтовна ціна дослідного зразка системи повинна бути розрахована до початку проведення робіт.

## **8. Вимоги до упаковки.**

8.1. Транспортна упаковка повинна забезпечувати збереження приладу при транспортуванні та збереженні.

8.2. Коробку з приладом розміщують в транспортному ящику:

Простір між стінками ящика і коробки заповнюють пакувальним амортизаційним матеріалом.

## **9. Стандартизація та уніфікація.**

До системи повинна бути прикладена експлуатаційна документація відповідно ДСТУ 25565-94.

## **10. Вимоги до техніки безпеки.**

10.1. Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування системи повинні відповідати ДСТ 122007-75 та ДСТУ 123019-80.

10.2. Середній час без відмовлень роботи системи, повинен бути не менше 800 год.

## **11. Строк зберігання, служби та технічний ресурс.**

11.1. Прилад повинен витримувати зберігання протягом 3 років.

11.2. Строк служби 5 років.

11.3. Технічний ресурс 1600 год.

| Форм. | Зона | Поз. | Позначення  | Найменування   | Кол. | Прим. |
|-------|------|------|---|--|------|-------|
|       |      |      |   |  |      |       |
|       |      |      |   | <u>Танталові конденсатори "AVX"</u><br><u>Типу-A 10%</u>       |      |       |
|       |      |      | C1, C31, C32  | TAJA105K035R   | 3    |       |
|       |      |      | C13, C16, C19, C21, C23   | TAJ1C106K035R  | 5    |       |
|       |      |      |   | <u>Конденсатори "MURATA"</u><br><u>SMD 0603 1% по ряду E24</u> |      |       |
|       |      |      | C2  | GRM1851XDC50V473BX7RL  | 1    |       |
|       |      |      | C3, C4, C5, C8, C12, C38  | GRM1851XDC50V102BX7RL  | 6    |       |
|       |      |      | C6, C10, C11, C39, C40  | GRM1851XDC50V223BX7RL  | 5    |       |
|       |      |      | C7  | GRM1851XDC50V10RBX7RL  | 1    |       |
|       |      |      | C9, C15, C17, C18, C20, C22, C25, C27,<br>C28, C28, C30, C33, C34, C35, C36,<br>C37 | GRM1851XDC50V104BX7RL  | 16   |       |
|       |      |      | C14, C24, C26   | GRM1851XDC50V106BX7RL  | 3    |       |
|       |      |      | C41, C42  | GRM1851XDC50V22RBX7RL  | 2    |       |
|       |      |      |   | <u>Роз'єм USB</u>  |      |       |
|       |      |      | CN1   | ZX62D-AB-5P8, "Hirose<br>Electric"                             | 1    |       |
|       |      |      |   | <u>Мікросхеми</u>  |      |       |
|       |      |      | DA1   | AS1340ABTDT10, "AMS"   | 1    |       |

ПК51.01.0000.000 ПЕЗ

| Изм      | Лист | № докум      | Подп. | Дата |
|----------|------|--------------|-------|------|
| Разраб.  |      | Барановський |       |      |
| Пров.    |      | Петрик ВФ    |       |      |
| Н.контр. |      |              |       |      |
| Утв.     |      |              |       |      |

Мобільний ультразвуковий  
дефектоскоп  
Схема електрична

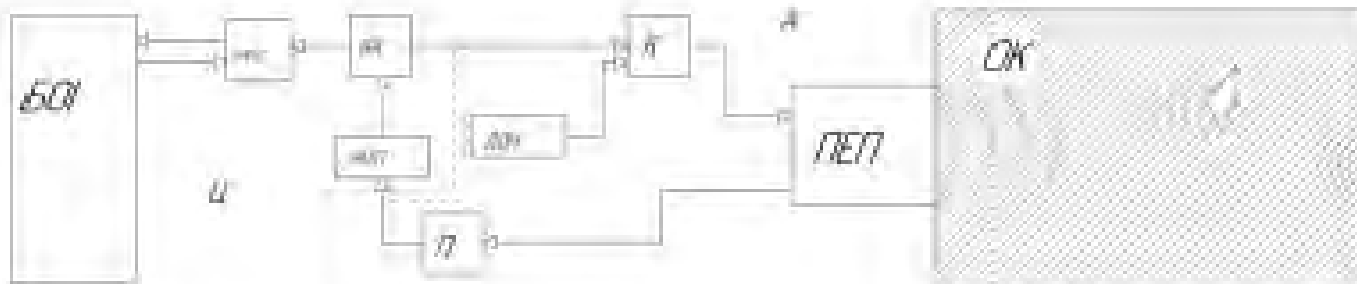
| Лист. | Лист | Листов |
|-------|------|--------|
|       | 1    | 3      |

| Форм. | Зона | Поз.    | Обозначение                              | Наименование  | Кол. | Примеч. |      |
|-------|------|---------|--|---|------|---------|------|
|       |      |         | DA2                                      | LMH6658MAX/NOPB, "TI"                                       | 1    |         |      |
|       |      |         | DA3                                      | TPS63001DRCR, "TI"  | 1    |         |      |
|       |      |         | DD1                                      | ADC08B200, "TI"   | 1    |         |      |
|       |      |         | DD2                                      | STM32F407VGT6, "STM"  | 1    |         |      |
|       |      |         |  | <u>Кварцевий резонатор</u>                                  |      |         |      |
|       |      |         | G1                                       | ECS-250-18-33-JGN-TR, "ECS International"                   | 1    |         |      |
|       |      |         |  | <u>ВЧ роз'єм</u>  |      |         |      |
|       |      |         | J1                                       | EM-MC014, "RF Connector"                                    | 1    |         |      |
|       |      |         |  | <u>Дроселі</u>  |      |         |      |
|       |      |         | L1                                       | 744766906, "Würth Electronics"                              | 1    |         |      |
|       |      |         | L2                                       | CDRH2D14NP-2R2NC, "Sumida"                                  | 1    |         |      |
|       |      |         | L3, L4                                   | SWI0603CTR15J, "Hitano"                                     | 1    |         |      |
|       |      |         |  | <u>Резистори "VISHAY" SMD 0603</u><br><u>1% по ряду E24</u> |      |         |      |
|       |      |         | R1                                       | CRCW060350RFK   | 1    |         |      |
|       |      |         | R2, R3, R4, R16, R32, R33, R34, R35, R36 | CRCW060310KFK   | 9    |         |      |
|       |      |         | R5, R38                                  | CRCW0603220RFK  | 2    |         |      |
|       |      |         | R6, R17, R19                             | CRCW0602K2FK  | 3    |         |      |
|       |      |         | R7                                       | CRCW0603100KFK  | 1    |         |      |
|       |      |         | <b>ПК51.01.0000.000 ПЕЗ</b>              |   |      |         | Лист |
| Взм   | Лист | № докум | Подп.                                    | Дата  | 2    |         |      |

| Форм. | Зона | Поз.    | Обозначение                  | Наименование                            | Кол.                 | Примеч. |
|-------|------|---------|------------------------------|---|----------------------|---------|
|       |      |         | R8                           | CRCW060391KFK                           | 1                    |         |
|       |      |         | R9, R10                      | CRCW06031M6FK                           | 2                    |         |
|       |      |         | R11, R12                     | CRCW0603510KFK                          | 2                    |         |
|       |      |         | R13                          | CRCW060362KFK                           | 1                    |         |
|       |      |         | R14                          | CRCW06032M2FK                           | 1                    |         |
|       |      |         | R15                          | CRCW060356KFK                           | 1                    |         |
|       |      |         | R18                          | CRCW060327KFK                           | 1                    |         |
|       |      |         | R20                          | CRCW060313KFK                           | 1                    |         |
|       |      |         | R21                          | CRCW060320KFK                           | 1                    |         |
|       |      |         | R22                          | CRCW0603100RFK                          | 1                    |         |
|       |      |         | R23, R24, R25, R26, R27, R28 | CRCW060310RFK                           | 6                    |         |
|       |      |         | R29, R37                     | CRCW06030000FK                          | 2                    |         |
|       |      |         | R30, R31                     | CRCW060322RFK                           | 2                    |         |
|       |      |         |                              | <u>Диоды</u>                            |                      |         |
|       |      |         | VD1, VD2, VD3                | LL4148, "TME"                           | 3                    |         |
|       |      |         | VD4                          | MBR0560-TP, "MCC"                       | 1                    |         |
|       |      |         |                              | <u>Транзистор</u>                       |                      |         |
|       |      |         | VT1                          | IRLML0100TRPbF, "Infineon Technologies" | 1                    |         |
|       |      |         |                              |   |                      |         |
|       |      |         |                              |   | ПК51.01.0000.000 ПЕЗ |         |
| Изм   | Лист | № докум | Подп.                        | Дата                                    | Лист                 |         |
|       |      |         |                              |   | 3                    |         |

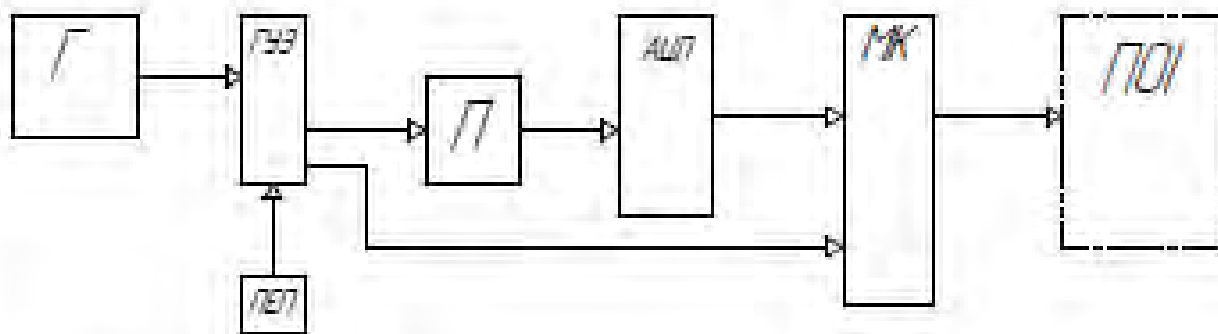
| Формат   | Зона    | Позиція       | Позначення         | Найменування                      | Кіль-<br>кість  | Приміт<br>ка |
|----------|---------|---------------|--------------------|-----------------------------------|---|--------------|
|          |         |               |                    | <u>Документація</u>               |   |              |
| A2       |         |               | ПК51.010000.100 СК | Складальне креслення              | 1   |              |
|          |         |               |                    | <i>Деталі</i>                     |   |              |
| A3       |         | 1             | ПК51.010000.101    | Кришка                            | 1   |              |
| A3       |         | 2             | ПК51.010000.102    | Корпус                            | 1   |              |
|          |         | 3             |                    | Гумова насадка                    | 1   |              |
|          |         | 4             |                    | Протектор                         | 1   |              |
|          |         | 5             |                    | Демпфер                           | 1   |              |
|          |         | 8             |                    | П'єзоелемент                      | 1   |              |
|          |         | 10            |                    | Дріт                              | 2   |              |
|          |         |               |                    | <u>Стандартні вироби</u>          | 1   |              |
|          |         | 6             |                    | Гвинт М1.4 ГОСТ<br>9150-2002      | 4   |              |
|          |         | 7             |                    | Роз'єм RJ-2A ГОСТ<br>14254 - 2015 | 1   |              |
|          |         |               |                    | <u>Матеріали</u>                  |   |              |
|          |         | 9             |                    | Епоксидна смола ЄД-<br>20         |   |              |
|          |         |               |                    | ГОСТ 10587-84                     |   |              |
|          |         |               |                    | <b>ПК51.010000.100 СК</b>         |   |              |
| Зм.      | Ар<br>к | № докум.      | Підпи<br>с         | Дата                              |   |              |
| Розроб.  |         | Барановський. |                    |                                   | Літ.  | Аркуш        |
| Перев.   |         |               |                    |                                   |   | Аркушів      |
| Н.контр. |         |               |                    |                                   |   | 1            |
| Затв.    |         | Петрик        |                    |                                   |   | 1            |
|          |         |               |                    |                                   | Мобільний ультразвуковий<br>дефектоскоп<br>Складальне креслення<br>Специфікація |              |





- БСІ - блок обробки інформації*
- МТД - модуль передачі даних*
- ОК - об'єкт керування*
- АШТ - аналого - шифровий перетворювач*
- П - підсилювач*
- ДОН - джерело опорної напруги*
- К - ключ*
- ПЕП - п'єзоелектричний перетворювач*
- ОК - об'єкт керування*

|   |            |                        |         |
|---|------------|------------------------|---------|
|   |            | U-00000000000000000000 |         |
| № | Позначення | Колір                  | Масштаб |
|   |            |                        |         |
|   |            |                        |         |



- Г - генератор*
- ГЗЗ - генератор збурювального збудження*
- ПЕП - п'єзоелектричний перетворювач*
- П - підсилювач*
- АШТ - аналого - шифровий перетворювач*
- МК - мікроконтролер*
- ПІОІ - пристрій обробки інформації*

|   |            |                        |         |
|---|------------|------------------------|---------|
|   |            | U-00000000000000000000 |         |
| № | Позначення | Колір                  | Масштаб |
|   |            |                        |         |
|   |            |                        |         |



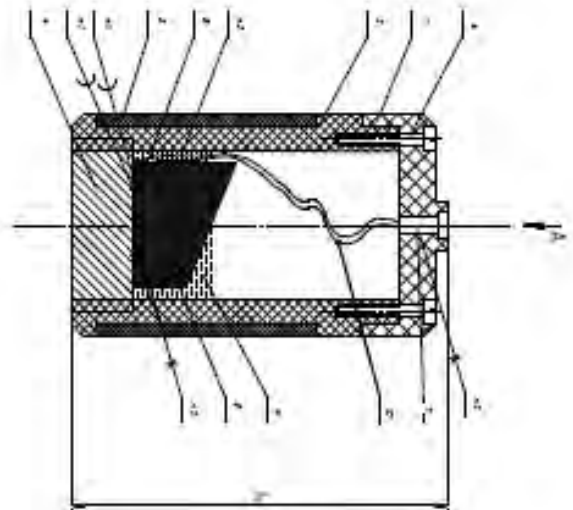
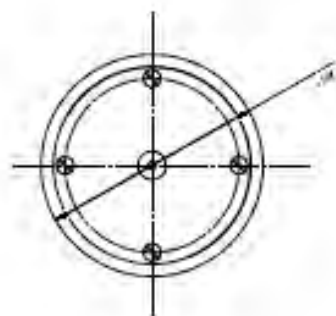


Рис. 1



- 1 - корпус; 2 - обод; 3 - обод; 4 - обод; 5 - обод; 6 - обод; 7 - обод; 8 - обод; 9 - обод; 10 - обод; 11 - обод; 12 - обод.

|         |  |           |  |           |  |           |  |           |  |
|---------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|
| ИЗДАНИЕ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  |
| 1       |  | 1         |  | 1         |  | 1         |  | 1         |  |
| 2       |  | 2         |  | 2         |  | 2         |  | 2         |  |
| 3       |  | 3         |  | 3         |  | 3         |  | 3         |  |
| 4       |  | 4         |  | 4         |  | 4         |  | 4         |  |
| 5       |  | 5         |  | 5         |  | 5         |  | 5         |  |
| 6       |  | 6         |  | 6         |  | 6         |  | 6         |  |
| 7       |  | 7         |  | 7         |  | 7         |  | 7         |  |
| 8       |  | 8         |  | 8         |  | 8         |  | 8         |  |
| 9       |  | 9         |  | 9         |  | 9         |  | 9         |  |
| 10      |  | 10        |  | 10        |  | 10        |  | 10        |  |
| 11      |  | 11        |  | 11        |  | 11        |  | 11        |  |
| 12      |  | 12        |  | 12        |  | 12        |  | 12        |  |
| 13      |  | 13        |  | 13        |  | 13        |  | 13        |  |
| 14      |  | 14        |  | 14        |  | 14        |  | 14        |  |
| 15      |  | 15        |  | 15        |  | 15        |  | 15        |  |
| 16      |  | 16        |  | 16        |  | 16        |  | 16        |  |
| 17      |  | 17        |  | 17        |  | 17        |  | 17        |  |
| 18      |  | 18        |  | 18        |  | 18        |  | 18        |  |
| 19      |  | 19        |  | 19        |  | 19        |  | 19        |  |
| 20      |  | 20        |  | 20        |  | 20        |  | 20        |  |
| 21      |  | 21        |  | 21        |  | 21        |  | 21        |  |
| 22      |  | 22        |  | 22        |  | 22        |  | 22        |  |
| 23      |  | 23        |  | 23        |  | 23        |  | 23        |  |
| 24      |  | 24        |  | 24        |  | 24        |  | 24        |  |
| 25      |  | 25        |  | 25        |  | 25        |  | 25        |  |
| 26      |  | 26        |  | 26        |  | 26        |  | 26        |  |
| 27      |  | 27        |  | 27        |  | 27        |  | 27        |  |
| 28      |  | 28        |  | 28        |  | 28        |  | 28        |  |
| 29      |  | 29        |  | 29        |  | 29        |  | 29        |  |
| 30      |  | 30        |  | 30        |  | 30        |  | 30        |  |
| 31      |  | 31        |  | 31        |  | 31        |  | 31        |  |
| 32      |  | 32        |  | 32        |  | 32        |  | 32        |  |
| 33      |  | 33        |  | 33        |  | 33        |  | 33        |  |
| 34      |  | 34        |  | 34        |  | 34        |  | 34        |  |
| 35      |  | 35        |  | 35        |  | 35        |  | 35        |  |
| 36      |  | 36        |  | 36        |  | 36        |  | 36        |  |
| 37      |  | 37        |  | 37        |  | 37        |  | 37        |  |
| 38      |  | 38        |  | 38        |  | 38        |  | 38        |  |
| 39      |  | 39        |  | 39        |  | 39        |  | 39        |  |
| 40      |  | 40        |  | 40        |  | 40        |  | 40        |  |
| 41      |  | 41        |  | 41        |  | 41        |  | 41        |  |
| 42      |  | 42        |  | 42        |  | 42        |  | 42        |  |
| 43      |  | 43        |  | 43        |  | 43        |  | 43        |  |
| 44      |  | 44        |  | 44        |  | 44        |  | 44        |  |
| 45      |  | 45        |  | 45        |  | 45        |  | 45        |  |
| 46      |  | 46        |  | 46        |  | 46        |  | 46        |  |
| 47      |  | 47        |  | 47        |  | 47        |  | 47        |  |
| 48      |  | 48        |  | 48        |  | 48        |  | 48        |  |
| 49      |  | 49        |  | 49        |  | 49        |  | 49        |  |
| 50      |  | 50        |  | 50        |  | 50        |  | 50        |  |
| 51      |  | 51        |  | 51        |  | 51        |  | 51        |  |
| 52      |  | 52        |  | 52        |  | 52        |  | 52        |  |
| 53      |  | 53        |  | 53        |  | 53        |  | 53        |  |
| 54      |  | 54        |  | 54        |  | 54        |  | 54        |  |
| 55      |  | 55        |  | 55        |  | 55        |  | 55        |  |
| 56      |  | 56        |  | 56        |  | 56        |  | 56        |  |
| 57      |  | 57        |  | 57        |  | 57        |  | 57        |  |
| 58      |  | 58        |  | 58        |  | 58        |  | 58        |  |
| 59      |  | 59        |  | 59        |  | 59        |  | 59        |  |
| 60      |  | 60        |  | 60        |  | 60        |  | 60        |  |
| 61      |  | 61        |  | 61        |  | 61        |  | 61        |  |
| 62      |  | 62        |  | 62        |  | 62        |  | 62        |  |
| 63      |  | 63        |  | 63        |  | 63        |  | 63        |  |
| 64      |  | 64        |  | 64        |  | 64        |  | 64        |  |
| 65      |  | 65        |  | 65        |  | 65        |  | 65        |  |
| 66      |  | 66        |  | 66        |  | 66        |  | 66        |  |
| 67      |  | 67        |  | 67        |  | 67        |  | 67        |  |
| 68      |  | 68        |  | 68        |  | 68        |  | 68        |  |
| 69      |  | 69        |  | 69        |  | 69        |  | 69        |  |
| 70      |  | 70        |  | 70        |  | 70        |  | 70        |  |
| 71      |  | 71        |  | 71        |  | 71        |  | 71        |  |
| 72      |  | 72        |  | 72        |  | 72        |  | 72        |  |
| 73      |  | 73        |  | 73        |  | 73        |  | 73        |  |
| 74      |  | 74        |  | 74        |  | 74        |  | 74        |  |
| 75      |  | 75        |  | 75        |  | 75        |  | 75        |  |
| 76      |  | 76        |  | 76        |  | 76        |  | 76        |  |
| 77      |  | 77        |  | 77        |  | 77        |  | 77        |  |
| 78      |  | 78        |  | 78        |  | 78        |  | 78        |  |
| 79      |  | 79        |  | 79        |  | 79        |  | 79        |  |
| 80      |  | 80        |  | 80        |  | 80        |  | 80        |  |
| 81      |  | 81        |  | 81        |  | 81        |  | 81        |  |
| 82      |  | 82        |  | 82        |  | 82        |  | 82        |  |
| 83      |  | 83        |  | 83        |  | 83        |  | 83        |  |
| 84      |  | 84        |  | 84        |  | 84        |  | 84        |  |
| 85      |  | 85        |  | 85        |  | 85        |  | 85        |  |
| 86      |  | 86        |  | 86        |  | 86        |  | 86        |  |
| 87      |  | 87        |  | 87        |  | 87        |  | 87        |  |
| 88      |  | 88        |  | 88        |  | 88        |  | 88        |  |
| 89      |  | 89        |  | 89        |  | 89        |  | 89        |  |
| 90      |  | 90        |  | 90        |  | 90        |  | 90        |  |
| 91      |  | 91        |  | 91        |  | 91        |  | 91        |  |
| 92      |  | 92        |  | 92        |  | 92        |  | 92        |  |
| 93      |  | 93        |  | 93        |  | 93        |  | 93        |  |
| 94      |  | 94        |  | 94        |  | 94        |  | 94        |  |
| 95      |  | 95        |  | 95        |  | 95        |  | 95        |  |
| 96      |  | 96        |  | 96        |  | 96        |  | 96        |  |
| 97      |  | 97        |  | 97        |  | 97        |  | 97        |  |
| 98      |  | 98        |  | 98        |  | 98        |  | 98        |  |
| 99      |  | 99        |  | 99        |  | 99        |  | 99        |  |
| 100     |  | 100       |  | 100       |  | 100       |  | 100       |  |

ИСТОРИЯ ИЗМЕНЕНИЙ

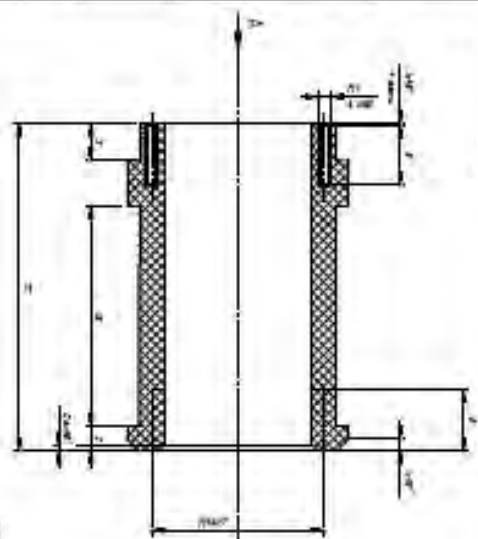
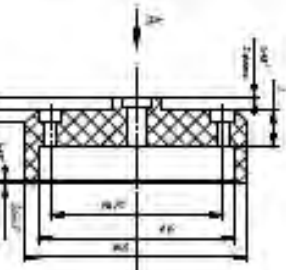


Рис. 2



- 1 - корпус; 2 - обод; 3 - обод; 4 - обод; 5 - обод; 6 - обод; 7 - обод; 8 - обод; 9 - обод; 10 - обод; 11 - обод; 12 - обод.

|         |  |           |  |           |  |           |  |           |  |
|---------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|
| ИЗДАНИЕ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  | ИЗМЕНЕНИЯ |  |
| 1       |  | 1         |  | 1         |  | 1         |  | 1         |  |
| 2       |  | 2         |  | 2         |  | 2         |  | 2         |  |
| 3       |  | 3         |  | 3         |  | 3         |  | 3         |  |
| 4       |  | 4         |  | 4         |  | 4         |  | 4         |  |
| 5       |  | 5         |  | 5         |  | 5         |  | 5         |  |
| 6       |  | 6         |  | 6         |  | 6         |  | 6         |  |
| 7       |  | 7         |  | 7         |  | 7         |  | 7         |  |
| 8       |  | 8         |  | 8         |  | 8         |  | 8         |  |
| 9       |  | 9         |  | 9         |  | 9         |  | 9         |  |
| 10      |  | 10        |  | 10        |  | 10        |  | 10        |  |
| 11      |  | 11        |  | 11        |  | 11        |  | 11        |  |
| 12      |  | 12        |  | 12        |  | 12        |  | 12        |  |
| 13      |  | 13        |  | 13        |  | 13        |  | 13        |  |
| 14      |  | 14        |  | 14        |  | 14        |  | 14        |  |
| 15      |  | 15        |  | 15        |  | 15        |  | 15        |  |
| 16      |  | 16        |  | 16        |  | 16        |  | 16        |  |
| 17      |  | 17        |  | 17        |  | 17        |  | 17        |  |
| 18      |  | 18        |  | 18        |  | 18        |  | 18        |  |
| 19      |  | 19        |  | 19        |  | 19        |  | 19        |  |
| 20      |  | 20        |  | 20        |  | 20        |  | 20        |  |
| 21      |  | 21        |  | 21        |  | 21        |  | 21        |  |
| 22      |  | 22        |  | 22        |  | 22        |  | 22        |  |
| 23      |  | 23        |  | 23        |  | 23        |  | 23        |  |
| 24      |  | 24        |  | 24        |  | 24        |  | 24        |  |
| 25      |  | 25        |  | 25        |  | 25        |  | 25        |  |
| 26      |  | 26        |  | 26        |  | 26        |  | 26        |  |
| 27      |  | 27        |  | 27        |  | 27        |  | 27        |  |
| 28      |  | 28        |  | 28        |  | 28        |  | 28        |  |
| 29      |  | 29        |  | 29        |  | 29        |  | 29        |  |
| 30      |  | 30        |  | 30        |  | 30        |  | 30        |  |
| 31      |  | 31        |  | 31        |  | 31        |  | 31        |  |
| 32      |  | 32        |  | 32        |  | 32        |  | 32        |  |
| 33      |  | 33        |  | 33        |  | 33        |  | 33        |  |
| 34      |  | 34        |  | 34        |  | 34        |  | 34        |  |
| 35      |  | 35        |  | 35        |  | 35        |  | 35        |  |
| 36      |  | 36        |  | 36        |  | 36        |  | 36        |  |
| 37      |  | 37        |  | 37        |  | 37        |  | 37        |  |
| 38      |  | 38        |  | 38        |  | 38        |  | 38        |  |
| 39      |  | 39        |  | 39        |  | 39        |  | 39        |  |
| 40      |  | 40        |  | 40        |  | 40        |  | 40        |  |
| 41      |  | 41        |  | 41        |  | 41        |  | 41        |  |
| 42      |  | 42        |  | 42        |  | 42        |  | 42        |  |
| 43      |  | 43        |  | 43        |  | 43        |  | 43        |  |
| 44      |  | 44        |  | 44        |  | 44        |  | 44        |  |
| 45      |  | 45        |  | 45        |  | 45        |  | 45        |  |
| 46      |  | 46        |  | 46        |  | 46        |  | 46        |  |
| 47      |  | 47        |  | 47        |  | 47        |  | 47        |  |
| 48      |  | 48        |  | 48        |  | 48        |  | 48        |  |
| 49      |  | 49        |  | 49        |  | 49        |  | 49        |  |
| 50      |  | 50        |  | 50        |  | 50        |  | 50        |  |
| 51      |  | 51        |  | 51        |  | 51        |  | 51        |  |
| 52      |  | 52        |  | 52        |  | 52        |  | 52        |  |
| 53      |  | 53        |  | 53        |  | 53        |  | 53        |  |
| 54      |  | 54        |  | 54        |  | 54        |  | 54        |  |
| 55      |  | 55        |  | 55        |  | 55        |  | 55        |  |
| 56      |  | 56        |  | 56        |  | 56        |  | 56        |  |
| 57      |  | 57        |  | 57        |  | 57        |  | 57        |  |
| 58      |  | 58        |  | 58        |  | 58        |  | 58        |  |
| 59      |  | 59        |  | 59        |  | 59        |  | 59        |  |
| 60      |  | 60        |  | 60        |  | 60        |  | 60        |  |