

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

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

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

Виконав:

Студент IV курсу, групи ПК-61

Лемешенко Владислав Валерійович _____

Керівник:

Старший викладач, к.т.н.,

Лисенко Юлія Юріївна _____

Консультант з графічного розділу:

Старший викладач, к.т.н.,

Богдан Галина Анатоліївна _____

Рецензент:

Старший викладач, к.т.н.

Морозова М.М. _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

| № з/п | Формат | Позначення | Найменування | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|------------------------|--|------------------|----------|
| 1 | A4 | | Завдання на дипломний проєкт | 2 | |
| 2 | A4 | ДП ПК61.09.0000.000 ПЗ | Пояснювальна записка | 56 | |
| 3 | A1 | ДП ПК61.09.00.001 СК | Складальний кресленик. Ультразвуковий дефектоскоп | 1 | |
| 4 | A3 | ДП ПК61.09.00.102 СК | Корпус | 1 | |
| 5 | A4 | ДП ПК61.09.00.000 СК | Кришка | 1 | |
| | A2 | ДП ПК61.09.00.100 СК | П'єзоелектричний перетворювач | | |
| 7 | A1 | ДП ПК61.09.00.000 Е2 | Схема електрична принципова | 1 | |
| 8 | A3 | ДП ПК61.09.00.000 СС | Схема структурна | 1 | |
| 9 | A2 | ДП ПК61.09.00.000 ФС | Схема функціональна | 1 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | ДП ПК61 09.000.00 | | |
|-----------|---------------------|-------|------|---|--------|--|
| | ПІБ | Підп. | Дата | | | |
| Розробн. | Владислав ЛЕМЕШЕНКО | | | Лист | Листів | |
| Керівн. | Юлія ЛИСЕНКО | | | 1 | 1 | |
| Консульт. | | | | Відомість дипломного проєкту | | |
| Н/контр. | Олена ЛАШКО | | | | | |
| Зав.каф. | Анатолій ПРОТАСОВ | | | | | |
| | | | | КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-61 | | |

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту на тему: Ультразвуковий
прилад для контролю зварних з'єднань**

Київ – 2020 року

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Лемешенко Владиславу Валерійовичу

1. Тема проєкту «Ультразвуковий прилад для контролю зварних з'єднань», керівник проєкту Лисенко Юлія Юріївна, к.т.н., затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1180-с

2. Термін подання студентом проєкту 12.06.2020

3. Вихідні дані до проєкту: Розробити ультразвуковий прилад для контролю зварних з'єднань.

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Розрахункова частина

3. Розробка функціональної та принципової схеми

4. Конструкторська частина

5. Вірогідність контролю

Висновок

Література

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

1)Складальний кресленик. Ультразвуковий прилад для контролю зварних з'єднань.

2)Корпус.

3)Кришка.

4)П'єзоелектричний перетворювач.

5)Схема електрична принципова.

6)Схема функціональна.

7)Схема структурна.

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Графічний | Галина БОГДАН | | |
| Електричний | Віктор БАЖЕНОВ | | |

7. Дата видачі завдання 11.03.2020

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Формулювання завдання проекту | 12.03.2020 | |
| 2 | Проведення аналітичного огляду | 18.04.2020 | |
| 3 | Розрахунок компонентів | 15.05.2020 | |
| 4 | Оформлення пояснювальної записки | 30.05.2020 | |
| 5 | Розробка креслеників | 03.06.2020 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

Владислав ЛЕМЕШЕНКО

Керівник

Юлія ЛИСЕНКО

АНОТАЦІЯ

Якість зварних з'єднань та їх стан протягом терміну експлуатації є важливими питаннями безпеки та надійності в машинобудуванні, транспорті та промисловості загалом. Метою даного дипломного проєкту є аналіз існуючих приладів контролю зварних з'єднань та розробка сучасного ультразвукового приладу, його структурної та функціональної схем.

У проєкті представлено огляд існуючих методів вирішення поставленої задачі, обрано і обґрунтовано тип перетворювача, проведено його розрахунок, розроблено структурну та функціональну схеми, описано конструкцію перетворювача та методику опрацювання інформативного сигналу, яка покладена в основу електричної принципової схеми. Крім того, розроблено складальні креслення первинного перетворювача, та корпусу приладу, виконано деталювання: корпус, кришка. Загалом дипломний проєкт ґрунтується на сучасних розробках та вимогах до подібних приладів.

SUMMARY

The quality of welded joints and their condition during the service life are important issues of safety and reliability in mechanical engineering, transport, and industry in general. The purpose of this diploma thesis is to analyze the existing devices for inspection of welded joints and the development of a modern ultrasonic device, its structural and functional schemes.

An overview of existing methods for solving this task is presented in the thesis. The type of the probe is chosen and substantiated, its calculation is carried out, the structural and functional schemes are developed, the design of the probe and the method of information signal processing, which is the basis of the electrical scheme, is described. In addition, the assembly drawing of the primary probe and the design of the device are developed, and also detailing (housing, cover) is performed. In general, the diploma thesis is based on modern developments and requirements for such devices.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 10 |
| 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД | 11 |
| 1.1. Об'єкт контролю | 11 |
| 1.2. Головні типи зварних швів та види зварювальних з'єднань | 11 |
| 1.3. Типові дефекти зварювальних з'єднань | 13 |
| 1.4. Методи контролю зварних з'єднань | 15 |
| 1.5. Контроль зварних швів візуально-вимірювальним методом | 15 |
| 1.6. Контроль на герметичність | 15 |
| 1.7. Вихрострумний неруйнівний контроль | 16 |
| 1.8. Радіаційні методи контролю | 16 |
| 1.9. Капілярний метод контролю | 17 |
| 1.10. Ультразвуковий метод неруйнівного контролю | 17 |
| 1.10.1 Контроль луно-імпульсним методом..... | 17 |
| 1.10.2 Дифракційно-часовий контроль (TOFD)..... | 19 |
| 1.11. Сучасні прилади ультразвукових дефектоскопів | 22 |
| 1.11.1 Цифровий ультразвуковий дефектоскоп SIUI CTS-9005..... | 22 |
| 1.11.2 Ультразвукові дефектоскопи серії EINSTEIN II..... | 22 |
| 1.11.3 Ультразвуковий дефектоскоп ЕРОСН 650..... | 24 |
| 1.12. Опис типового дефектоскопа..... | 25 |
| 1.13. Визначення діаграми направленості | 30 |
| 1.14. Визначення завдання | 31 |
| 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА | 32 |
| 2.1. Розрахунок згасання ультразвуку в ОК та вибір робочої частоти..... | 32 |
| 2.2. Розрахунок кута вводу..... | 34 |
| 2.3. Розрахунок коефіцієнту акустичного тракту | 37 |
| 2.4. Розрахунок електроакустичного тракту | 40 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

| | |
|--|----|
| 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ..... | 42 |
| 3.1 Опис функціональної схеми..... | 42 |
| 3.2. Підбір електронних компонентів | 43 |
| 3.2.1 Часове регулювання чутливості..... | 43 |
| 3.2.2 Цифро-аналоговий перетворювач..... | 46 |
| 3.2.3 Фільтр..... | 46 |
| 3.2.4 Генератор..... | 48 |
| 3.2.5 Аналогово-цифровий перетворювач..... | 48 |
| 3.2.6 Пам'ять (FIFO)..... | 49 |
| 3.2.7 Мікроконтролер STM32F103x8..... | 51 |
| 3.2.8 Вибір дисплею..... | 53 |
| 4. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА | 54 |
| 4.1 Особливості технології виготовлення похилих суміщених перетворювачів..... | 54 |
| 5. ВІРОГІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ | 56 |
| 5.1 Розрахунок вірогідності контролю..... | 56 |
| ВИСНОВКИ..... | 64 |
| ЛІТЕРАТУРА | 65 |

ВСТУП

Найбільш поширеним методом діагностики якості зварних з'єднань є ультразвуковий метод неруйнівного контролю. Слід зазначити, що для контролю зварних з'єднань у більшості випадків використовують саме ультразвукові хвилі для виявлення таких дефектів, як непровари, тріщини, газові пори, силікатні, вольфрамові та інші скупчення. У зварних з'єднаннях сталевих конструкцій ці дефекти призводять до того, що ультразвукова хвиля відбивається, збиваючи нормальний процес її розповсюдження. Якраз ці зміни у розповсюдженні коливань ультразвуку показують присутність внутрішніх дефектів шва. Під час контролю з'єднань зварювання користуються методами: луно-метод, тіньовий, дзеркально-тіньовий, TOFD.

Швидкість, незначний вплив на навколишнє середовище і на робочий персонал, висока точність виявлення внутрішніх та поверхневих дефектів, низька вартість є основними перевагами ультразвукового контролю зварних з'єднань перед іншими методами неруйнівного контролю. Також, ще однією з переваг на користь ультразвукового контролю є можливість його автоматизації.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Об'єкт контролю

Зварювання як технологічний процес створення нероз'ємних з'єднань матеріалів обов'язкове в новітньому приладобудуванні, у захисній індустрії, у будуванні, ще зварювання швів застосовується для виготовлення різних емностей, де необхідна герметичність (бензобаки, труби, цистерни та ін).

Даний спосіб з'єднання металевих конструкцій дає ряд переваг: економія металу, спрощення виготовлення та підвищення міцності конструкцій при зниженні їх ваги, зменшення термінів виконання робіт, скорочення їх вартості та інше.

Головною метою зварювання є з'єднання елементів та складальних деталей за допомогою пов'язування чи зміни під натиском задля створення міцних міжатомних або міжмолекулярних зв'язків.

Проте у даної методики є деякі недоліки, такі як: можливість зміни фізико-хімічних властивостей матеріалів у зоні зварювання, достатньо висока концентрація напруг у цій зоні, що зменшує надійність зварювального шва, а також ускладнює можливість перевірки з'єднання на якість.

1.2. Головні типи зварних швів та види зварювальних з'єднань

Одним із основних видів зварювальних з'єднань є стикове з'єднання двох деталей, що розташовані на одній поверхні (рис. 1.1 а, б). Під час будь-яких тестувань з'єднання визначається високою міцністю і майже необмеженою товщиною з'єднаних деталей [1].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

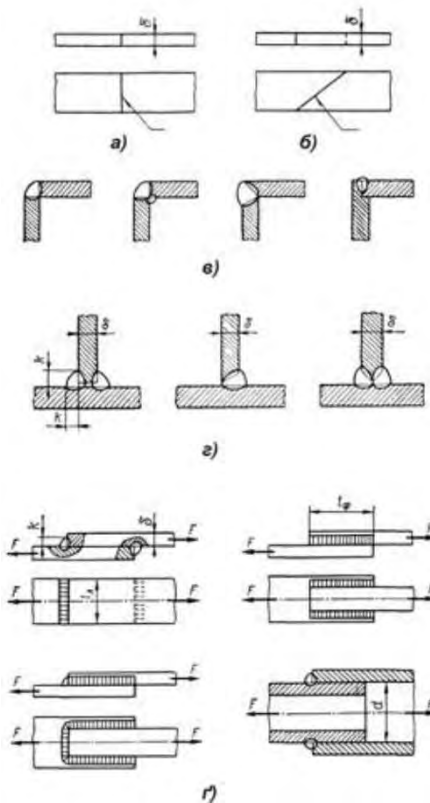


Рис. 1.1. Зварні з'єднання: а, б – стикові, в – кутові, г – таврові, д – напускні

Коли пара деталей приварена в точці прилягання їх країв і розташовуються під деяким кутом (частіше 90°), з'єднання називається кутовим. Його застосовують при виготовленні тари, захисних та інших виробів, які не піддаються великим випробуванням.

Коли до бічної поверхні одного елемента пристрою зварений торцем другий елемент, то таке з'єднання називають тавровим (рис. 1.1 г).

У напускних з'єднаннях з'єднувані деталі знаходяться одна напроти іншої та не повністю перекривають друг друга (рис. 1.1 д).

Зварні шви можна поділити за певними ознаками: безперервні та переривчасті – за тривалістю; стельові, горизонтальні та вертикальні, нижні – за розміщенням у просторі (рис. 1.2, а); опуклі, ввігнуті та опуклі – за формою ззовні (рис. 1.2, б).

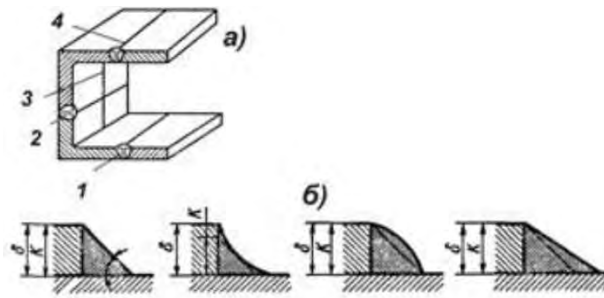


Рис. 1.2. Зварні шви: 1 – шов нижній, 2 – горизонтальний, 3 – вертикальний, 4 – стельовий

Також існують лобові шви, коли сила F і валик шва розташовуються ортогонально (рис 1.3, а), флангові, коли розміщення валика та сили F паралельні (рис. 1.3, б) також комбіновані (рис.1.3, в). Це різні варіації напускних з'єднань [2].

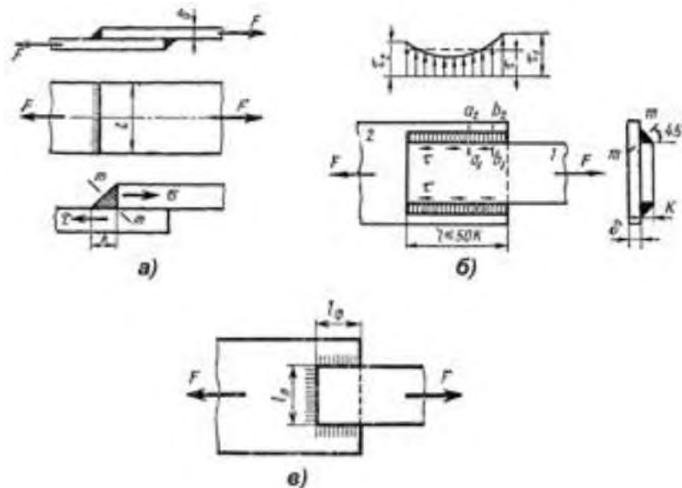


Рис. 1.3. Види напускних з'єднань

1.3. Типові дефекти зварювальних з'єднань

З деяких причин під час зварювання в місці термічної обробки іноді будуть з'являтися зовнішні та внутрішні дефекти, що негативно впливає на надійність виробу під час його експлуатації, тому що порушується герметичність швів. Найбільша увага в ультразвуковій дефектоскопії приділяється виявленню внутрішніх дефектів: тріщин, газових пор, недоплавлення шарів у багат шаровому зварюванні, шлак тощо (див. рис. 1.3).

Найпоширенішими дефектами при зварюванні є дефекти зварного шва, що зазвичай з'являються через недотримання режиму зварювального процесу

(пошкодження оснащення, недостатні навички робітника тощо). В цьому випадку переріз швів буде нерівномірним, можуть виникати пропали, підрізи, непровари, напливи. Через це під час дугового зварювання із-за малої сили зварювального струму можуть з'являтися непровари, через присутність їх у приладі, під час його використання, в таких зонах стрімко зростає концентрація напруг, яка катастрофічно зменшує розрахункову надійність виробу.

Коли використовують неякісні вихідні матеріали в процесі металургійних та теплових явищ при створенні та кристалізації зварної ванни, сирих електродів або електродів, які не відповідають встановленим вимогам, можуть виникати у зварному шві та в зоні, яка до нього прилягає, тріщини, пори, шлакові включення і негативні зміни фізико-хімічних властивостей металу.

Підрізи утворюються частіше через перевищення сили струму і достатньо велику потужність зварювального пальника.

Газові пори утворюються у зварних швах при використанні електродів зі зволуженим покриттям, в результаті цього тіло шва наповнюється водородом, азотом та іншими різними газами. Схожі дефекти можуть з'являтися також через присутність оксидів та інших забруднень в зоні утворення шва.

Одними з найнебезпечніших дефектів зварних з'єднань є тріщини, що зазвичай утворюються, коли зварювальні конструкції зроблені зі сталей, що мають високий вміст вуглецю чи легувальних домішок. Також тріщини можуть утворюватися, коли метал причиною насичений сіркою, фосфором та іншими шкідливими компонентами. Для їх усунення можуть робити ручну підварку, деколи, для запобігання їх розповсюдження безпосередньо перед підваркою роблять засвердлювання в місцях, де закінчуються тріщини. На рис. 1.4 показані найбільш поширені види дефектів зварювальних з'єднань.



Рис. 1.4. Види дефектів у зварних з'єднаннях: а – наплив, б - непровар, в – пори, г – підрізи, д - тріщини, е – включення

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

Зважаючи на велику ймовірність появи дефектів зварювання та шкідливі наслідки, через такі порушення в організаціях введений процес державного підтвердження виробів, що передбачає собою вчасний контроль якості, своєчасне знаходження та ліквідацію як причин їх появи, так і самих ушкоджень. Дана система включає в себе три етапи: попередній (проводиться контроль відповідності обладнання та матеріалів), поточний (контролюється процес зварювання), остаточний (виявляються ймовірні дефекти у зварних конструкціях) [3].

1.4. Методи контролю зварних з'єднань

Неруйнівний контроль зварних з'єднань включає візуальний контроль (зовнішній огляд об'єкту), контроль на герметичність, методи, які виявляють приховані дефекти (магнітний, радіаційний, ультразвуковий), методи, такі як капілярний, люмінесцентний, магнітний, для знаходження дефектів, які виходять на поверхню.

1.5. Контроль зварних швів візуально-вимірювальним методом

Досить розповсюдженим методом визначення якості складання заготовок є візуально-вимірювальний (також і для зварних з'єднань). Найчастіше його використовують перед будь-яким іншим контролем. Спеціаліст з візуального неруйнівного контролю здатен неозброєним оком виявити дефект з похибкою до 0,1 мм.

1.6. Контроль на герметичність

Даний вид контролю здебільшого використовується для ємностей і трубопроводів. Він здійснюється шляхом утворення надлишкового тиску рідини всередині ємностей або труб і таке дослідження має назву гідравлічне випробування. При цьому тиск частіше за все обирають такий, що є більшим за робочий в 1,5 - 2 рази, витримка триває приблизно 10 хвилин, потім

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 15 |

здійснюється огляд для виявлення течі.

1.7. Вихрострумний неруйнівний контроль

Даний метод контролю ґрунтується на використанні взаємодії електромагнітних полів вихрових струмів, наведеними в об'єкті контролю (ОК), з полем перетворювача.

Перевагами вихрострумного методу контролю є:

- висока швидкість аналізу;
- велика продуктивність методу;
- успішний контроль на поверхнях, що мають досить велику шорсткістю;
- достатньо обмежений доступ до певної поверхні контролю не є значною перешкодою;
- деталі складної конструкції можуть бути успішно перевірені.

Серед недоліків можна відзначити:

- використання спеціалізованої техніки;
- необхідність фахівців з відповідною кваліфікацією.

1.8. Радіаційні методи контролю

У дефектоскопії також застосовують радіаційне випромінювання, що направлено на ОК (рис. 1.5). За фіксацією інтенсивності випромінювання, яке пройшло через ОК, роблять висновки (див. рис. 1.5).

Ми можемо отримати достатньо об'єктивний документ, який характеризує якість ОК, що є однією із переваг даного методу. При можливості виявляти внутрішні дефекти, метод має такі недоліки як необхідність високотехнологічного устаткування, спеціальної підготовки персоналу та негативний вплив на навколишнє середовище [5].

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 16 |

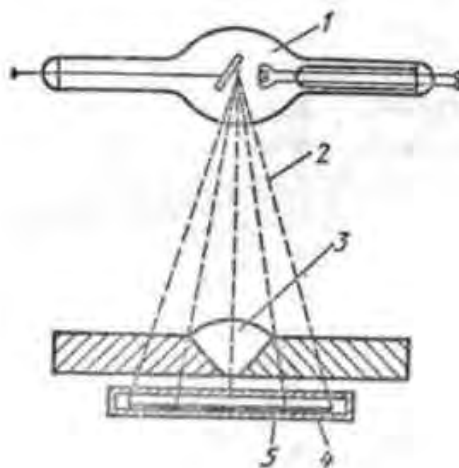


Рис. 1.5. Рентгенівське просвічування зварного шва: 1 - рентгенівська трубка, 2 - рентгенівське випромінювання, 3 - зварний шов, 4 - касета, 5 – фотоплівка

1.9. Капілярний метод контролю

Поверхневі дефекти зварних з'єднань можна виявляти за допомогою капілярних методів контролю. Отже, можуть бути виявлені мікротріщини і тріщини, що з'являються на поверхні об'єкту контролю, малі поверхневі пори і вузькі непровари.

Цей метод називають капілярним тому, що він дає можливість знаходити дефекти, які знаходяться на поверхні – капіляри. Основною перевагою капілярного методу є можливість виявляти як наскрізні, так і поверхневі дефекти і в результаті отримати досить детальну інформацію про їх форму, місцезнаходження, протяжності і орієнтації.

1.10. Ультразвуковий метод неруйнівного контролю

1.10.1 Контроль луно-імпульсним методом

Майже у всіх технічних галузях використовують ультразвукову діагностику зварних конструкцій. Порівняно не нова (ультразвуковий контроль вперше було використано у 1930 році), проте популярна і ефективна методика контролю без руйнування цілісності об'єкта, що досліджується. Ультразвукова дефектоскопія, яка має вищу точність, ніж інші види контролю, може виявляти повітряні порожнини, хімічні неоднорідності складу (шлакові включення),

виявляти неметалічні включення у зварних з'єднаннях. Це є досить важливо, тому що навіть досить малі дефекти зварних швів можуть вплинути на втрату міцності та герметичності з'єднань. Грубі дефекти в будь-якому випадку призводять до руйнування чи втрати можливості використання всієї конструкції [6].

Ультразвукова хвиля не сприймається людським вухом, проте успішно використовується для багатьох діагностичних досліджень в тих сферах, де досить важливою є вимога неприпустимості пошкодження об'єкта, що досліджується під час перевірки. Методи УЗД засновані на проникненні і відбитті ультразвукових хвиль, а це дає змогу проводити неруйнівний контроль якості, а також зварних швів із визначенням розміру, геометричних параметрів та зони розташування певних дефектів.

Якість проведення ультразвукового контролю залежить переважно від чутливості приладів, налаштування і калібрування дефектоскопа, вибору найбільш доцільного методу здійснення діагностики, від уваги та досвіду фахівця та тих чи інших факторів. Неможливо провести контроль якості швів на придатність і допуск об'єкта до експлуатації без визначення якості всіх видів з'єднань і усунення будь-якого дефекту.

Завдяки проведенню ультразвукового контролю можливо виявити такі дефекти: тріщини в навколошовній зоні, пори, непровари шва, розшарування наплавленого металу, несплавлення шва, дефекти певного характеру, провисання металу в нижній зоні зварного шва, зони, що уражені корозією, ділянки, які мають невідповідність хімічного складу, ділянки зі спотворенням геометричного розміру. Щоб провести контроль необхідно розмістити датчики на об'єкті контролю як представлено на рис. 1.6.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | <i>18</i> |

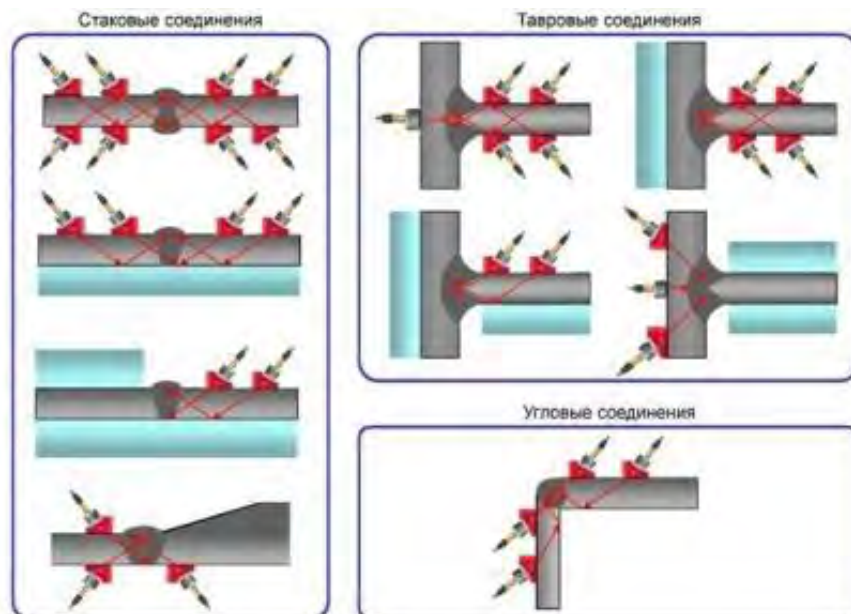


Рис.1.6. Схеми контролю зварних з'єднань

1.10.2 Дифракційно-часовий контроль (ТОFD)

Не беручи до уваги широке застосування дифракційно-часового методу контролю для вирішення багатьох різних завдань, до його головної переваги можна віднести достатньо швидкий контроль поздовжніх та кільцевих зварних швів (перпендикулярне сканування TOFD). Цей метод був розроблений в 1970 році, і відтоді його використовують все частіше. У більшості випадків метод використовують в поєднанні з записуючим пристроєм, проте є можливість сканувати TOFD вручну. Для контролю кореня і верхньої частини зварного шва TOFD застосовується разом із фазованими ґратками або технологією імпульс-відлуння. Метод TOFD можна використовувати окремо, але також поєднувати з іншими УЗК методами (див. рис. 1.7).

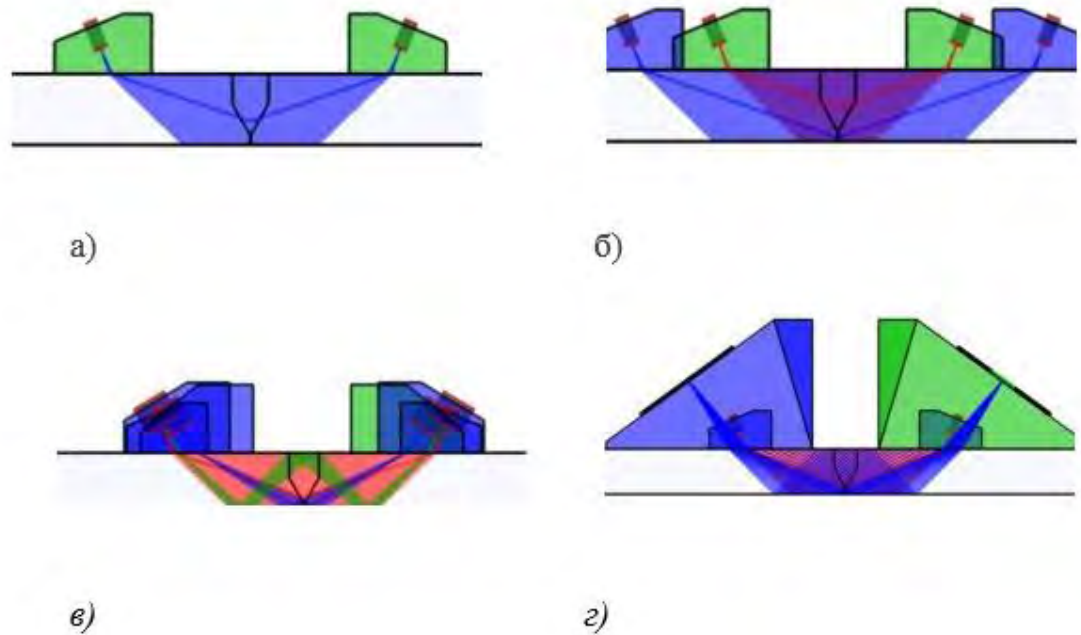


Рис. 1.7. Поєднання метода TOFD з іншими ультразвуковими методами:
 а - стандартний TOFD (одна група), б - мульти TOFD (підтримка декількох груп), в - TOFD з імпульс-відлуння / поверхневими хвилями, г - TOFD з фазованими ґратками

Основним способом виявлення дефектів методом TOFD є поздовжні хвилі. Для отримання і прийому цих хвиль необхідно розташувати два похилих ультразвукових датчика з обох сторін зварного шва. Одним датчиком ультразвуковий промінь надсилається в матеріал, відбивається від дефектів, як показано на рис. 1.8, і приймається іншим датчиком у вигляді розсіяного ультразвукового сигналу. Також TOFD за рахунок використання теорії розбіжності ультразвукового пучка в призмі і матеріалі, що досліджується, забезпечує значне охоплення сканування одним променем. Зіткнувшись з дефектом або тріщиною, дифрагована хвиля розповсюджується в усіх можливих напрямках. Точно встановити присутність та розмір дефектів можливо за рахунок вимірювання часу проходження і це не залежить від орієнтації тріщини відносно напрямку променя. Під час звичайного TOFD-контролю, на основі отриманих А-сканів виконується В-скан (рис. 1.9) зображення (бічна проекція) зварного шва. Аналіз здійснюється на блоці збору даних чи в спеціальній програмі, за рахунок калібрування курсорів для виміру довжин і висот дефектів.

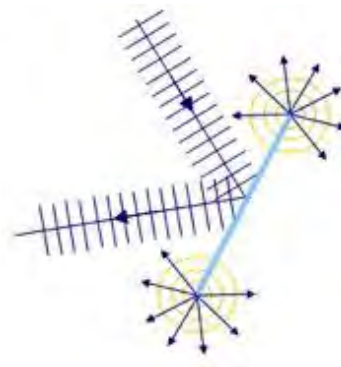


Рис. 1.8. Зображення відбитої і заломленої звукової хвилі

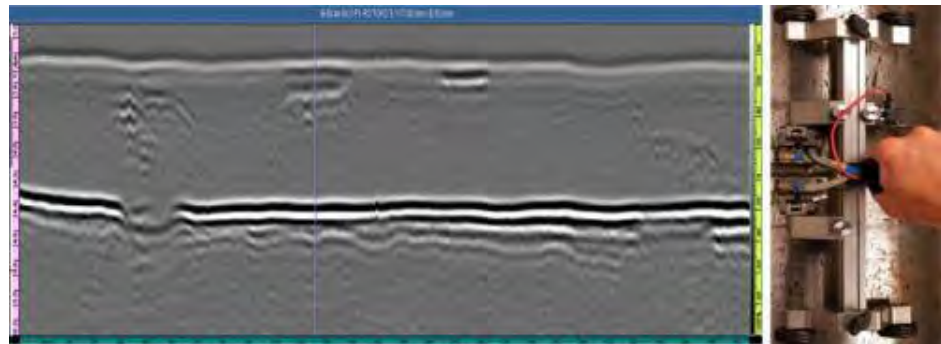


Рис. 1.9. Одиночна група TOFD, отримана ручним однорядковим сканером

TOFD має певні переваги, для здійснення контролю зварних з'єднань:

- використання часу, за який сигнал проходить від вершини тріщини, сприяє точному позиціонуванню та виміру дефекту;
- не важливими є кут скосу зварного шва і орієнтація дефекту, тому що метод дослідження заснований на дифракції;
- точне виявлення розмірів дефекту;
- широке охоплення сканування одним променем при здійсненні контролю і швидке налаштування;
- експрес-сканування з побудовою зображень і протоколами;
- є можливість досліджувати метали, що зазнали корозії;
- метод більш економний і потребує меншої кількості обладнання через класичну конструкцію (один генератор і приймач) і використання звичайних перетворювачів;
- високочутливий до дефектів зварного шва всіх типів [7].

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | <i>21</i> |

1.11. Сучасні прилади ультразвукових дефектоскопів

1.11.1 Цифровий ультразвуковий дефектоскоп SIUI CTS-9005

Одним з широкоживаних на сьогодні є універсальний ультразвуковий дефектоскоп SIUI CTS-9005, представлений на рис. 1.10. Популярність дефектоскоп здобув завдяки широкому функціоналу, компактним розмірам, малим габаритам та низькій вазі. Проте найголовнішою перевагою для користувачів є зручність у користуванні та низька енергозатратність. Даний дефектоскоп має захист від впливу вологи та пилу, та належить до класу IP65.



Рис. 1.10. Дефектоскоп SIUI CTS-9005

Компактний дефектоскоп SIUI CTS-9005 разом з акумулятором має вагу близько 1.2 кг, що в порівнянні з аналогами дуже суттєва позитивна відмінність.

Для зручності користувачів (операторів та дефектоскопістів) даний прилад оснащено мембранними клавішами. Такі клавіші зарекомендували себе як дуже надійні та зручні для роботи в складних умовах, наприклад, при роботі однією рукою [8].

1.11.2 Ультразвукові дефектоскопи серії EINSTEIN II

Іншим цікавим дефектоскопом є EINSTEIN II, який представлено на рис. 1.11. До основний характеристик приладу відносять наступні:

- Електронний блок має вагу близько 2,3 кг та габарити.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

- Прилад оснащено мікросхемою пам'яті, що дозволяє користувачу зберігати 200 200 А-скан-зображень з необхідними налаштуваннями. Крім того, є можливість заносити в пам'ять 50 різних налаштувань роботи приладу для різних умов та об'єктів контролю.
- Легкість в роботі з приладом забезпечується можливістю використання подвійного стробування та автоматичній сигналізації наявності дефекта.
- Прилад оснащено функцією побудови DAC-кривих, що надають можливість аналізувати зміну амплітуди ехо-сигналів, відбитих від дефектів однакового розміру та розміщених на однакових відстанях від перетворювача.
- Акумулятор дефектоскопа забезпечує 8 годин роботи приладу.



Рис. 1.11. Дефектоскоп серії EINSTEIN II

До основних характеристик приладу відносять наступні:

- у випадку сканування сталюого об'єкта, товщина обмежена значеннями 10 мм – 5 м, при цьому роздільна здатність: 1 – 10 мм;
- діапазон швидкості ультразвуку: 1000 – 9999 м / с за умови кроку сканування в межах 1 – 10 м / с;
- можливість підсилення сигналу 100 дБ з кроком 0,5; 1; 2; 6; 12 або 20 дБ;
- діапазон робочих частот: 0,5 – 10 МГц;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

- об'єм пам'яті приладу для А-сканів: 200 зображень з можливістю подальшої передачі до ПК, виведення результатів через принтер за допомогою інтерфейсу RS-232;
- налаштування роботи приладу для різних ОК можуть бути збережені в пам'яті у кількості 50;
- Частота оновлення: 50 Гц [9].

1.11.3 Ультразвуковий дефектоскоп ЕРОСН 650

Основними характеристиками приладу ЕРОСН 650 (рис.1.12) є:

- режим А-скан, повноекранний;
- покращено співвідношення рівня сигнал/шум шляхом використання 30 цифрових фільтрів;
- на панелі навігації є можливість налаштування параметрів роботи приладу за допомогою ручки регулятора;
- акумулятор дефектоскопа забезпечує більше 15 годин роботи приладу;
- присутні стандартні динамічні криві DAC (часове регулювання чутливості) та АРД-діаграми;
- присутня можливість збереження даних на карту пам'яті (не більше 2 ГБ) для подальшого опрацювання результатів.



Рис. 1.12. Ультразвуковий дефектоскоп ЕРОСН 650

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 24 |

Дефектоскоп ЕРОСН 650 має певні функції:

- генератор прямокутних імпульсів PerfectSquare з можливістю підстройки його параметрів;
- цифровий приймач забезпечує роботу в широкому динамічному діапазоні;
- точність результатів $\pm 0,25\%$ по амплітуді [10].

1.12. Опис типового дефектоскопа

Найбільш розповсюдженим серед методів ультразвукової дефектоскопії є луно-метод. За допомогою цього методу на даний час є можливість виявляти більш ніж 90 відсотків дефектів у залізничних рейках. Проаналізуємо певні моменти роботи із дефектоскопом.

Часовий інтервал між відбитим луно-сигналом та зондуючим імпульсом, в умовах похилого введення ультразвукової хвилі, може бути розрахованим з використанням наступних формул (рис. 1.13):

$$t = 2r/c_t = 2h/c_t \cos\alpha \quad (1.1)$$

де r – відстань від точки введення ультразвукових хвиль до дефекту;

c_t – швидкість поперечних ультразвукових коливань в ОК;

α – кут введення ультразвукових коливань;

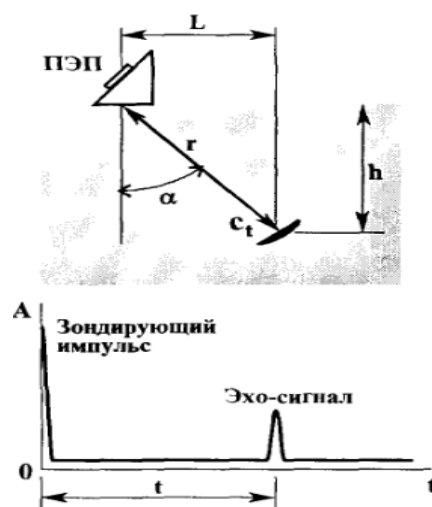


Рис. 1.13. Введення УЗ коливань за допомогою похилих ПЕП

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

За умови відомих t – час розповсюдження ультразвукових хвиль до дефекту і назад, та c_t – швидкість ультразвукових коливань в ОК, можна легко встановити глибину, на якій залягає дефект:

$$h = c_t t / 2 \quad (1.2)$$

при використанні похилого перетворювача для пошуку дефекту (1.3):

$$h = (c_t t \cos \alpha) / 2 \quad (1.3)$$

Також нескладно виконати розрахунки, коли нам відомо значення параметру L – відстані між точкою введення ультразвуку та проекцією дефекту на поверхню сканування (див. формулу 1.4) (рис. 1.13):

$$L = (c_t t \sin \alpha) / 2 \quad (1.4)$$

Відомо, що у наведених вище випадках, параметр t – є часовим інтервалом між початком випромінювання зондуючого ультразвукового імпульсу та моментом надходження луно-сигналу на п'єзопластину перетворювача (п'єзоперетворювача). На практиці п'єзопластина представлена окремим конструктивним елементом ПЕП і не має безпосереднього контакту з ОК.

У випадку, коли ультразвукова хвиля проходить через протектор товщини h_p , на це потрібен певний час t_p , а тому це необхідно обов'язково врахувати при визначенні глибини, на якій залягає дефект (1.5).

$$H = c(t - 2t_p) / 2 \quad (1.5)$$

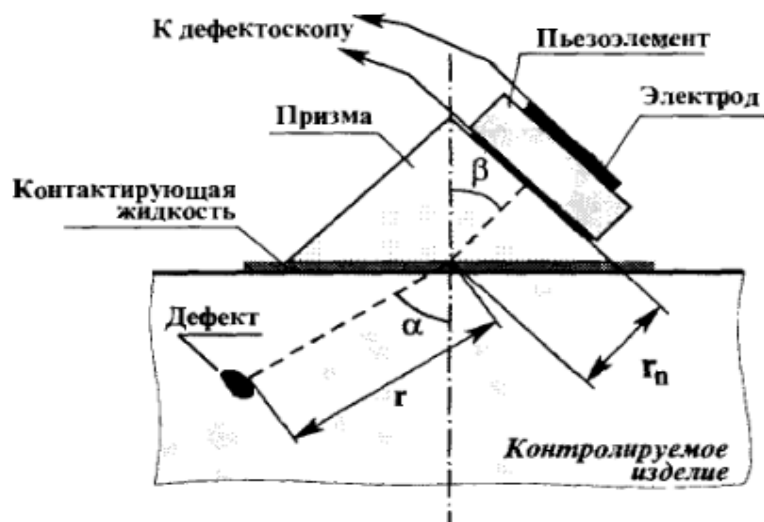


Рис. 1.14. Шлях ультразвукових коливань при похилому введенні

Прямі перетворювачі, які працюють у суміщеному режимі, зазвичай мають протектор товщиною 0,5 - 2,0 мм, отож час проходження цього шляху здебільшого не перевищує 1 мкс і це іноді можна не враховувати.

В той час, коли ультразвукові коливання вводяться похило, п'єзопластина повинна бути розміщена на спеціальну призму з органічного скла. Загалом шлях ультразвукового променя можна поділити на дві складові, перша з яких це шлях r у ОК, друга – шлях у призмі r_n , який визначається кутом призми β і часом проходження ультразвукового променя крізь цю призму $2t_n$, який складає близько 3-8 мкс (рис.1.14). З метою точного розрахунку глибини, на якій залягає дефект в умовах похилого введення ультразвукової хвилі (1.6), від загального вимірюного часу t потрібно відняти час $2t_n$, що витрачається на затримку при проходженні в призмі.

$$H = [c(t - 2t_n) \cos \alpha] / 2 \quad (1.6)$$

В дефектоскопах рейкового типу віднімання часу $2t_n$ затримки в призмі виконується програмним способом.

Виходячи з вищесказаного, інформативними параметрами в умовах використання луно-імпульсного методу дефектоскопії є пікове значення амплітуди U_c луно-сигналу та часове положення відбитого луно-імпульсу

відносно зондуючого імпульсу t_e .

Дані параметри вимірюють, розташовуючи перетворювач в торці ОК, тому що саме там спостерігається найбільша амплітуда луно-сигналу від дефекту, при цьому дефект зазвичай виявляється центральним променем з загальної діаграми спрямованості ПЕП.

Відображення вимірної амплітуди луно-сигналу демонструється на екрані приладу та подається для зручності в Вольтах (або при переналаштуванні в мВ). По суті кажучи, вимірюють не абсолютне значення амплітуди, але знаходять її співвідношення з амплітудою вібритого луно-імпульсу – як правило, отвір циліндричної форми при скануванні стандартного зразку. Аналіз здійснюється в децибелах (1.7):

$$N=20\lg[U_1/U_2] \quad (1.7)$$

За допомогою приведених співвідношень розраховують значення глибини h залягання дефекту в мм. Лінія розгортки, як правило, має бути відкалібрована при цьому в мм (що відповідає глибині залягання дефекту).

Ділянка залягання можливого дефекту прозвучується багатьма променями діаграми направленості перетворювача з поступовим його переміщенням. На екрані приладу в цей момент демонструються луно-імпульси від маленького (точкового) дефекту на певній відстані довжиною ΔL (рис.1.15).

При зміні підсилення дефектоскопу дещо змінюється і ΔL , це повсюється тим, що ширина пучка променів ПЕП залежить від того, на якому рівні вона вимірюється.

Зазвичай межі, визначені луно-імпульсним методом, дефекту певних ширини та довжини, не зовсім відповідають істинним, тому через такі умови кажуть про умовні розміри дефекту (рис.1.16).

В процесі визначення геометричних параметрів дефектів луно-імпульсним методом, необхідно вимірювати умовний розмір по довжині ΔL та ширині ΔX , а також висоту ΔH .

З метою отримання значення умовної висоти ΔH , визначають різницю

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 28 |

показників дефектоскопа, які отримують при незмінному положення ПЕП по відношенню до вимірювань ΔL (рис.1.16).

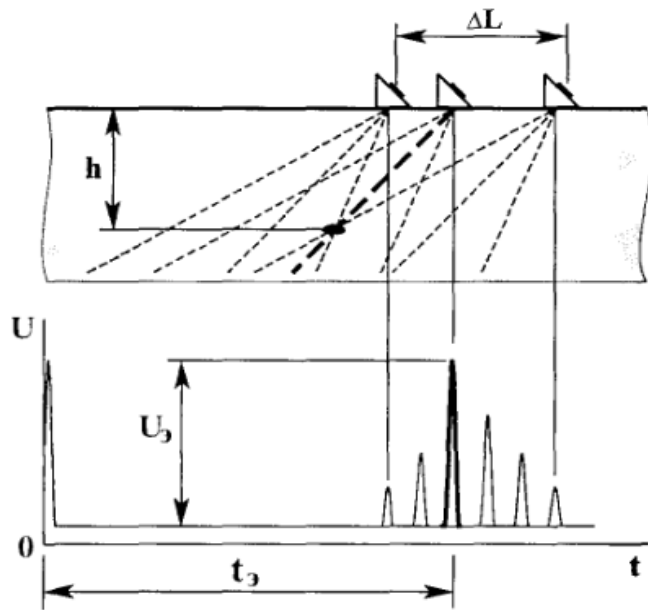


Рис. 1.15. Вимірювання характеристик луно-сигналів

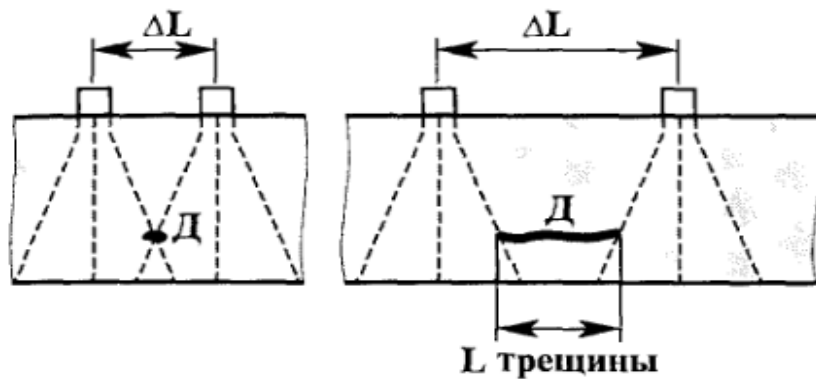


Рис. 1.16. Умовні розміри точкового і протяжного дефектів

В умовах, при яких основні параметри змінюються (ΔH , ΔL , ΔH), крайніми вважаються так положення ПЕП, при яких спрацьовує автоматичний сигналізатор дефектоскопу (через різке зниження амплітуди луно-сигналу). Такий сигналізатор встановлюється при контролі в залежності від параметрів ОК та у відповідності до нормативної документації.

1.13. Визначення діаграми направленості

Діаграма направленості слугує для характеристики акустичного поля в дальній зоні. Вона показує певну звуковий тиск в залежності від кута між акустичною віссю і напрямом променя. Значення P_a приймаємо за одиницю. Відстань від випромінювача ніяк не впливає на діаграму направленості. Для того, щоб знайти дефекти у площині падіння центрального променя діаграми направленості велике значення має направленість поля для похилих датчиків.

Діаграму направленості доцільно представити такими координатами:

- полярні координати $\Phi(\alpha)$ радіуса-вектора Φ (його довжина відповідає значенню амплітуди);
- кут α (видміряється від полярної осі OO' , яка співпадає з нормаллю на поверхні ОК і проходить через хвильовий пучок в точці його умовного центру O) (рис. 1.17).

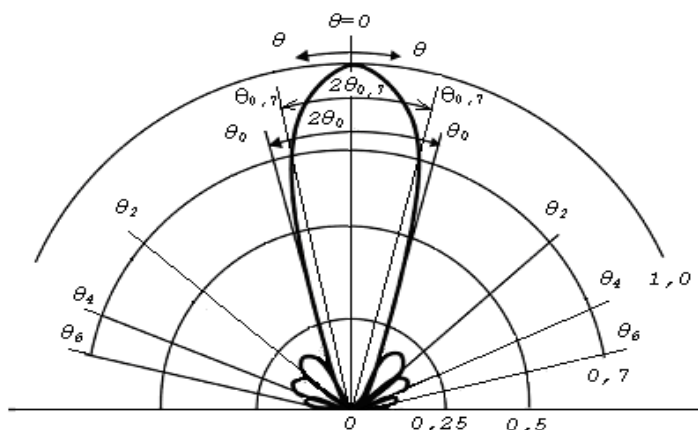


Рис. 1.17. Діаграма направленості в полярних координатах

Значний інтерес має центральна частина діаграми спрямованості. Амплітуда поля в її межах зменшується від одиниці до нуля. Ця частина діаграми має назву головна пелюстка. В її межах зосереджено приблизно 85% енергії поля випромінювача. Бокові пелюстки розміщуються з боку симетрично від головної пелюстки діаграми направленості. Їх рівень показує відношення поля на акустичній осі до максимальної величини поля за межами головної пелюстки.

Напрявленість похилого пучка погіршується за рахунок збільшення кута призми, зменшення діаметра випромінювача, частоти коливань, та підвищення показника заломлення хвилі на межі поділу середовищ (призми і ОК). Також збільшується вплив межі «призма – метал» на форму і ширину пелюстки діаграми спрямованості.

1.14. Визначення завдання

В процесі виконання бакалаврського дипломного проекту поставлено задачу розробити портативний прилад, який давав би можливість проводити контроль дефектів в зварних з'єднаннях. Дипломний проект повинен містити розрахунки акустичного та електроакустичного тракт, критичні кути, розрахунки датчика, розробку корпусу приладу, електричні принципові схеми, опис процесу виводу отриманого сигналу на дисплей для подальшого аналізу.

За умовою завдання, розроблений дефектоскоп повинен мати змогу виявляти дефекти розміром не менше 0.4 мм на глибині 20 мм. Будь-який сталевий ОК.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 31 |

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок згасання ультразвуку в ОК та вибір робочої частоти

Відомо, що процеси розсіювання та поглинання [4] звукової хвилі в матеріалі ОК проявляються як зменшення амплітуди коливання частинок. Зазначені процеси враховуються при розрахунках розповсюдження УЗ коливань в певному середовищі за допомогою такої характеристики, як коефіцієнт загасання, який у твердих тілах складається із коефіцієнтів розсіювання і поглинання.

З детальних досліджень розповсюдження УЗ коливань у твердих тілах видно, що чим вища частота ультразвуку, тим більше поглинання хвилі в ОК. Щодо згасання ультразвукової хвилі в місцях зварних швів в процесі дефектоскопії, то це відбувається переважно через розсіювання хвилі у полікристалічній структурі.

Через те, що структурні частинки в середині металу не мають чіткого розміщення, в моменти проходження УЗ хвиль між кристалами її швидкість може зменшуватись. Крім того, при цьому відбувається часткова трансформація хвиль, відбиття та заломлення на структурних частинках, що і є розсіюванням.

На величину коефіцієнта розсіювання в металах суттєвий вплив має співвідношення довжини хвилі ультразвуку λ і середньої величини структурних частинок $D_{\text{ср}}$. Якщо довжина хвилі суттєва менша величини частинок, то звук поглинається на кожному з них, при цьому згасання переважно відбувається через поглинання. За умови, коли довжина УЗ хвилі близька до величини структурних частинок, розсіювання стає дуже значним (таке явище називають дифузним розсіюванням).

З практичних досліджень відомо, що в дефектоскопії найоптимальнішими для використання є частоти в 1.8, – 2.5 та 5 МГц. З міркувань, що описані вище, оберемо частоту для розроблюваного приладу $f=5$ МГц. Розраховуємо довжину хвилі в сталі:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 32 |

$$\lambda_{cm} = \frac{C_{cm}}{f} = \frac{3230.0}{5.0 \cdot 10^6} = 0.8 \text{ (мм)}, \quad (2.1)$$

$C_{ок} = 3230$ м/с - швидкість розповсюдження поперечної хвилі в сталі.

Ультразвук такої частоти слабо згасає, завади прийняттю сигналів, розсіяних на кристалах, зазвичай не виникають.

Отже за отриманими даними ми можемо розрахувати розмір мінімального дефекту (2.2):

$$f_{p\text{мін}} = \frac{C_{ок}}{2d_{\text{мін}}} = \frac{C_{ок}}{\lambda_{ок}} \quad (2.2)$$

звідки

$$d_{\text{мін}} = \frac{\lambda_{ок}}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.4 \text{ (мм)}, \quad (2.3)$$

$d_{\text{мін}} = 0.4$ мм – розмір мінімального дефекту.

Довжина хвилі в призмі, при швидкості розповсюдження поздовжніх хвиль в оргсклі $C_1=2700$ м/с, дорівнює:

$$\lambda_{орг} = \frac{C_{орг}}{f} = \frac{2700.0}{5.0 \cdot 10^6} = 0.68 \text{ (мм)} \quad (2.4)$$

Перетворювач виготовлений із цирконат-титанат свинцю (ЦТС), тоді при швидкості звуку $C_{цтс} = 3300$ м/с, довжина хвилі в ЦТС рівна:

$$\lambda_{цтс} = \frac{C_{цтс}}{f} = \frac{3300.0}{5.0 \cdot 10^6} = 0.8 \text{ (мм)} \quad (2.5)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

2.2. Розрахунок кута вводу

Відомо, що ультразвуковий промінь, що спрямовано під кутом до границі поділу середовищ, при переході між ними супроводжується заломленням, відбиттям і трансформацією (розщепленням) хвилі [11]. Ступінь заломлення, відбиття та трансформації хвилі залежить від параметрів як УЗ променя (тобто ПЕП) та фізико-механічних параметрів ОК.

Згідно теорії, якщо з одного твердого середовища падає поздовжня УЗ хвиля C_{11} під кутом β на границю межування з іншим середовищем, то в середині другого середовища можуть виникнути чотири типи хвилі: дві відбиті (поздовжня C_{11} і поперечна C_{t2}) і дві заломлені (поздовжня C_{12} і поперечна C_{t2}).

Математично трансформацію хвиль на межі поділу двох середовищ описує закон Снеліуса (2.6):

$$\frac{\sin\beta}{C_{11}} = \frac{\sin\beta_t}{C_{t1}} = \frac{\sin\beta_1}{C_{11}} = \frac{\sin\alpha_{12}}{C_{12}} = \frac{\sin\alpha}{C_{t2}} \quad (2.6)$$

де C_{11} , C_{t1} - швидкість поширення поздовжньої і поперечної хвилі в першому середовищі;

β_1 , β_t - кути відбиття поздовжньої і поперечної хвилі;

C_{12} , C_{t2} - швидкість поширення поздовжньої і поперечної хвилі у другому середовищі;

α_{12} , α - кути заломлення поздовжньої і поперечної хвилі.

Звідси випливає, що $\beta_1 = \beta$.

По мірі зростання кута падіння β , починаючи з певного значення $\beta_{кр1}$ (перший критичний кут) заломлена поздовжня хвиля не проникає в інше середовище ($\alpha_{12}=90^\circ$).

Коли кут і далі збільшується, з певного моменту хвиля починає ковзати вздовж поверхні розділу ($\alpha_{12}=90^\circ$), і цей кут $\beta_{кр}$ падіння отримав назву другого

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 34 |

критичного кута; заломлена поперечна хвиля надалі не проникає у друге середовище.

Для першого і другого критичних кутів справедлива рівність:

$$\sin\beta_{\text{кр1}} = \frac{C_{11}}{C_{12}} \text{ та } \sin\beta_{\text{кр2}} = \frac{C_{11}}{C_{12}} \quad (2.7)$$

Поздовжня хвиля в оргсклі поширюється зі швидкістю $C_{11} = 2670$ м/с, і поперечна хвиля в сталі: $C_{12}=2670$ м/с.

Тоді перший і другий критичні кути для цього випадку будуть такі:

$$\beta_{\text{кр1}} = \arcsin\left(\frac{C_{11}}{C_{12}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670.0}{5900.0}\right) = 26.9^\circ, \quad (2.8)$$

$$\beta_{\text{кр2}} = \arcsin\left(\frac{C_{11}}{C_{12}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670.0}{3230.0}\right) = 55.5^\circ \quad (2.9)$$

Зазвичай п'єзоелектричний перетворювач у датчиках випромінює поздовжню хвилю і в похилому датчику поздовжня хвиля розповсюджується лише в рідкому середовищі, а в твердому за умови, що матеріал за акустичними властивостями подібний до матеріалу призми.

Тож кут падіння хвилі β в похилому датчику обирають такий, щоб в ОК розповсюджувалася тільки поперечна хвиля ($\beta_{\text{кр1}} < \beta < \beta_{\text{кр2}}$).

$$26.9^\circ < \beta < 55.5^\circ \quad (2.10)$$

Кут введення променя α_1 - це кут між нормаллю до поверхні ОК, що проходить через точку введення променя, і лінією, що з'єднує центр відбивача з круговою бісектрисою розсіювання і точку введення променя при положенні, яке забезпечує максимальну амплітуду луно-сигналу від відбивача.

Оскільки кут вводу має лежати в межах 27° - 55° , нехай:

$$\beta = 46.0^\circ \quad (2.11)$$

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 35 |

Виходячи з цього, можна розрахувати кути заломлення ультразвукової хвилі в досліджуваному об'єкті (2.12):

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{C_{\text{опр}}}{C_{\text{ст}}}, \quad (2.12)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin\beta \cdot 3230.0}{2700.0}\right) = 60.0^\circ \quad (2.13)$$

Виходячи з цього, ми можемо розрахувати довжину проходження хвилі в ОК та відстань, на яку ми поставимо наш п'єзоперетворювач для точного контролю зварного шва (рис. 2.1).

Скористаємося геометричними розрахунками. Поскільки нам відомий кут вводу та товщина ОК $d=20\text{мм}$, можемо розрахувати звуковий шлях (рис.2.1):

$$MA = \frac{d}{\sin\alpha} = \frac{20.0}{\sin 60^\circ} = 23.0(\text{мм}) \quad (2.14)$$

Припустимо, що промінь, який вводиться під кутом α , проходить через середину шва, який контролюється (рис.2.1). Тоді:

$$NM = \frac{d/2}{\sin 60^\circ} = \frac{10.0}{\sin 60^\circ} = 11.5 (\text{мм}) \quad (2.15)$$

Отже, поскільки у нашому випадку датчик являється і випромінювачем, і приймачем, то звуковий шлях одноразово відбитого променя до середини шва складає:

$$MK = 2(23.0+11.5) = 69.0 (\text{мм}) \quad (2.16)$$

Звуковий шлях одноразово відбитого променя до валика посилення складає:

$$MZ = 2(23.0+23.0) = 92.0 (\text{мм}) \quad (2.17)$$

Розраховуємо відстань від точки вводу ультразвуку в ОК до кореню шва (рис.2.1):

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$L = MA \cos \alpha = 23.0 \cdot \cos 60^\circ = 11.5 \text{ (мм)} \quad (2.18)$$

Знайдемо максимальну відстань розміщення п'єзоперетворювача (рис.2.1):

$$L_{\max} = 2L = 23.0 \text{ (мм)} \quad (2.19)$$

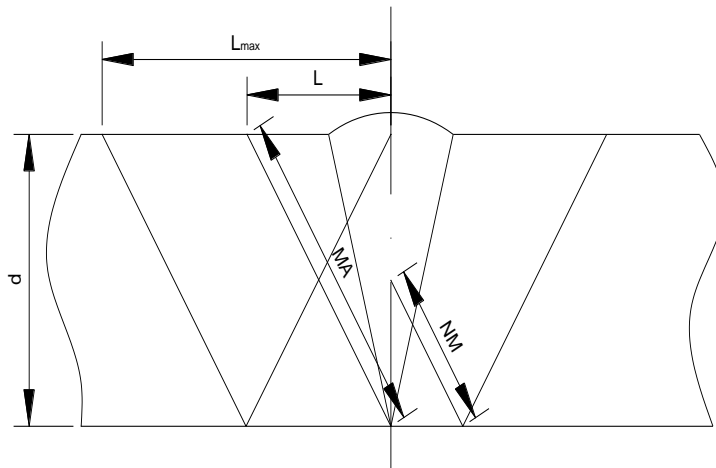


Рис. 2.1. Звуковий шлях променя при похилому введенні

2.3. Розрахунок коефіцієнту акустичного тракту

Акустичним трактом називають шлях УЗ хвилі, який вона проходить від випромінюючого перетворювача до приймаючого. В цей тракт також включається характеристика та параметри перетворювачів.

Акустичний тракт характеризується таким параметром, як коефіцієнт акустичного тракту, формула якого враховує променеву картину перетворювача, структурну схему шляху проходження УЗ променя та характеристику спрямованості випромінювання-прийому.

Розпочинати роботу слід з визначення розрахункової моделі - побудови еквівалентної схеми акустичного тракту (рис.2.2).

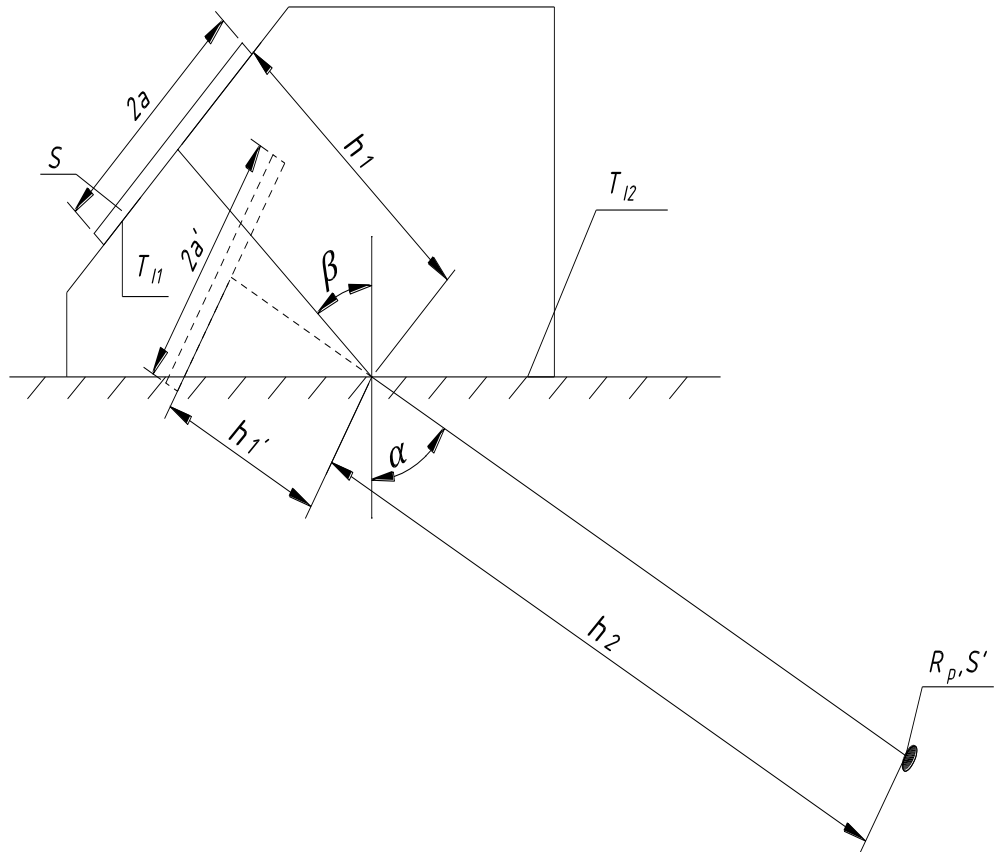


Рис. 2.2. Тракт при похилому введенні з трансформацією хвиль

Положення і розмір уявного випромінювача визначається за заломленням променя при похилому введенні.

Скажімо, відбивач розташований на акустичній осі, а його поверхня перпендикулярна до осі, тоді коефіцієнт акустичного тракту можна виразити наступним чином (2.20):

$$K_{AT} = \frac{S' S \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}}{\lambda_{ст}^2 (h_2 + h_1')^2} T_{I1} T_{I2} R_p e^{-2(h_1 \delta_{порг} + h_2 \delta_{рст})} \quad (2.20)$$

Площа мінімального дефекту:

$$S' = \pi \cdot (d_{\min}/2)^2 = \pi \cdot 0.2^2 = 0.125 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (2.21)$$

Площа ПЕП:

$$S = \pi \cdot a_{\text{пер}}^2 = \pi \cdot 4.0^2 = 50.26 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (2.22)$$

Відстань до кореня шва:

$$h_2 = \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{20.0}{\sin 60^\circ} = 23.0 \text{ (мм)} \quad (2.23)$$

Обираємо h_1 шлях проходження променю в призмі:

$$r_{\text{бл}} = \frac{a_{\text{пер}}^2}{\lambda_{\text{орг}}} = \frac{4.0^2}{0.68} = 23.5 \text{ (мм)} \quad (2.24)$$

Виходячи з умови $h_1 < r_{\text{бл}}$

приймаємо

$$h_1 = 10.0 \text{ (мм)}$$

$$h'_1 = h_1 n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = h_1 \frac{C_{l1} \cos \alpha}{C_{t2} \cos \beta} = 10.0 \frac{2700.0 \cos 60.0^\circ}{3230.0 \cos 46.379^\circ} = 6.058 \text{ (мм)} \quad (2.25)$$

Коефіцієнти проходження по інтенсивності на межі поділу двох середовищ визначаємо за формулою (2.26):

$$T_1 = \frac{4 \cdot z_2 \cdot z_1}{(z_1 + z_2)^2} \quad (2.26)$$

На межі поділу ЦТС-оргскло:

$$T_{11} = \frac{4.0 \cdot 3300.0 \cdot 7500.0 \cdot 2700.0 \cdot 1200.0}{(3300.0 \cdot 7500.0 + 2700.0 \cdot 1200.0)^2} = 0.4 \quad (2.27)$$

Значення T_{12} обираємо виходячи з графіка залежності коефіцієнта проходження при падінні поздовжньої хвилі з оргскла в сталь:

$$T_{12} = 0.15$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 39 |

Також з таблиць визначаємо коефіцієнт загасання на робочій частоті в оргсклі та в сталі:

На частоті 2.5МГц значення $\delta_{рст}=30.0$ Нп/м

Залежність коефіцієнта загасання в оргсклі лінійна, тоді для частоти 5МГц:

$$\delta_{рорг} = \frac{5 \cdot 30.0}{2.5} = 60.0 \text{ Нп/м} \quad (2.28)$$

Коефіцієнт загасання в сталі для значення 2.5 МГц $\delta_{рст}=5.0$ Нп/м

Залежність коефіцієнта загасання в сталі нелінійна, але в межах частот 7-8 МГц можемо вважати, що залежність умовно лінійна, тоді:

$$\delta_{рст} = \frac{5 \cdot 5.0}{2.5} = 10.0 \text{ Нп/м} \quad (2.29)$$

$R_p=1$ для повітря

$$K_{AT} = \frac{0.125 \cdot 50.26 \frac{\cos 60^\circ}{\cos 46^\circ}}{0.8^2 (23 + 6.058)^2} \cdot 0.4 \cdot 0.15 \cdot 1 \cdot e^{-2(10 \cdot 60 \cdot 0.001 + 23 \cdot 10 \cdot 0.001)} = 9.6 \cdot 10^{-5} \quad (2.30)$$

2.4. Розрахунок електроакустичного тракту

На відміну від акустичного тракту, електроакустичний тракт враховує характеристики частини електричної схеми, яка описує процеси електричної сторона перетворювача, по ній проходить електрометричне перетворення.

Напруга прийнятого перетворювачем луно-імпульсу може бути розрахована за наступною формулою:

$$U_{п} = U_{в} K_{AT} K_{ПП} U_{ш} \quad (2.31)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |

$U_{\text{п}}$ – прийнята напруга;

$U_{\text{в}}$ – напруга випромінювання;

$K_{\text{ПП}}$ – коефіцієнт подвійного перетворення $K_{\text{ПП}} = 0.15 \dots 0.3$ я приймаю рівним 0.15.

Вважаю співвідношення прийнятої напруги до напруги шуму рівною:

$$\frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{ш}}} = 20\text{дБ} \quad (2.32)$$

Напругу прийнятого шуму вважаю $U_{\text{ш}}=100\text{мкВ}$

тоді:

$$U_{\text{п}} = U_{\text{ш}} \cdot 20\text{дБ} = 100 \cdot 10^{-6} = 1000\text{мкВ} = 1\text{млВ} \quad (2.33)$$

Маючи ці дані, маємо можливість розрахувати напругу випромінювання:

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{п}}}{K_{\text{АТ}} K_{\text{ПП}} U_{\text{ш}}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{9.6 \cdot 10^{-5} \cdot 0.15} = 69.4\text{В} \quad (2.34)$$

приймаю $U_{\text{в}} = 100\text{В}$

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 41 |

3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1 Опис функціональної схеми

В початковий момент часу на генератор ударного збудження надходить сигнал-дозвіл від мікроконтролера. Після цього сигнал генератора потрапляє на п'єзо пластину, яка є основним елементом п'єзoeлектричного перетворювача ПЕП). Завдяки відомому зворотньому п'єзoeфекту, ПЕП генерує акустичні хвилі в ОК, при цьому коли ці хвилі повертаються (після відбиття від дефекту чи від нижньої межі ОК) на ПЕП, за рахунок прямого п'єзoeфекту, механічні коливання перетворюються в електричний сигнал. З метою захисту електричної схеми від сигналу високого рівня, що надходить на ПЕП з генератора, в схему часового регулювання чутливості (ЧРЧ) додано діодну схему захисту, яка налаштована на пропускня сигналу до 0.7 В (700 мВ). Прийнятий сигнал направляється до попереднього підсилювача (коефіцієнтом підсилення вибрано змінним), який забезпечує збільшення рівня сигналу в декілька разів - від 8-ми до 5000, що відповідає діапазону від 1-2 дБ до 70 дБ). Основна функція схеми ЧРЧ полягає в уникненні залежності амплітуди сигналі від часу або відстані В процесі проведення контролю схема ЧРЧ забезпечує вирівнювання значень сигналу (криву згасання амплітуди) та компенсує розходження пучка в дальній зоні. Схема ЧРЧ управляється через цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) з метою вирівнювання кривої, яка в подальшому надходить до блоку пам'яті (представлена схемою FIFO) з мікроконтролера.

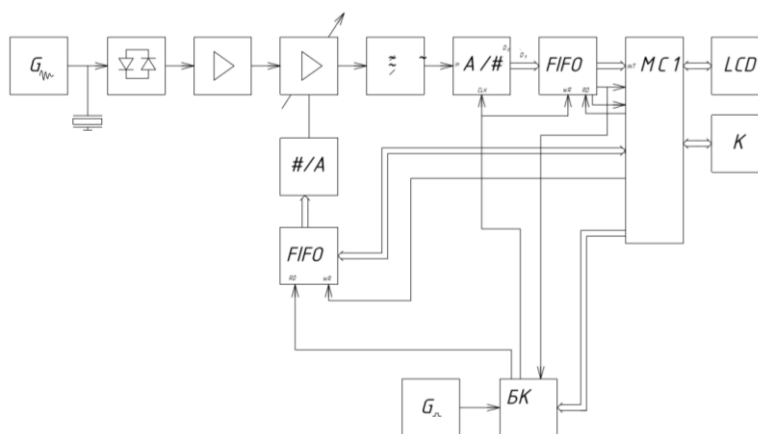


Рис. 3.1. Схема функціональна

Як правило, отриманий у такий спосіб сигнал містить шум. З метою відокремлення шуму від інформаційного сигналу, в запропонованій схемі використано смуговий фільтр, який забезпечить пропускання сигналу необхідної частоти. Отриманий сигнал поступає до блока АЦП, де аналоговий сигнал оцифровується, а потім передається до пам'яті FIFO для зберігання і подальшої обробки сигналу. Опрацювання та аналіз сигналу проводиться за спеціальним алгоритмом в мікроконтролері. Крім того, мікроконтролер забезпечує управління усією схемою та виводить отримані дані на монітор. Налаштування процесу опрацювання сигналу передбачено за допомогою кнопок.

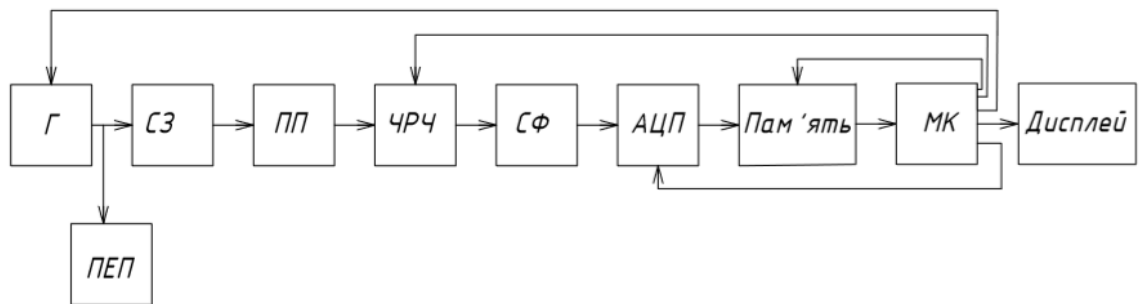


Рис. 3.2. Схема структурна

3.2. Підбір електронних компонентів

3.2.1 Часове регулювання чутливості

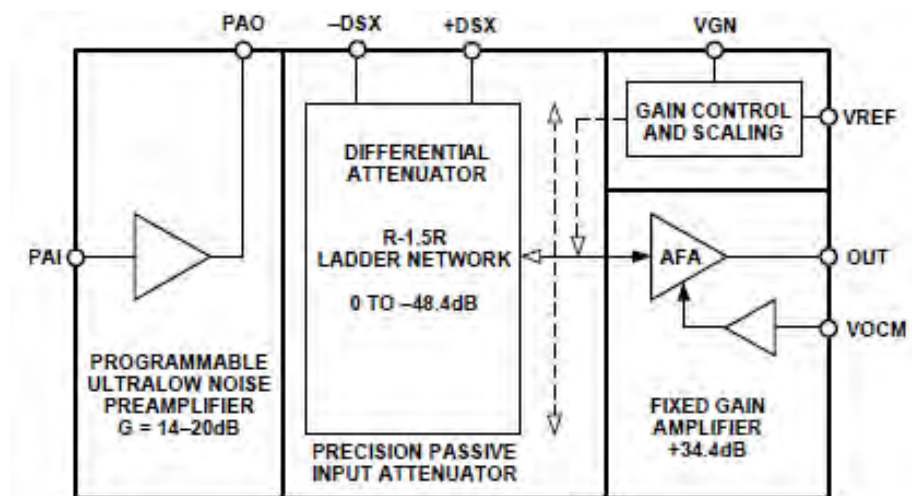


Рис. 3.3. Функціональна блок-діаграма AD604

В якості блока ЧРЧ використано спеціальну мікросхему, що дає можливість виконувати часове регулювання чутливості та позбавляє від впливу на результати часу або амплітуди. На рис. 3.3 приведено функціональну блок-схему. Мікросхема AD604 з низьким рівнем шуму, забезпечує точне, двоканальне з лінійним регулюванням підсилення. Обрана мікросхема оптимізована з метою використання в схемах часового регулювання чутливості спеціально в ультразвукових системах. Крім того, дана мікросхема підходить ще для ряду систем, які вимагають низького рівня шуму, широкої пропускнуої здатності змінного регулювання підсилення. Кожен канал AD604 має 300 кОм вхідного опору і можливість використання однополюсного регулювання підсилення для простоти використання. Користувальницький діапазон коефіцієнта посилення, збільшення масштабування (дБ/В) та постійного струму оптимізовані для використання всіх можливостей мікросхеми. На рис. 3.4 показано призначення виводів.

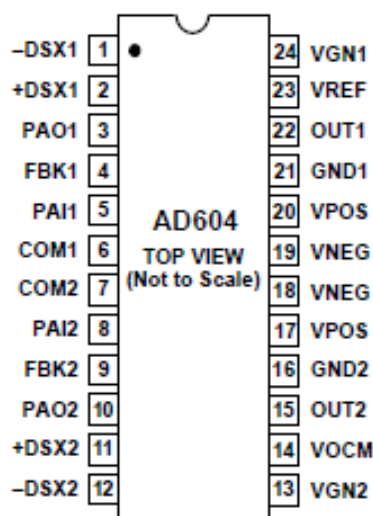


Рис. 3.4. Призначення виводів

Дуже точна лінійна відповідь від AD604 досягається за допомогою диференціального вхідного експоненційного підсилювача DSX-AMP архітектури. Кожен з DSX-AMP містить змінний аттенюатор від 0 дБ до 48,36дБ, та високу швидкість фіксованого підсилення. Затухання між точками 6,908 дБ та 48,36 дБ для мережі сходів.

Кожен незалежний канал AD604 забезпечує діапазон посилення від 48 дБ, який можна оптимізувати для встановлення попереднього підсилення з єдиним зовнішнім резистором в лінії зворотного зв'язку. Лінійна в дБ посилення відповіді від AD604 можна описати за формулою: $G(\text{дБ}) = (\text{Посилення Масштабування (дБ/В)} \times V_{GN} (V)) + (\text{Підсилення попереднього посилення (дБ)} - 9\text{дБ})$. Підсилювач збільшується від 5 до 10 (+14 дБ і +20 дБ) забезпечте загальний діапазон посилення на канал від 0 дБ до +48 дБ і +6 дБ до +54 дБ. Два канали AD604 може бути каскадним, щоб забезпечити більш високий рівень коефіцієнта посилення в обхід попередньо підсилювач 2-го каналу. Однак, в декількох каналах системи, що підкачують AD604 з іншими пристроями в AD60x VGA сімейства, які не містять попереднього підсилювача більш ефективне рішення. AD604 надає доступ до вихід попереднього підсилювача, що дозволяє здійснювати зовнішню фільтрацію між попередньо підсилювач і диференційний аттенюатор. Інтерфейс керування посиленням забезпечує вхідний опір приблизно 2 МВт та масштабні фактори від 20 дБ / В до 30 дБ / В для вхідної напруги VREF від 2,5 В до 1,67 В відповідно. Зверніть увагу, що фактори масштабу до 40 дБ / В досяжні з зменшеною точністю для ваг вище 30 дБ / В. Збільшення посилюється line-in-dB з регулюючою напругою від 0,4 В до 2,4 В. Масштаб 20 дБ / В Нижче і вище цей діапазон регулювання посилення, коефіцієнт посилення починає відхилятися від ідеального закону керування лінійним в-дБ. Область контролю посилення нижче 0,1 В не використовується для керування посиленням.

Коли напруга керування посиленням становить <50 мВ підсилювача канал відключений до 1,9 мА.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

3.2.2 Цифро-аналоговий перетворювач

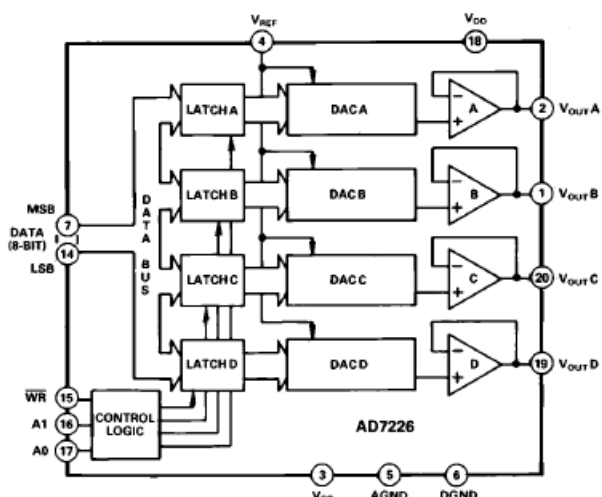


Рис. 3.5. Функціональна схема AD7226

В якості блока ЦАП використано мікросхему, що виконує перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал, як показано на рис. 3.5. В даній роботі обрано ЦАП серії AD7226, який містить чотири 8-розрядні цифрові-аналогові вихідні перетворювачі напруги, з буферними підсилювачами та інтерфейсом логіки на монолітному чіпі.

Для кожного з чотирьох D/A передбачені окремі фіксатори затиску перетворювача. Дані переносяться в один з цих каналів даних через загальний 8-бітний TTL/CMOS (5 В) сумісний вхідний порт. Контрольні входи A0 та A1 визначають, який ЦАП завантажений коли напруга на WR зникає. Контрольна логіка сумісна зі швидкістю більшості 8-розрядних мікропроцесорів.

Кожен D/A-конвертер включає вихідний буферний підсилювач, здатний видати до 5 мА вихідного струму.

Визначена продуктивність гарантована для вхідних опорних напруг від +2В до +12,5В з подвійним запасом. Мікросхема також призначена для використання при опорній напрузі +10 В [12].

3.2.3 Фільтр

Мікросхема фільтра AD797 – мало зашумлений (на рис. 3.6 можемо побачити характеристику спектральної щільності шуму), з низьким рівнем

спотворень. Підсилювач ідеально підходить для використання в якості попереднього підсилювача. Розташування виводів показано на рис. 3.5.

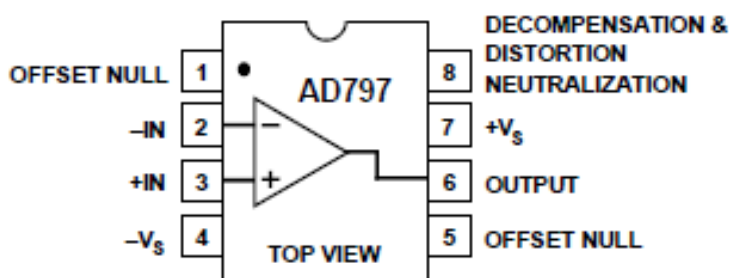


Рис. 3.5. Розташування виводів

Низький рівень шуму 0,9 нВ/Гц та низький загальний гармонічний спотворення – 120дБ на аудіочастоті AD797 дає широкий динамічний діапазон необхідний для підключення мікрофонів і змішувальних консолей.

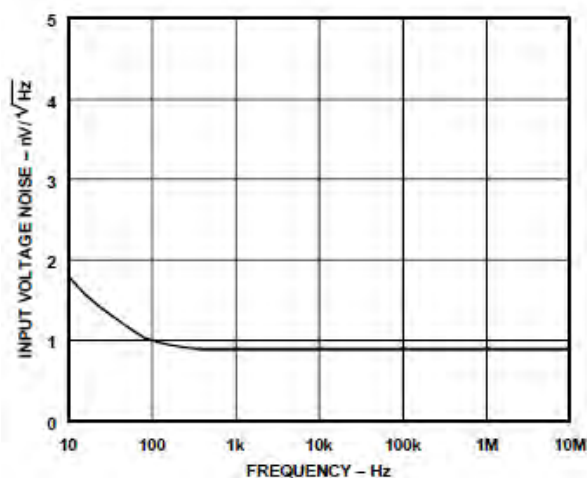


Рис. 3.6. Характеристика спектральної щільності шуму напруги

Крім того, відмінна швидкість накопичення AD797 - 20 В/мс і пропускна спроможність на 110 МГц забезпечує високу придатність для низьких частот ультразвукові програми. AD797 також корисний у програмах IR і Sonar Imaging де необхідний найширший динамічний діапазон. Низьке спотворення і 16-бітне врегулювання AD797 робить його ідеальним для буферизації входів на SD-АЦП або виходи високої роздільної здатності ЦАП, особливо коли вони використовуються у критичних програмах.

Ключові особливості такі як вихідний струм пластини 50 мА та вказана потужність. Діапазон напруги живлення від ± 5 до ± 15 В складають AD797 [12].

3.2.4 Генератор

З метою отримання високої надійності та частотної стабільності, невеликого розміру та низької вартості, було обрано генератор, який містить кварцеві осцилятори, підключення яких показано на рис. 3.7.

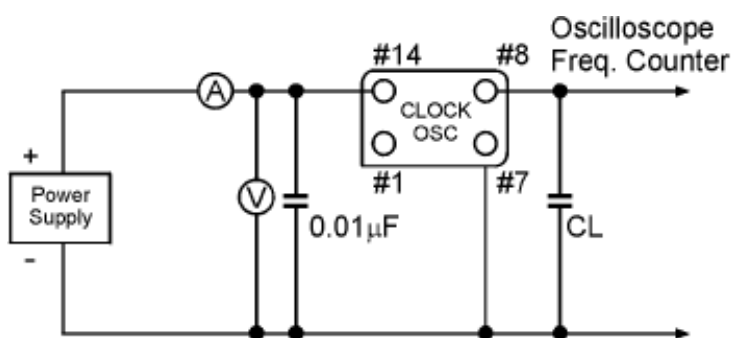


Рис. 3.7. Схема включення генератора

Схема частотного осцилятора складається з кристалічного резонатора та осциляційного ланцюга.

Температурний діапазон від 0 до $+70^\circ$. Вхідна напруга $+5$ В [13].

3.2.5 Аналогово-цифровий перетворювач

AD9216 - це подвійний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), 10 біт, 105 М вибірок в секунду. Функціональна схема показана на рис.3.8. Він оснащений подвійними високопродуктивними підсилювачами зразків та тримачів (SHA) та інтегрованим контролем напруги. AD9216 використовує багатоступеневу диференційну трубопровідну архітектуру з вихідною логікою корекції помилок, що забезпечує 10-бітну точність та гарантує відсутність кодів зникнення у повному діапазоні робочих температур. Широка смуга пропускання, диференціальна SHA дозволяє використовувати різні користувацькі діапазони введення та зсуви, включаючи одноразові програми. AD9216 підходить для різних задач, включаючи мультиплексні системи, які

перемикають рівні напруги на послідовних каналах і для відбору входів на частотах, що значно перевищують частоту Найквіста.

Подвійні одноразові входні годинники використовуються для контролю всіх внутрішніх циклів перетворення. Стабілізатор робочого циклу доступний на AD9216 і може компенсувати великі коливання робочого циклу годинника, що дозволяє перетворювачам підтримувати відмінну продуктивність. Дані цифрового виводу представлені у вигляді прямого двійкового коду або двох додаткових форматів.

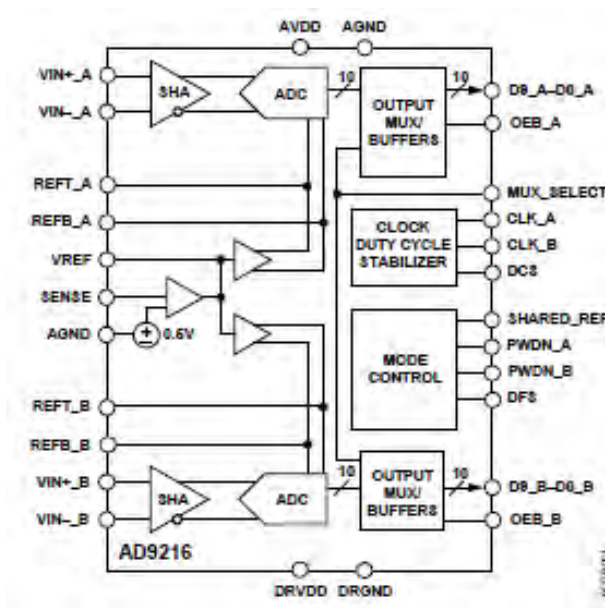


Рис. 3.8. Функціональна схема AD9216

Виготовлений за допомогою передового CMOS-процесу, AD9216 доступний у вільній від вільної пам'яті, 64-провідній LFCSP (9 × 9 мм) і вказаний у діапазоні промислових температур (від -40 ° C до + 85 ° C [12].

3.2.6 Пам'ять (FIFO)

В даному проекті було обрано мікросхему AL460, яка містить 128-Мбіт площі пам'яті і може бути налаштована як 8М x 16-біт. FIFO з максимальною робочою швидкістю 150 МГц. На рис. 3.9 показано розташування виводів AL460.

- Незалежні 16-бітні операції читання / запису (різні швидкості передачі даних вводу / виводу прийнятні) на максимальна швидкість 150 МГц;
- Високошвидкісний синхронний послідовний доступ;
- Управління вводом / виходом;
- Полярність вибирається;
- Живлення 2,5 В і 3,3 Вт;
- Стандартний 128-контактний LQFP з витримкою упаковку з міддю [14].

3.2.7 Мікроконтролер STM32F103x8

В якості мікроконтролера в даній роботі було обрано мікросхему STM32F103x8, яка показана на рис. 3.10. До особливостей даної мікросхеми відносять:

- Високопродуктивний, 32-розрядний мікроконтролер STM32F103x8;
- Сучасна архітектура RISC;
- Частота до 72 МГц.
- 131 Потужна інструкція - Найчастіше виконання цілодобового циклу;
- 32 x 8 робочих регістрів загального призначення;
- Повністю статична операція;
- До 16 пропускну здатності MIPS на 16 МГц;
- Мультиплікатор 2-циклів On-Chip;
- Незалежна пам'ять програми та даних;
- 128 Кбайт системного флеш-пам'яті;
- Витривалість: 10000 циклів запису / стирання;
- Системне програмування за допомогою програми завантаження в реальному часі;
- Операція читання-введення-запису;
- 1024 байти EEPROM;
- 20 Кбайт внутрішньої SRAM;
- Блокування програмування для програмного забезпечення;

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | <i>51</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

- Програмування Flash, EEPROM, запобіжників та блокування бітів через інтерфейс JTAG;

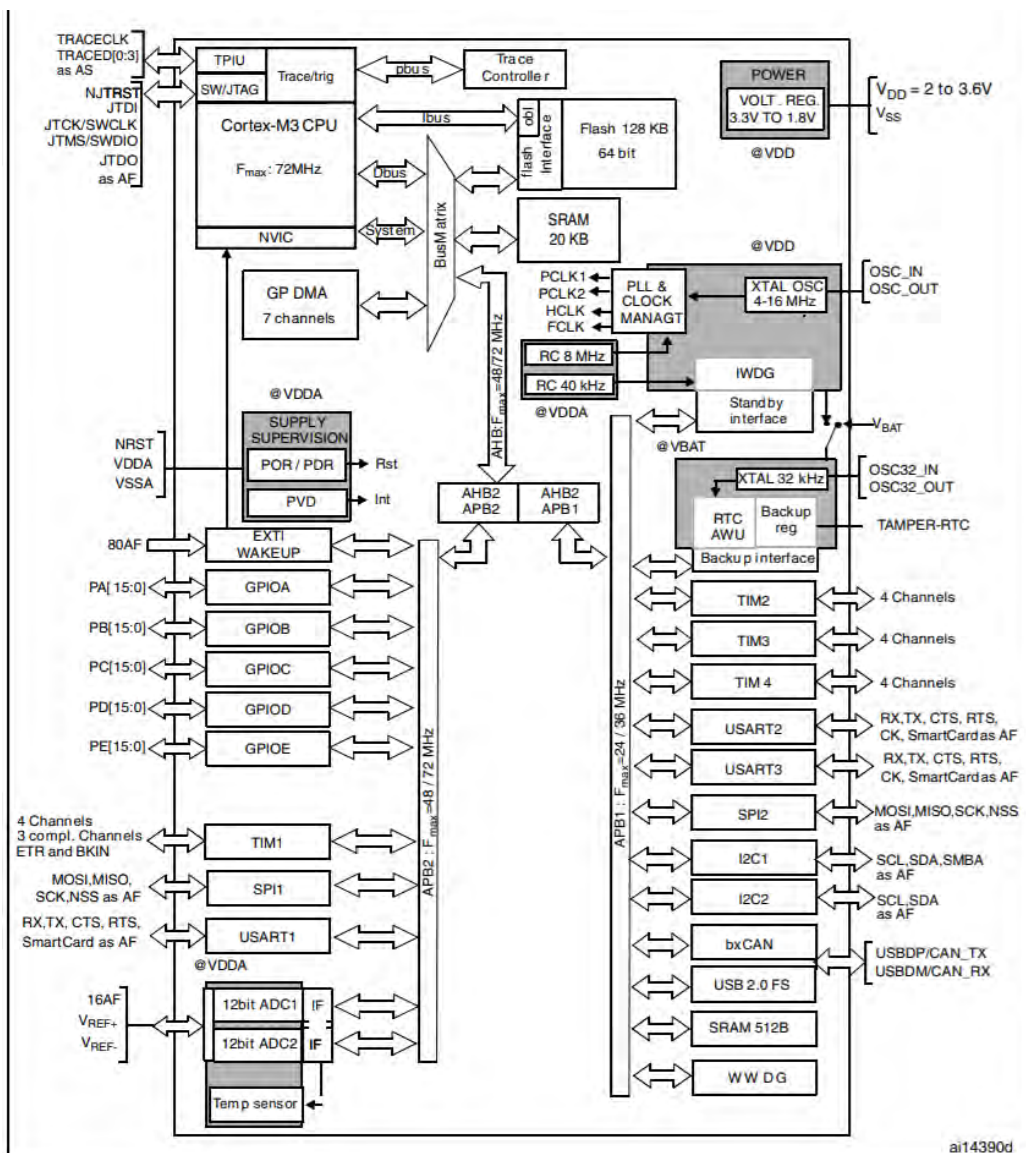


Рис. 3.10. Блок діаграма портів і протоколів мікропроцесора

Периферійні особливості

- Три 16-розрядних таймера/лічильники з окремими попереджувальними та порівняльними режимами;

Режим

- Лічильник реального часу з окремим осцилятором;
- Чотири ШІМ-канали;
- 10-канальний 12-розрядний АЦП;

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

- 7 диференційних каналів тільки в пакеті TQFP;
 - диференційні канали з можливістю програмування при 1х, 10х або 200х;
- Робочі напруги

- 2,0 – 3,3 В;

Струм споживання

- активний: 50 мА;
- режим очікування: 0,35 мА;
- Режим живлення вниз: <1 мкА [14].

Вище наведена блок діаграма портів і протоколів мікропроцесора див. рис. 3.9.

3.2.8 Вибір дисплею

Дисплей ER-TFTM050-3 має роздільну здатність 800х480 пікселів, діагональ 5 дюймів, RGB дисплей, підтримує інтерфейс SPI, напруга живлення +3.3В [15]. На рис. 3.11 можна побачити керуючу плату.

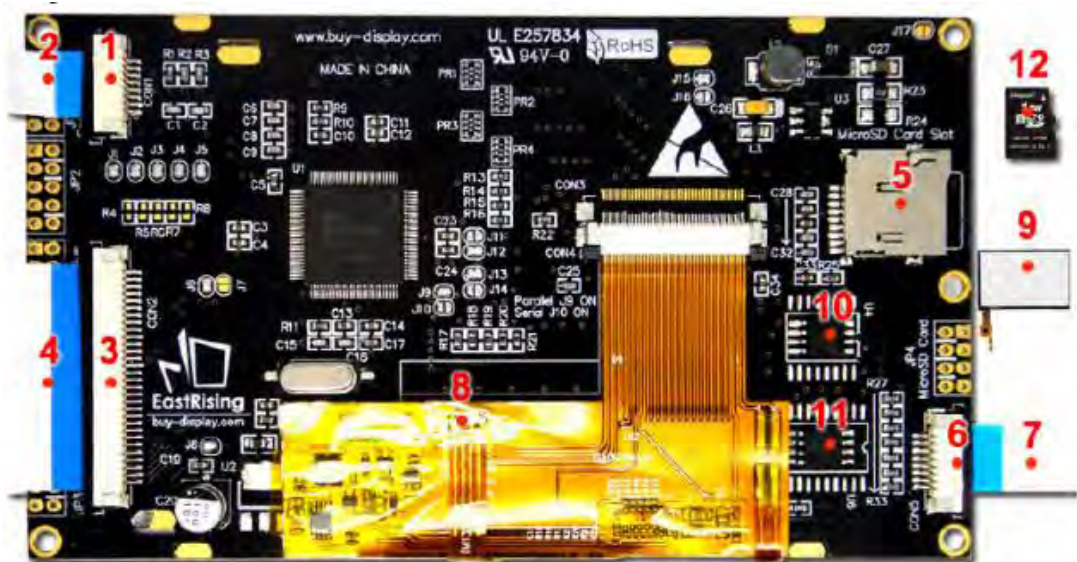


Рис. 3.11. Керуюча плата дисплея

4. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Особливості технології виготовлення похилих суміщених перетворювачів

Особливості технології виготовлення похилих суміщених перетворювачів.

Зважаючи на ряд недоліків похилих перетворювачів з п'єзопластиною, що притискається до призми через рідке мастило, останнім часом найбільшого поширення здобули похилі перетворювачі з жорстким клейовим з'єднанням п'єзопластини з призмою. Залежно від матеріалу, з якого виготовлена призма, технологією складання перетворювачів передбачаються ті чи інші особливості для забезпечення кращої адгезії.

Дуже значний вплив на якість роботи перетворювачів можуть спричинити несуцільності в матеріалі призми або клейовому з'єднанні. Через це бажано використовувати матеріали, оптично прозорі у видимому діапазоні спектру. Непрозорі заготовки призм тестують методами неруйнівного контролю, що особливо актуально при їх виготовленні з нових полімерних матеріалів - капролона, полікарбоната та ін.

Зручним для виготовлення призм є оптично прозоре органічне скло і на практиці воно широко використовується з цією метою, однак невисока адгезія до нього епоксидних клеїв ще погіршується під дією перепаду температур. В діапазоні температур-35 - +40 дає використання епоксидних компаундів К-139, К-153, К-300. Приклеювати призму з органічного скла до п'єзопластини і до протектора слід клеєм БФ-4, а в корпусі призма фіксується заливкою компаундом К-153. Заздалегідь знежирюються всі склеювані поверхні в бензині (двічі) і зневоднюються спиртом, при цьому поверхні деталей закругляють шліфуванням (крім керамічних), слідкуючи за збереженням площинності. Для склеювання пакету п'єзопластина-призма-протектор проводиться в пристрої, який їх фіксує, в термошафі протягом 4 годин при температурі 70 градусів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

Якщо конструкція не буде використовуватися при низьких температурах, термін роботи перетворювачів може бути значно подовжений додаванням до складу клею дихлоретану, який поліпшує адгезію клею до п'єзокераміки і металу.

Похилі перетворювачі найчастіше не мають демпфера, однак для герметизації п'єзопластину часто заливають тією ж клейовою композицією, яку застосовано для приклеювання пластини до призми.

Для запобігання небезпеки відриву пластини від призми в результаті усадки герметизуючої маси, що щільно склеюється з пластиною, на частину пластини, яка не випромінює коливань, накладають еластичний матеріал (пробку, пінопласт, тощо), на нього кладуть герметизуючу масу.

Рекомендована клейова композиція у масових частинах містить: 100 смоли, 12 отверджувача, 8 дихлоретану. Не слід готувати понад 5 г клею, бо при вистоюванні зростає його в'язкість [2].

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 55 |

5. ВІРОГІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ

5.1 Розрахунок вірогідності контролю

Помилки контролю. Метою контролю в загальному випадку є оцінка технічного стану об'єкта і прогноз його зміни, а також виявлення дефектів і визначення їх характеру. В результаті повинна бути встановлена можливість подальшої експлуатації об'єкта або необхідність його ремонту (відновлення).

Помилки контролю пов'язані з вірогідністю методу діагностик і помилками випробувань (вимірювань).

Застосовувані методи діагностики не забезпечують повної достовірності оцінки стану об'єкта. Результати вимірювань включають в себе помилки, які визначаються похибками приладів і впливом перешкод. Тому завжди існує ймовірність отримання помилкового результату контролю:

- не бракований об'єкт буде визнаний непридатним (помилковий дефект або помилка першого роду);
- бракований об'єкт буде визнаний придатним (невиявлені дефект або помилка другого роду).

Графічно формування результату при такому контролі показано на рис.5.1, де заштриховані площі відповідають можливостям отримання недостовірних результатів (помилки першого другого роду).

Помилки контролю призводять до різних наслідків: якщо помилки першого роду (помилковий дефект) тільки збільшують обсяг відновлювальних робіт, то помилки другого роду (невиявлений дефект) тягнуть за собою аварійне пошкодження обладнання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

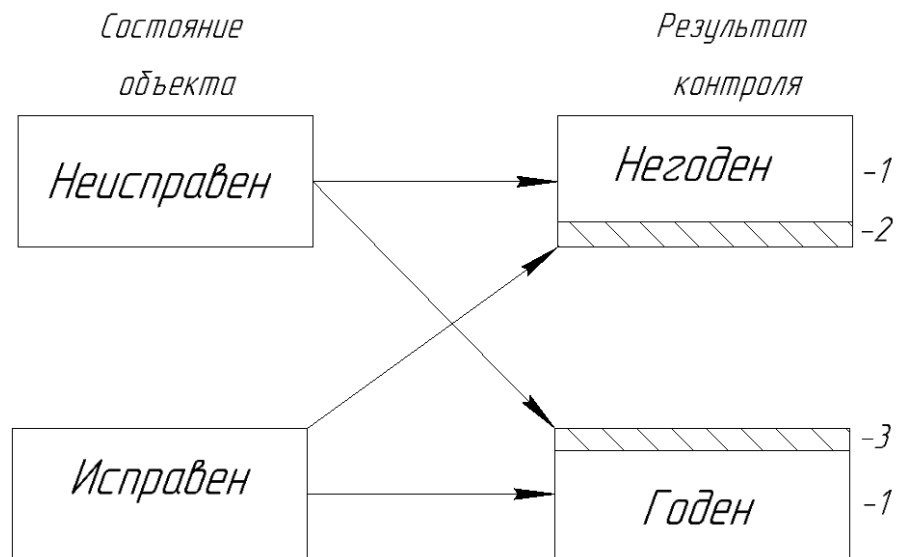


Рис. 5.1. Формування результату при двоальтернативному контролі:
 1 – достовірний результат, 2 – помилка першого роду (помилковий дефект),
 3 – помилка другого роду (невиявлений дефект)

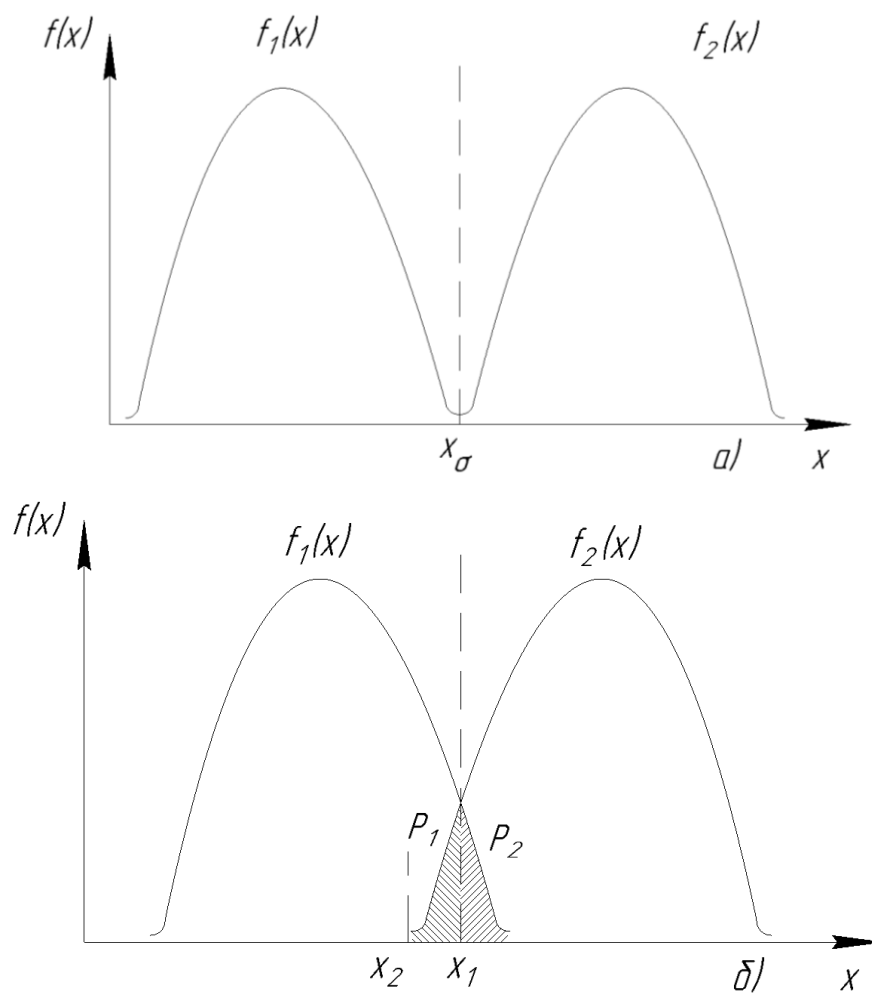


Рис. 5.2. Виникнення помилки через недосконалість методу контролю

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

Достовірність методу діагностики визначається ступенем зв'язку технічного стану об'єкта з його параметрами. Як правило, цей зв'язок - імовірнісний. Крім того, існує неоднозначність зв'язку значень контрольованих параметрів зі станом об'єкта при різних видах дефектів. Все це створює помилки діагностування, пов'язані з недосконалістю методів контролю.

На рис. 5.2 наведено приклади розподілу щільності ймовірностей значення деякого параметра x для двох сукупностей об'єктів одного виду: що не мають дефектів $f1(x)$ і з дефектами $f2(x)$. Передбачається, що параметр x здатен прогнозувати, тобто досить виражений зв'язок між його значенням і ймовірністю відмови об'єкта. В ідеальному випадку (рис. 5.2, а) за значенням параметра x можлива однозначна класифікація об'єктів (придатний або непридатний), відповідна їх стану (справний або несправний). Дійсний розподіл значень параметра x для обох сукупностей об'єктів має загальну зону (рис. 5.2, б). При цьому виникають помилки через недосконалість методу діагностики. Для бракування значення параметра $x_{\delta} = x_1$ це ймовірність того, що дефект не буде виявлений, вона відповідає площі заштрихованої ділянки P_1 , а ймовірність бракування об'єктів без дефекту – площі ділянки P_2 . В цьому випадку ймовірності появи помилок першого і другого роду взаємопов'язані. Зменшення числа виявлених дефектів забезпечується зниженням бракувальної норми до x_2 , але при цьому істотно зростає помилкове бракування.

Підвищити достовірність діагнозу можна, використовуючи для контролю кілька параметрів, що характеризують технічний стан об'єкта. Кожен з цих параметрів дає інформацію про певну характеристику об'єкта. Їх сукупність забезпечує підвищення ймовірності виявлення дефектів і можливість більш точної оцінки їх небезпеки.

Слід вказати ще на одне джерело помилок діагностування – використання вимірних значень контрольованих параметрів без приведення їх до нормальних умов.

Результати вимірювань залежать від умов контролю. Так, наприклад, існує залежність характеристик ізоляції від її температури. Температура

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

контакту істотно залежить від значення струму, що протікає, а результат вимірювання, крім того, і від стану поверхні. Тому для цілей діагностування необхідно результати вимірювань привести до однакових базових умов.

Ці умови зазвичай вказуються при встановленні бракувальних нормативів, а методикою вимірювань повинні бути передбачені способи приведення результатів до порівнянної базової характеристики (температурний перерахунок і т. п.).

Похибка вимірювання є наслідком обмеженої точності вимірювальних пристроїв (засобів вимірювання), а також похибок, викликаних впливом зовнішніх чинників. Засіб вимірювань (СІ) зазвичай складається з ряду вимірювальних перетворювачів і лічильного пристрою. В ході перетворень інформації виникає похибка виміру: дійсному значенню вимірюваної величини на вході x відповідає показання відлікового пристрою на виході y . Похибка вимірювання (абсолютне її значення $\Delta = y - x$ або відносне $\delta = \Delta / x$) має дві складові - систематичну і випадкову. Перша викликається 1 рис. 1.4 ймовірність P_n цієї події відповідає заштрихованій області під кривою $f_2(\Delta x)$.

Для зменшення ймовірності того, що дефект не буде виявлений, необхідно збільшувати точність вимірювання. Однак в тих випадках, коли визначальними стають похибка методу або зовнішні впливи (завади), висока точність вимірювальних пристроїв не підвищує ефективність контролю і лише ускладнює процес вимірювань. Вважається достатнім, якщо середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання через похибки СІ s_y не перевищуватиме однієї десятої середньоквадратичного відхилення s_x сукупності контрольованих значень параметра.

Щорічне відбраковування обладнання через погіршення ізоляції по визначеному параметру не перевищує зазвичай 1%, тобто близько 99% значень x δ виявляється нижче бракувального нормативу $x \delta$. Виходячи з цього, оцінимо в першому наближенні необхідну точність експлуатаційних вимірювань.

Для зазвичай прийнятого в таких випадках нормального закону розподілу 99% значень $x \delta$ відповідають значенням $x = 2,33 s_x$, звідки $s_y = 0,1 s_x = 4,3 \cdot 10^{-2}$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 59 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

х₆. Отже, достатня точність в розглянутих умовах буде досягнута, якщо середньоквадратичне відхилення результату вимірювання в області бракувальних значень параметра не перевищуватиме 4% цього значення. Орієнтовно вважають, що найбільше значення основної похибки вимірювального приладу дорівнює подвоєному середньоквадратичному відхиленню результатів вимірювань. При такому допущенні відносна похибка експлуатаційних вимірювань контрольованих параметрів не повинна перевищувати 8%.

Іноді заводи-виробники вимагають, щоб значення контрольованого параметра, виміряне при монтажі об'єкта, було близько до результатів заводського контролю. В цьому випадку необхідна висока точність вимірювань, що не завжди забезпечується в польових умовах.

Так, наприклад, при вимірюванні малих значень $\text{tg } \delta$ ізоляції мостом P5026 нормоване значення допустимої похибки $\Delta n_b = \Delta \text{tg } \delta = 3 \cdot 10^{-3}$. зазвичай для ізоляції без дефектів $\text{tg } \delta = 5 \cdot 10^{-3}$. Тільки за рахунок похибки моста можливий результат виміру $\text{tg } \delta_{\text{із}} = \Delta \text{tg } \delta + \text{tg } \delta_0 = 1,6 \text{ tg } \delta_0$. Тому значущим для контролю слід вважати лише результат, що перевищує заводські дані більш ніж на 60%. При більш жорстких бракувальних вимогах будуть неприпустимі великі похибки контролю.

Існує ще одна можливість помилок контролю, викликаних помилками вимірювання. При експлуатаційному контролі обладнання важливо виявити зміну контрольованого параметра. Тому суттєво, щоб відносна похибка вимірювання не виходила з допустимих меж. В СІ зі стрілочним приладом в якості відлікового пристрою нормується наведена похибка вимірювання: $b_n \cdot p = A/x_n$, де x_n - нормуюче значення вимірювані величини, зазвичай верхня межа шкали приладу. Відносна похибка вимірювання в таких СІ істотно залежить від значення вимірюваної величини, бо $b / b_n \cdot p = x_n / x$.

Тому навіть при досить малій нормованій зведеній похибці СІ треба перевірити відносну похибку; на початку шкали вона буде в десятки разів більше.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 60 |

Чутливість методу вимірювання. В експлуатаційній практиці точністю вимірювання і визначається чутливість методу, як правило, обмежується похибками через вплив зовнішніх факторів - перешкод. Можливість впливу таких чинників не завжди навіть враховується при конструюванні вимірювальних пристроїв.

Перешкоди специфічні для кожного виду вимірювань і тому розгляд способів зниження похибок можливий лише у відповідних розділах книги. Тут викладемо тільки загальні питання. Розрізняють перешкоди, викликані паразитними струмами в схемі вимірювань і струмами впливу.

Паразитними називаються струми, що виникають під дією напруги вимірювальної установки і протікають через її вимірювальний елемент, минаючи об'єкт виміру. Ці струми протікають по так званих паразитних зв'язках між джерелом напруги вимірювальної установки і елементами вимірювального пристрою (засобу вимірювання), а також по паразитних зв'язках в вимірювальному пристрої і в об'єкті.

Струмами впливу називаються струми, що виникають під дією робочої напруги електричної установки, в якій знаходиться контрольований об'єкт, і протікають через вимірювальний елемент вимірювального пристрою. До них відносяться струми промислової частоти і її гармонік, що протікають по електричних і електромагнітних зв'язках між елементами вимірювальної установки (включаючи об'єкт) і обладнанням, що знаходяться під робочою напругою. Крім того, струми впливу виникають у вимірювальній установці при наявності різниці потенціалів між точками заземлення її елементів.

Відомі два напрямки забезпечення необхідної точності вимірювань в умовах перешкод: застосування заводостійких вимірювальних пристроїв (СІ) і створення схем вимірювань, що забезпечують їх захист від впливу перешкод. перешкодостійкість СІ визначається їх конструкцією. Основні можливості зниження похибок – в підвищенні заводозахищеності схем вимірювань.

Підвищення заводозахищеності полягає в забезпеченні на вході СІ найбільшого можливого відносного рівня сигналу інформації (збільшення

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | <i>61</i> |

відношення сигнал/перешкода). Це досягається відповідною схемою вимірювань і екрануванням - відведенням вимірювальних ланцюгів струмів перешкод. Можлива також селекція сигналу, наприклад вимір його на частоті, що відрізняється від частоти напруги перешкоди (частотна селекція), або в періоди часу, коли перешкода мінімальна (тимчасова селекція). Однак в цих випадках необхідні відповідні вимірювальні пристрою.

Інша група способів заснована на виключенні похибки з результатів вимірювань. Це забезпечується відповідною методикою виробництва вимірів і обробки їх результатів. У тих випадках, коли є можливість накопичення достатнього масиву інформації (наприклад, при автоматизації контролю) зниження похибки вимірювання від перешкод, що мають випадковий характер, проводиться шляхом математичної обробки результатів вимірювань. Відомо достатня кількість методів статистичної обробки даних (усереднення, кореляційний аналіз і т. п.), що забезпечують підвищення достовірності вимірювань.

Чутливість методу вимірювання - це найменша виявлена зміна параметра, яка може служити для судження про зміну характеристик об'єкта. У найпростішому випадку завдання визначення чутливості зводиться до встановлення порогового значення параметра x_p , при якому ймовірність помилок контролю першого роду (помилкове бракування) не перевищуватиме заданого допустимого рівня.

Похибки вимірювань при експлуатаційному контролі визначаються в основному залишковим рівнем зовнішніх перешкод. Отже, для визначення порогу чутливості методу вимірювань необхідно встановити закон розподілу похибок вимірювання і, використовуючи його, обчислити значення x_p , відповідне допустимій ймовірності помилки першого роду.

Як правило, закон розподілу випадкових перешкод близький до нормального, якщо прийняти, що ймовірність помилки не повинна перевищувати 1%, значення $x_p - 2,33 s_p$, де s_p - середньоквадратичне відхилення

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 62 |

результатів вимірювань перешкод. При $x_{п} = 3 s_{п}$ ймовірність помилкового бракування знижується до 0,135%

Описана процедура визначення порогу чутливості методу вимірювань дає лише грубу оцінку, так як реальний розподіл результатів вимірювання перешкод в області крайніх членів розподілу зазвичай відрізняється від нормального. Однак, як правило отримана оцінка порогу чутливості достатня для практичних цілей. При необхідності більш обережного прогнозу необхідно розглядати спеціально розподіл крайніх (найбільших) членів вибірки [16].

Отже приймаю α - помилку першого роду рівною $\alpha=0.015$, та β - помилку другого роду рівною $\beta=0.015$. Тоді вірогідність контролю можна обчислити за формулою $1-\alpha-\beta= 0.97 \approx 97\%$ ми в постановці задачі ставили на меті отримати прилад що давав би вірогідність контролю 95%, отже умова дотримана.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 63 |

ВИСНОВКИ

В ході виконання бакалаврського дипломного проекту було розроблено прилад для контролю зварних з'єднань. Дана робота включає розрахунок усіх необхідних критичних кутів, кутів введення ультразвуку в ОК, розраховано коефіцієнт акустичного тракту та електроакустичного тракту, розроблено складальне креслення датчика, призми, корпусу, було обрано матеріали елементів конструкції датчика, проаналізовано особливості конструкції та надано рекомендації щодо клею для фіксації протектора до призми та до корпусу датчика. Крім того було розроблено схеми: структурну, функціональну та принципову, обрані електронні компоненти.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 64 |

ЛІТЕРАТУРА

1. Застосування зварювання: електронний ресурс, <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=22922>
2. Зварні з'єднання: електронний ресурс (ЛНТУ, Луцьк, 2011). Взято з <http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/mbf/olk_i_tmm/2011/11-45/page63.html>
3. Дефекти зварних з'єднань і методи їх виявлення особливості зварювання чавуну: електронний ресурс, http://ua-referat.com/Дефекти_зварних_з'єднань_і_методи_їх_виявлення_особливості_зварювання_чавуну
4. ДСТУ-Н Б А.3.1-11:2008. Управління, організація і технологія. Настанова з візуального і вимірювального контролю зварних з'єднань та наплавов металевих конструкцій, <http://profidom.com.ua/a-3/a-3-1/2229-dstu-n-b-a-3-1-112008-upravlinna-organizacija-i-tehnologija-nastanova-z-vizualnogo-i-vimiruvalnogo-kontroly-zvarnih-z-jednan-ta-naplavok-metalevih-konstrukcij>
5. Радіаційні методи: електронний ресурс, <https://studopedia.org/12-88525.html>
6. В.К. Цапенко та Ю.В. Куц, *Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник*, (НТУУ «КПІ», Київ, 2010).
7. Дифракційно-временной метод контролю (TOFD), <https://www.olympus-ims.com/ru/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>
8. Advanced NDT LTD, http://www.advanced-ndt.co.uk/SIUI_CTS-9005.htm
9. EINSTEIN II, <http://nktd.com.ua/ultrazvukovye-defektoskopy-serii-einstein-ii/>
10. ЕРОСН 650, <https://www.olympus-ims.com/ru/epoch650/>
11. В.В. Сухоруков, *Неразрушающий контроль* (Высшая школа, Москва, 1991)
12. Alldatasheet, <http://category.alldatasheet.com>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК61.090000.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

13. Даташит для КХО-204 9.8304 МГц (GEYER), КХО-200,
https://spb.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%2Fds%2Fpdf%2FK%2FKХО-200.pdf
14. Electronic Components Datasheet Search,
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=A1460>
15. STM32F103X8 Datasheet,
http://www.buydisplay.com/download/manual/ER-TFTM050-3_Datasheet.pdf
16. Техническая диагностика электрооборудования,
https://zinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_3/463_lektsii_po_expluatatsii_c_hast_2/009.htm
17. Лашко О. В. Окремі аспекти розробки навчальних програм для студентів спеціалізації «Неруйнівний контроль, технічна діагностика» / О. В. Лашко // Матеріали ІІІ науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі» з міжнародною участю – NDT – UA 2019, 17-19 вересня 2019 року, м. Київ, Україна. – Київ : УТ НКТД, 2019. – С. 32-37.
18. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
19. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.
20. Застосування кругових статистик для виявлення сигналу ультразвукового неруйнівного контролю / Ю.В. Куц, Ю.Ю. Лисенко, М.О. Редька, О.Д. Близнюк // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2018. — № 2. — С. 32-36. — Библиогр.: 11 назв. — укр.

21.Застосування перетворення Гільберта в системах аналізу сигналів неруйнівного контролю / Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, О.Л. Дугін, Ю.Ю. Лисенко // КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ. – 2018. – С. 167.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК61.090000.000 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 67 |