

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
приладобудівний факультет
кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов
« ____ » _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності**

**151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Автоматизована ультразвукова система контролю зварних
з'єднань труб»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПК-81мп
Шпак Дмитро Олексійович _____

Науковий керівник:

Старший викладач, кандидат технічних наук
Богдан Галина Анатоліївна _____

Консультант з розроблення стартап-проекту:

Доцент, кандидат економічних наук
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Консультант з розроблення схеми електричної принципової:

Доцент, кандидат технічних наук
Баженов Віктор Григорович _____

Рецензент:

Доцент, кандидат технічних наук
Філіппова Марина В'ячеславівна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
приладобудівний факультет
кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (освітньо-професійна програма) – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» («Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов
«__» _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Шпак Дмитро Олексійович

1. Тема дисертації «Автоматизована ультразвукова система контролю зварних з'єднань труб», науковий керівник дисертації старший викладач, кандидат технічних наук кафедри ПСНК Богдан Галина Анатоліївна, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: процес розповсюдження ультразвукових хвиль об'єкті контролю
4. Вихідні дані: швидкість переміщення конструкції $V = 50$ мм/с, діаметр труби $d = 1000$ мм, товщина труби $h = 20$ мм.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити наявні методи ультразвукового неруйнівного контролю; дослідити наявні методи виявлення сигналів ультразвукового неруйнівного контролю; провести моделювання, розробити конструкцію закріплення перетворювачів; розробити схему електричну принципову.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1 – алгоритм роботи автоматизованої системи, 2 – конструкція закріплення

перетворювачів, 3 – схема електрична принципова, 4 – схема функціональна, 5 – конструкція перетворювача, - назва, предмет, об’єкт, наукова новизна, завдання дослідження.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова К.О., к.е.н., доцент; доцент кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Розробка електричної схеми	доц., к.т.н. кафедри ПСНК, доц. Баженов В.Г.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання магістерської дисертації	11.10.2018	Виконано
2	Аналітичний огляд можливих дефектів в зварному шві	20.11.2018	Виконано
3	Проведення аналітичного огляду методів ультразвукової дефектоскопії	17.03.2019	Виконано
4	Розроблення структурної схеми	23.04.2019	Виконано
5	Розроблення функціональної схеми	07.06.2019	Виконано
6	Розроблення схеми електричної принципової	20.06.2019	Виконано
7	Моделювання конструкції закріплення перетворювачів в середовищі SolidWorks	05.09.2019	Виконано
8	Розробка стартап-проекту	16.10.2019	Виконано
9	Формулювання висновків	25.11.2019	Виконано

Студент

Д.О. Шпак

Науковий керівник дисертації

Г.А. Богдан

РЕФЕРАТ

Актуальність теми

На сьогоднішній день, в багатьох галузях промисловості знайшли широке застосування різноманітні зварні конструкції. Перевагами такого способу скріплення різних металоконструкцій є економія металу, зменшення вартості, швидкість роботи та зміцнення конструкції в цілому. Не забезпечення необхідної якості зварних з'єднань може призвести до руйнування таких об'єктів, тому контролювати їх на наявність дефектів є актуальним завданням у наш час.

В магістерській дисертації така задача вирішується за допомогою розробки ультразвукової автоматизованої системи контролю зварних з'єднань.

Мета і задачі дослідження

Мета дослідження – підвищення точності неруйнівного контролю зварних з'єднань шляхом вдосконалення методу та схеми дефектоскопії об'єкта.

В ході дослідження було поставлено та розв'язано наступні задачі:

1. Провести аналіз та обґрунтувати шляхи існуючих методів дефектоскопії зварних з'єднань у трубах великого діаметру.
2. Розробити структурну та функціональну схему ультразвукової автоматизованої системи для виявлення дефектів та розрахувати її основні вузли.
3. Створити модель конструкції сканера в середовищі Solid Works.

Об'єкт дослідження – процес ультразвукової дефектоскопії зварних з'єднань в процесі експлуатації труб.

Предмет дослідження - методи та засоби підвищення точності визначення розташування дефектів при контролі зварних з'єднань труб.

Методи дослідження базуються на використанні теоретичних основ ультразвукового неруйнівного контролю; методів цифрової обробки сигналів; моделюванні конструкції закріплення перетворювачів в середовищі SolidWorks.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Удосконалено метод ультразвукової дефектоскопії зварних з'єднань труб на основі комплексного застосування автоматизації процесу отримання

вимірювальної інформації та сукупності конструктивних рішень, що дозволило підвищити швидкість та точність дефектоскопії зварних з'єднань.

Ключові слова: Ультразвуковий неруйнівний контроль, п'єзоперетворювач, акустичний тракт, АЦП, Analog Devices, ЦАП.

ABSTRACT

Actuality of theme

To date, many welded structures have been widely used in many industries. The advantages of this method of bonding various metal structures are the savings of metal, cost reduction, speed of operation and strengthening the structure as a whole. Failure to provide the required quality of welded joints can lead to the destruction of such objects, so controlling them for defects is an urgent task nowadays.

In a master's thesis, this problem is solved by developing an ultrasonic automated system for the control of welded joints.

The purpose and objectives of the study

The purpose of the study is to improve the accuracy of non-destructive testing of welded joints by improving the method and scheme of object flaw detection.

During the study the following tasks were set and solved:

1. To analyze and substantiate the ways of existing method of flaw detection of welded joints in large diameter pipes.
2. Develop a structural and functional diagram of an ultrasonic automated system for the detection of defects and calculate its main nodes.
3. Create a scanner design model in the Solid Works environment.

The object of study is the process of ultrasonic flaw detection of welded joints during the operation of pipes.

The subject of the study are methods and means of improving the accuracy of defect location when controlling welded pipe joints.

Research methods are based on the use of theoretical bases of ultrasonic nondestructive testing; methods of digital signal processing; modeling of converter mounting design in SolidWorks environment.

Scientific novelty of the obtained results:

1. The method of ultrasonic flaw detection of welded joints of pipes was improved based on the complex application of automation of the process of obtaining measuring information and a set of design solutions, which allowed to increase the speed and accuracy of flaw welding of welded joints.

Keywords: ultrasonic non-destructive testing, piezoelectric transducer, acoustic tract, ADC, Analog Devices, DAC.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	10
1.1. Об`єкт контролю	10
1.2. Основні види зварних з`єднань і типи швів	14
1.3. Характерні дефекти зварних з`єднань	18
1.4. Методи контролю зварних з`єднань	22
1.4.1. Візуально-вимірювальний контроль зварних швів	23
1.4.2. Контроль на герметичність	23
1.4.3. Ультразвуковий метод контролю	23
1.5 Обґрунтування вибору структурної схеми.....	26
1.6 Висновки до розділу.....	29
2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	30
2.1. Розрахунок згасання ультразвуку в ОК та вибір робочої частоти.....	30
2.2. Розрахунок кута вводу ультразвукової хвилі в ОК	31
2.3. Розрахунок коефіцієнту акустичного тракту	34
2.4. Розрахунок електроакустичного тракту	37
2.5. Розрахунок вузлів електричної схеми.....	38
2.5.1. Розрахунок генератора зондуючих імпульсів.....	38
2.5.2. Розрахунок схеми захисту.....	41
2.5.3. Розрахунок операційного підсилювача.	42
2.5.4. Розрахунок смугового фільтру	43
2.5.5. Схема часового регулювання чутливості.....	44
2.5.6. Розрахунок та вибір АЦП.....	46
2.5.7. Розрахунок та вибір пам`яті.....	47
2.5.8. Вибір мікроконтролера.....	49
2.5.9. Вибір дисплея	50
2.5.10. Вибір кнопок.....	51
2.6 Висновки до розділу	52
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ.....	53

3.1. Моделювання.....	53
3.2. Конструкція ПЕП	55
3.3. Розрахунок та підбір двигуна.	55
3.4 Висновки до розділу	60
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБ»	61
4.1. Опис ідеї проекту	61
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	62
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	63
4.4. Аналіз пропозицій ринку.....	66
4.5. Фактори конкурентоспроможності	67
4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту	68
4.7. SWOT-аналіз стартап-проекту.....	68
4.8. Альтернативи ринкової поведінки	69
4.9. Розроблення ринкової стратегії проекту	70
4.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	72
4.11 Висновки до розділу	74
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	77

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НК – неруйнівний контроль

УЗ – ультразвук

ОК – об'єкт контролю

УЗХ – ультразвукова хвиля

ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач

ЧРЧ – часове регулювання чутливості

МК – мікроконтролер

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ВСТУП

Контроль зварних з'єднань є актуальною задачею, так як зварювання широко застосовується у сучасній промисловості. Будь-яка металоконструкція передбачає складання і з'єднання її окремих елементів. Скріпити деталі можна зварюванням або кріпильними виробами [1]. Однак цілісність, міцність і належні експлуатаційні характеристики забезпечує лише перший варіант. Існує велика кількість методів контролю зварних з'єднань, однак найпопулярнішим та найефективнішим є ультразвуковий метод. Він дозволяє виявити у зварному шві наступні види дефектів: непровари, газові пори, тріщини тощо.

Основні методи, які використовують при контролі зварних з'єднань це: луно-метод, дифракційно-часовий (TOFD), тіньовий, дзеркально-тіньовий [2]. В даному дипломному проекті буде використовуватись тіньовий метод контролю із застосуванням шести перетворювачів, закріплених спеціальною конструкцією на об'єкті контролю. Перевагами ультразвукового методу є його висока точність, мобільність, швидкодія та можливість його автоматизувати

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Об'єкт контролю

В багатьох галузях промисловості зварювання є незамінним процесом, тому контролювати його на дефекти є актуальним у наш час. Різні ємності, де потрібна герметичність, скрізь застосовується зварювання, наприклад – бензобаки, бочки, труби тощо.

Перевагами такого способу скріплення різних металоконструкцій є економія металу, зменшення вартості, швидкість роботи та зміцнення конструкції вцілому.

Зварювання - це процес з'єднання двох матеріалів разом шляхом подачі тепла через зовнішню (електричну дугу або нагрівачі) або внутрішнє утворення (тертя). Багато хто вважає, що зварювання - це термін, який зарезервований для металів. Однак це неправда, оскільки такий матеріал, як пластик, також можна зварювати. Згадані тут типи зварювання досить вичерпні, але стосуються лише металів.

Дугове зварювання

Як впливає з назви, для дугового зварювання використовується електрична дуга для розплавлення матеріалів, перш ніж з'єднати їх. Електрична дуга підводиться між двома матеріалами за допомогою електрода (здебільшого не витратний електрод). Ця електрична дуга може створити температуру вище 3500 °C, що є достатньо високим, щоб розплавити високоміцні метали, як вуглецева сталь. Цей метод також використовує захисний газ у поєднанні з дуговим зварюванням. Це відбувається тому, що атмосферне повітря може взаємодіяти з басейном зварного шва і викликати окислення. Існують різні типи дугового зварювання, такі як екрановане зварювання металевими дугами, зварювання з флюсовою дугою, дугове зварювання, зварювання плазмовою дугою тощо.

Переваги дугового зварювання:

- Підходить для швидкісних зварних швів
- Простий зварювальний апарат

- Переносність в результаті простого обладнання
- Може працювати на змінного чи постійного струму
- Вищі температури

Недоліки дугового зварювання:

- Не підходить для зварювання тонких металів
- Потрібні кваліфіковані зварювальники
- Не можна використовувати для реакційноздатних металів, таких як Al або Ti

Зварювання MIG (Металевим інертним газом)

MIG або металеве інертне газове зварювання - ще один спосіб зварювання, який використовує електричну дугу для створення зварних швів. Однак у порівнянні з дуговим зварюванням MIG потрібен витратний електрод для з'єднання металів. Споживний електрод - це метал, який подає електроенергію до зварного з'єднання. Однак сам електрод зазнає плавлення, коли він знаходиться біля басейну зварного шва. Отже, він споживається в процесі зварювання. При зварюванні MIG розплавлений електрод полегшує з'єднання двох металів. Отже, MIG ідеально підходить для з'єднання різних металів. Захисний газ також подається через зварний пістолет, щоб гарантувати, що зварний басейн не взаємодіє з атмосферним повітрям.

Переваги зварювання MIG:

- Створює високоякісні зварні шви
- Незначний бризок бризок
- Можна використовувати для з'єднання різних металів
- Може бути повністю або напівавтоматично
- Хороша швидкість зварювання

Недоліки зварювання MIG:

- Непридатний для зварювання зовні
- Непридатний для товстих металів
- Необхідна підготовка металу

Зварювання TIG (Інертним газовим зварюванням вольфраму)

Для зварювання вольфрамового інертного газу використовується вольфрамовий електрод для створення дуги між металами. Зварювання TIG - це невитратний електродний спосіб зварювання, тому вольфрам не споживається при цьому. Для зварювання TIG також не використовується жодна форма флюсу або шлаку для екранування. Натомість інертний газ використовується як захисний засіб у всьому процесі. Аргон - найчастіше використовується інертний газ при зварюванні TIG. Зварювання TIG може працювати як на джерелах живлення змінного та постійного струму. Однією з найбільших переваг зварювання TIG є те, що його можна використовувати для зварювання кольорових металів, таких як алюміній, мідь, магній, мідь, нікель, титан тощо.

Переваги зварювання TIG:

- Дуже чисті шви
- Запропонуйте високий ступінь контролю зварювальнику
- Можна використовувати з наповнювачем або без нього
- Це можна зробити вручну або автоматичними методами
- Створює міцні шви

Недоліки зварювання TIG:

- Витрата часу
- Потрібні кваліфіковані зварювальники
- Не можна використовувати для більш товстих металевих з'єднань

Причина активного інтересу до цієї галузі полягає в тому, що кожна техніка, яку ми використовуємо для створення складних та звичайних виробів, потребує певної форми зварювання.

В якості об'єкту контролю в даному дипломі будуть використовуватись труби великого діаметру, які дуже широко використовуються для опалювальних та газових систем або для прокладки водопроводів.

Сфери, в яких використовуються труби великого діаметру:

- промисловість і важке машинобудування;
- теплоцентралі;
- мостобудування (опори);

- суднобудування;
- водовідведення і каналізація;
- бурові свердловини та ін.

Труби великого діаметру використовуються для будівництва магістральних нафто- і газопроводів у північній кліматичній зоні, а також прибережних і польових трубопроводів, які транспортують нафтогазові продукти з підвищеним рівнем сірководню.

Нафтогазові труби (рис. 1.1) використовуються для будівництва газо- і нафтопроводів та водопроводів, тоді як труби малого діаметра використовуються для систем опалення, в сільськогосподарському секторі та будівництві.



Рис. 1.1 Нафтогазова труба

Труби великого діаметру найкраще підходять і перевірені в наступних випадках застосування:

- Водопроводи
- Іригаційні трубопроводи
- Підземні та наземні резервуари для зберігання
- Бункери
- Установки технологічного охолодження води для промислових заводів та електростанцій
- Труби стічних вод

- Реконструкція підземних труб
- Труби для переробки шламу (наприклад, гірничодобувна промисловість)
- Трубопроводи для охолодження води та зливу для електростанцій
- Приймання морської води та розсол для установок для опріснення морської

води

- Викиди морських стічних вод
- Морські встановили трубопроводи питної води
- Морські трубопроводи для збору стічних вод встановлені на морі

На рисунку 1.2 показано використання техніки для транспортування, навантаження і переміщення труб великих діаметрів.



Рис.1.2 Використання техніки для транспортування, навантаження і переміщення труб великих діаметрів

1.2. Основні види зварних з'єднань і типи швів

Існує багато типів стикових зварних швів, але всі підпадають під одну з цих категорій: односварні стики, подвійний зварений стиковий стик та відкриті чи закриті стикові стики. Односварний стик - це назва з'єднання, яке було зварене лише з одного боку. Подвійне зварне стикове з'єднання створюється, коли зварний швар зварений з обох сторін. При подвійному зварюванні глибина кожного зварного шва може дещо змінюватися. Закритий зварний шар - це тип з'єднання, в якому два шматки, які будуть з'єднані, торкаються в процесі зварювання. Відкритий зварювальний шар - це шарнір, де ці шматки мають невеликий зазор між

ними в процесі зварювання.

Квадратний паз - це стиковий зварювальний шар, причому два шматки є плоскими та паралельними один одному. Цей шарнір простий у приготуванні, економічний у використанні та забезпечує задовільну міцність, але обмежений товщиною стику. Закритий зварний квадратний шов - це тип стику прямокутної форми, що не має проміжків між шматками. Цей тип з'єднання є загальним для газота дугового зварювання. Для більш товстих з'єднань край кожного елемента з'єднання повинен бути підготовлений до певної геометрії, щоб забезпечити доступність зварювання та забезпечити бажану міцність зварювання. Отвір або зазор у корені стику та включений кут канавки повинні бути обрані таким чином, щоб вимагати найменшої кількості зварного металу, необхідного для забезпечення доступу та відповідності вимогам міцності. Для квадратних стиків зазвичай використовується тільки метал товщиною до 4,5 мм

На рисунку 1.3 показані основні види форм стиків.

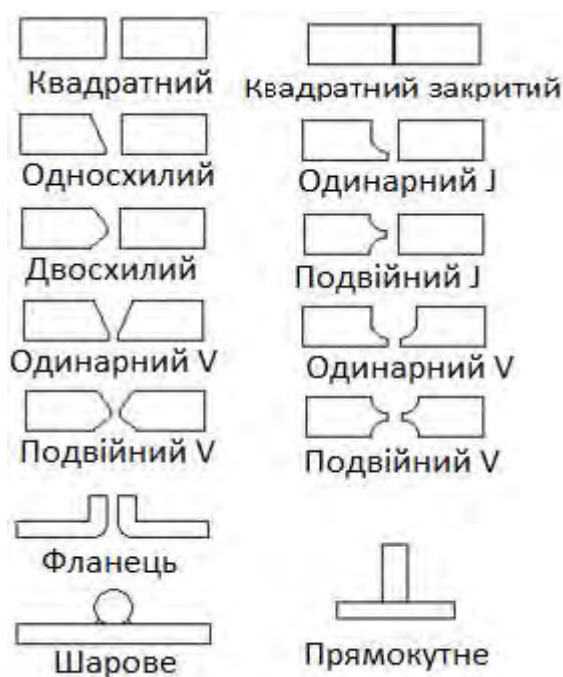


Рис. 1.3 Геометрія стиків

Якщо дві деталі зварені в місці примикання їх країв і розташовані під певним кутом (найчастіше 90°), з'єднання називають кутовим. Його

використовують при виготовленні тари, захисних та інших виробів, які не піддаються значним навантаженням.

Другий за популярністю тип зварного шва - канавка зварного шва. Існує сім основних типів шліфувальних швів, які показані на рисунку 1.4. Паза зварювання відноситься до намистин, які осідають в паз між двома елементами, які з'єднуються.



Рис. 1.4 Основні шліфувальні шви

Зварювання наплавлення

Це зварні шви, складені з однієї або декількох струн, або плетені намистини, нанесені на нерозміту поверхню для отримання бажаних властивостей або розмірів. Цей тип зварного шва використовується для нарощування поверхонь або заміни металу на зношених поверхнях. Він також використовується при стиках квадратних стиків.

Зварювальна канавка

Це зварювання, виготовлене в подовженому отворі в одному з членів колінного або трійкового суглоба, що приєднується до цього елемента до поверхні іншого елемента, що відкривається через отвір. Цей отвір може бути відкритим на одному кінці і може бути частково або повністю заповнений металом зварного шва.

На рисунку 1.5 показано наплавлення, штепсельних і шліцевих зварювачів.



Рис. 1.5 Ілюстрації наплавлення, штепсельних і шліцевих зварювачів

Зварювання труб

Труби зварних швів виготовляють за різними вимогами та в різних ситуаціях зварювання. Місце зварювання продиктовано роботою. Загалом позиція є фіксованою, але у розумних випадках її можна прокатати для роботи на плоскому положенні. Позиції та процедури зварювання труб викладені нижче.

На рисунку 1.6 зображені ілюстрації позицій зварювання труб.



Рис. 1.6 Ілюстрації позицій зварювання труб

1.3. Характерні дефекти зварних з'єднань

Дефекти зварювання (рис. 1.7) можна визначити як нерівності, що утворюються в даному металі зварювання через неправильний процес зварювання або неправильні схеми зварювання тощо. Дефект може відрізнятися від бажаної форми, розміру та розміру зварювального шару. Дефекти зварювання можуть виникати як зовні, так і всередині металу зварного шва. Деякі дефекти можуть бути допущені, якщо дефекти знаходяться в допустимих межах, але інші дефекти, такі як тріщини, ніколи не приймаються.

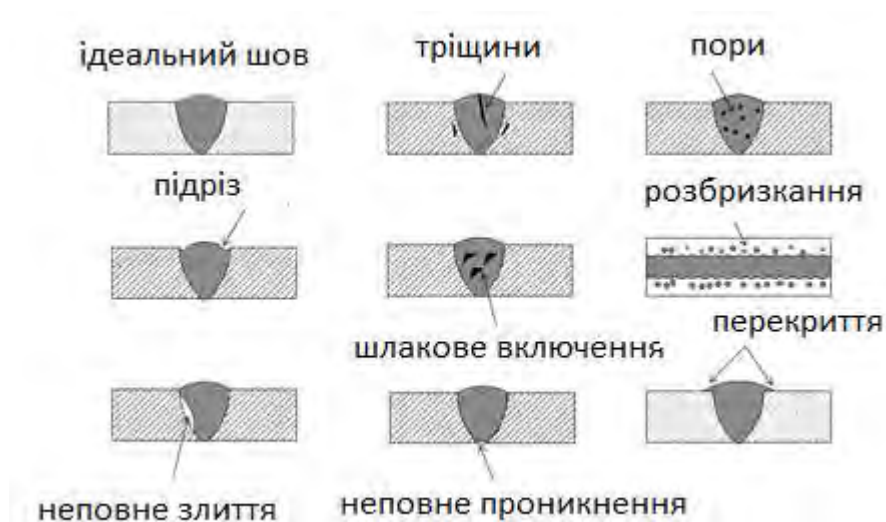


Рис. 1.7 Різні види дефектів зварного шва

Згідно ДСТУ дефекти зварювання можна класифікувати на два типи як зовнішні та внутрішні дефекти [4]:

Зовнішні дефекти зварювання:

1. Зварювальна тріщина
2. Підріз
3. Бризок
4. Пористість
5. Перекриття

6. Кратер

Дефекти внутрішнього зварювання:

1. Шлакове включення
2. Неповний синтез
3. Розтріскування намиста
4. Невиконана канавка або Неповне проникнення

Зовнішні дефекти зварювання

Нижче перераховані різні типи зовнішніх дефектів, їх причини та засоби усунення:

1. Зварювальна тріщина

Це самий небажаний дефект з усіх інших дефектів зварювання. Зварювальні тріщини (рис. 1.8) можуть бути присутніми на поверхні, всередині зварювального матеріалу або в зонах впливу тепла.

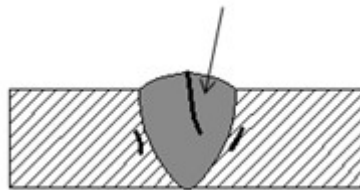


Рис. 1.8 Зварювальна тріщина

Тріщини можуть також з'являтися при різних температурах:

Гаряча тріщина - вона більш помітна під час кристалізації зварних з'єднань, де температура може піднятися більше 10 000 градусів Цельсія.

Холодна тріщина - Цей тип тріщин виникає в кінці зварювального процесу, де температура досить низька. Іноді холодна тріщина помітна через кілька годин після зварювання або навіть через кілька днів.

Причини виникнення тріщини зварювання:

- Погана пластичність даного основного металу.
- Наявність залишкового напруги може спричинити тріщини на металі зварного шва.
- Жорсткість з'єднання, що ускладнює розширення або стискання металів.

- Якщо високий вміст сірки та вуглецю, то також можуть з'явитися тріщини.
- Використання водню в якості екрануючого газу при зварюванні чорних матеріалів.

2. Підріз

Коли основа металу плавиться далеко від зони зварного шва, тоді утворюється канавка у формі виїмки, тоді цей тип дефекту відомий як підріз (рис.1.9). Це знижує втомну силу суглоба.

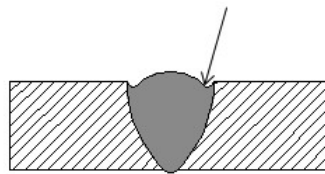


Рис. 1.9 Підріз

Причини виникнення підрізу:

- Якщо напруга дуги дуже велике, може виникнути цей дефект.
- Якщо ми використовуємо неправильний електрод або якщо кут електрода неправильний, то також може утворюватися дефект.
- Використання великого електрода також не доцільно.
- Висока швидкість електрода також є однією з причин цього дефекту.

Засоби захисту від Undercut:

- Зменшіть довжину дуги або зменшіть напругу дуги.
- Тримайте кут електрода від 30 до 45 градусів за допомогою стоячої ноги.
- Діаметр електрода повинен бути невеликим.
- Зменшіть швидкість ходу електрода.

3. Пористість (рис. 1.10)

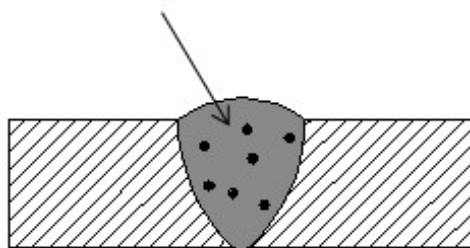


Рис. 1.10 Дефект пористості зварювання

Причини виникнення пористості:

- Це відбувається, коли електрод не покритий належним чином.
- Використання довшої дуги також може збільшити її шанси.
- Підвищені зварювальні струми.
- Іржа або масло на зварювальній поверхні.

Дефекти внутрішнього зварювання

Нижче перераховані різні типи внутрішніх дефектів зварювання, їх причини та засоби усунення:

4. Шлакове включення

На рисунку 1.11 показан дефект – шлакове включення.

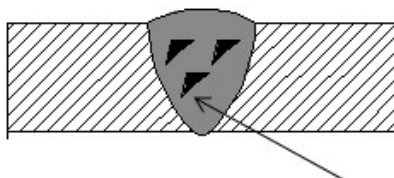


Рис. 1.11 Дефекти зварювання шлакових включень

Якщо в шві є якийсь шлак, то це впливає на в'язкість і металеву зварюваність даного матеріалу. Це знижує структурні показники зварного матеріалу. Шлак утворюється на поверхні зварного шва або між зварювальними витками.

Причини шлаку:

- Шлак утворюється, якщо щільність зварювального струму дуже мала, оскільки не забезпечує необхідну кількість тепла для розплавлення металеві поверхні.

- Якщо швидкість зварювання занадто швидка, то також може виникнути шлак.
- Якщо край зварної поверхні не очищений належним чином, також може утворюватися шлак.
- Неправильний кут зварювання та швидкість ходу зварювального стержня.

Невиконана канавка або неповне проникнення (рис. 1.13)

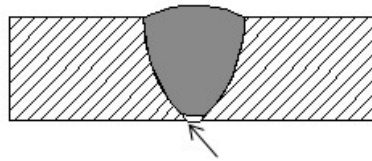


Рис. 1.13 Неповний дефект зварювального проникнення

Ці дефекти трапляються лише в стикових швах, де паз металу не заповнений повністю. Його також називають дефектом неповного проникнення.

Причини неповного заповнення канавки:

- Менше осадження металу зварного шва
- Використання електрода неправильного розміру
- Неправильна техніка зварювання

1.4. Методи контролю зварних з'єднань

Згідно ДСТУ на сьогоднішній день використовують наступні методи контролю [4]. Це руйнівний та неруйнівний методи. Так як в даному дипломному проекті ми розглядаємо лише неруйнівні методи контролю, то існують наступні методи[5]:

- Візуально-оптичний метод
- Ультразвуковий метод
- Контроль на герметичність
- Радіаційний метод
- Магнітний метод

- Капілярний метод та інші

1.4.1. Візуально-вимірювальний контроль зварних швів

Цей метод контролю є найпоширенішим, так як не потребує ніяких затрат та особливих зусиль, але за рахунок цього, якість такого контролю не є ідеальною, тому що присутній людський фактор та немає можливості виявити внутрішні дефекти. На рисунку 1.14 показано реалізацію даного методу контролю.



Рис. 1.14 Процес візуального контролю зварного з'єднання

1.4.2. Контроль на герметичність

За допомогою такого виду контролю контролюють різні ємності та трубопроводи, де необхідна герметичність. Суть перевірки полягає у створенні тиску всередині ємності або труби [6]. Тиск збільшують в 1.5 – 2 рази в порівнянні з робочим. Відбувається це на протязі близько 10 хв. Потім експерт обходить зону перевірки.

1.4.3. Ультразвуковий метод контролю

Ультразвукове неруйнівне тестування, також відоме як ультразвукове NDT або просто UT, є методом характеристики товщини або внутрішньої структури досліджуваного зразка за допомогою використання звукових хвиль високої частоти. На рисунку 1.15 показано принцип роботи ультразвукового методу контролю [7]. Частоти або крок, які використовуються для ультразвукового

тестування, у багато разів перевищують межу слуху людини, найчастіше в діапазоні від 500 КГц до 20 МГц.

У промислових сферах широко застосовується ультразвукове тестування на метали, пластмаси, композити та кераміку. Єдиними поширеними інженерними матеріалами, непридатними для ультразвукового тестування звичайним обладнанням, є вироби з дерева та паперу. Ультразвукова технологія також широко використовується в біомедичній галузі для діагностичних зображень та медичних досліджень.

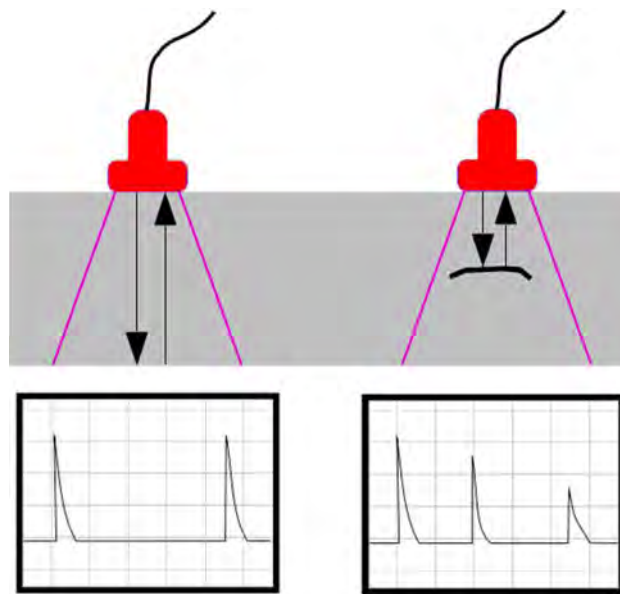


Рис. 1.15 Принцип роботи ультразвукового неруйнівного контролю

Зліва: Зонд посилає звукову хвилю в тестовий матеріал. Є два показання: один від початкового імпульсу зонда, а другий через відлуння задньої стінки.

Справа: Дефект створює третю індикацію і одночасно зменшує амплітуду індикації задньої стінки.

Звукові хвилі високої частоти дуже спрямовані, і вони будуть мандрувати через середовище (як шматок сталі або пластику), поки не стикаються з кордоном з іншим середовищем (як повітря), і в цей момент вони відбиваються назад до свого джерела. Аналізуючи ці відображення, можна виміряти товщину досліджуваного зразка або виявити докази тріщин або інших прихованих внутрішніх недоліків.

При ультразвуковому дослідженні над обстежуваним об'єктом передається ультразвуковий перетворювач, підключений до діагностичної машини.

Перетворювач, як правило, відокремлюється від об'єкта випробування куплантом (наприклад, маслом) або водою, як при випробуванні на занурення.

Існує два способи прийому ультразвукової форми хвилі, відбиття та ослаблення.

У режимі відображення (або імпульсного відлуння) перетворювач виконує як відправлення, так і приймання імпульсних хвиль, оскільки "звук" відбивається назад до пристрою. Відбите ультразвукове дослідження надходить від інтерфейсу, наприклад задньої стінки об'єкта або від недосконалості всередині об'єкта. Діагностична машина відображає ці результати у вигляді сигналу з амплітудою, що представляє інтенсивність відображення та відстань, що представляє час приходу відображення.

В режимі ослаблення (або через передачу) передавач посиляє ультразвук через одну поверхню, а окремий приймач виявляє кількість, яка досягла його на іншій поверхні після проїзду через середовище. Недосконалість або інші умови в просторі між передавачем і приймачем зменшують кількість переданого звуку, тим самим виявляючи їх наявність. Використання купланта збільшує ефективність процесу за рахунок зменшення втрат енергії ультразвукової хвилі за рахунок поділу між поверхнями.

Ультразвуковий контроль зварювань

Однією з найбільш корисних характеристик ультразвукового тестування є його здатність визначати точне положення розриву в зварному шві. Цей метод тестування вимагає високого рівня підготовки та компетентності операторів і залежить від створення та застосування відповідних процедур тестування. На рисунку 1.16 показаний процес контролю зварних з'єднань. Цей метод випробування може бути використаний на чорних і кольорових матеріалах, часто підходить для випробування більш товстих ділянок, доступних лише з одного боку, і часто може виявляти більш тонкі лінії або більш дрібні дефекти, які можуть бути не так легко виявлені рентгенографічним тестуванням.



Рис. 1.16 Процес контролю зварного з'єднання

1.5 Обґрунтування вибору структурної схеми

В ході виконання дипломного проекту була розроблена структурна та функціональна схема автоматизованої ультразвукової системи контролю зварних з'єднань труб, які показані на рисунку 1.17 та 1.18.

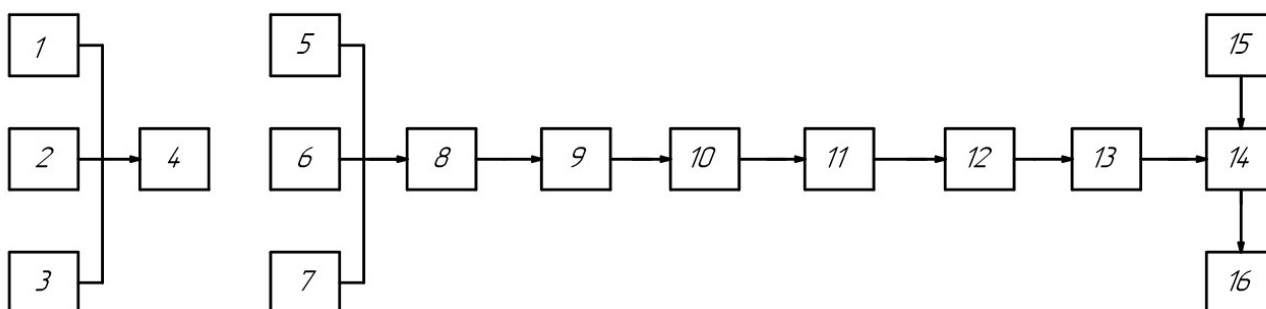


Рис. 1.17 Структурна схема автоматизованої ультразвукової системи контролю зварних з'єднань труб

1,2,3 – блок генератору зондуючих імпульсів та п'єзоелектричного перетворювача

4 – дешифратор

5,6,7 – п'єзоелектричні перетворювачі, що приймають сигнали

8 – аналоговий мультиплексор

9 – попередній підсилювач

10 – смуговий фільтр

11 – схема часового регулювання чутливості

12 - аналогово-цифровий перетворювач

13 –пам'ять FIFO

14 – мікроконтролер

15 – клавіатура

16 – дисплей

Так як автоматизована система передбачає використання шести ультразвукових перетворювачів, то для реалізації кращої якості контролю застосуємо три генератора зондуючих імпульсів, які будуть посилати імпульси на три збуджуючих датчика. Інші три перетворювача будуть приймати сигнал, та подавати його на аналоговий мультиплексор. Далі принцип роботи схеми виконується наступним чином:

Мікроконтролер (МК1) генерує сигнал для початку вимірювання, який запускає генератор зондуючих імпульсів. При надходженні сигналу генератора формується радіо-імпульс, який потрапляє на датчики і збуджує акустичні хвилі в ОК. Сигнал приймається іншими датчиками. Попередній підсилювач використовується для підсилення с постійним заданими коефіцієнтом. Смуговий фільтр пропускає сигнал заданої частоти. Схема ЧРЧ позбавляє залежності амплітуди сигналу від глибини залягання дефекту. За допомогою АЦП оцифровуємо сигнал і записуємо у пам'ять. Мікроконтролер оброблює данні та виводить їх на дисплей.

На основі структурної схеми було розроблено функціональну схему:

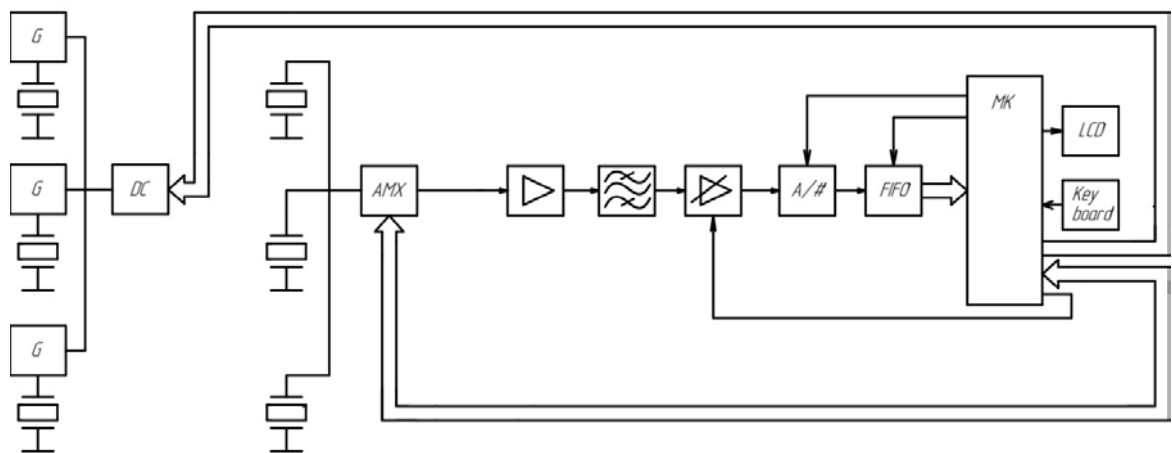


Рис.1.18 Функціональна схема ультразвукової автоматизованої системи контролю зварних з'єднань

На рисунку 1.19 показано алгоритм роботи автоматизованої ультразвукової системи контролю зварних з'єднань труб.

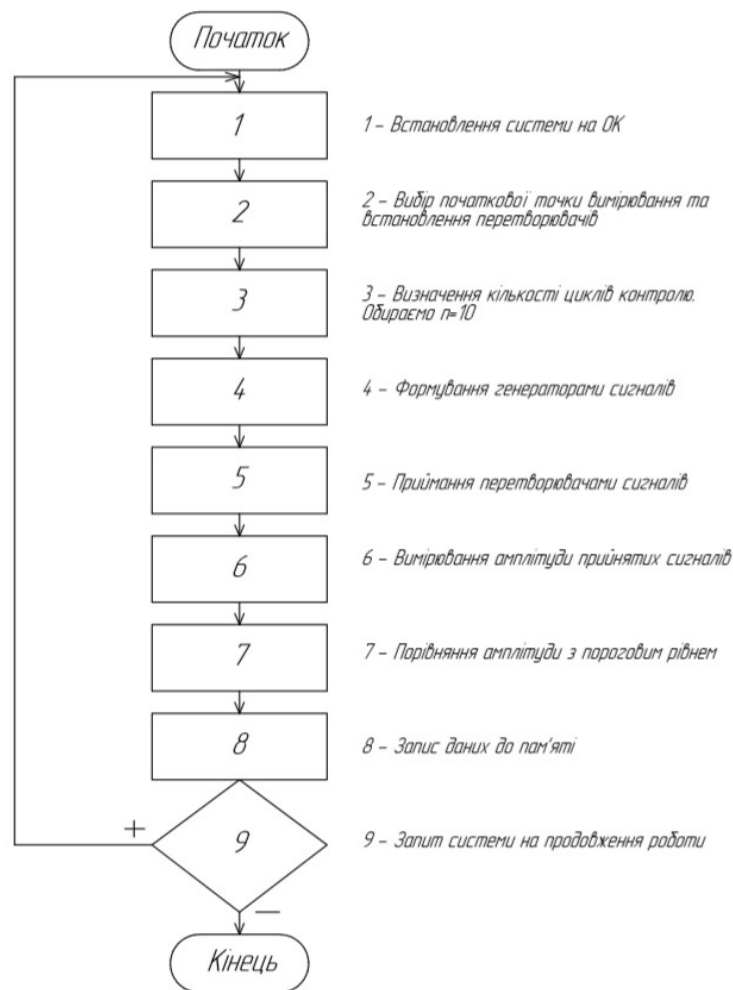


Рис. 1.19 Алгоритм роботи автоматизованої ультразвукової системи контролю зварних з'єднань труб

Спочатку система встановлюється на об'єкт контролю та обирається початкова точка, відносно якої буде проводитись вимірювання. Обирається кількість циклів вимірювання, тобто кількість пройдених обертів системою вздовж зварного шва. Далі генераторами формуються імпульси, які перетворюються в ультразвук, за допомогою п'єзоелектричних перетворювачів. Інші перетворювачі приймають сигнали. Вимірюється амплітуда отриманих сигналів та порівнюється з пороговим рівнем. Отримані дані записуються у пам'ять.

1.6 Висновки до розділу

У розділі було проаналізовано об'єкт контролю та розглянуті існуючі види зварювання, такі як:

- Дугове
- Зварювання інертним газом
- Зварювання інертним газом вольфраму та ін.

Був проведений аналіз їх переваг та недоліків. Описані основні види зварних з'єднань та типи дефектів, які можуть виникати в них, наприклад:

- Тріщина
- Підріз
- Пори
- Шлакові включення
- Канавка та ін.

Перераховані та описані основні методи контролю зварних з'єднань. Було обрано ультразвуковий метод контролю та проаналізовано його переваги і недоліки. В кінці розділу розроблено структурну, а на її основі і функціональну схему автоматизованої ультразвукової системи контролю зварних з'єднань труб.

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок згасання ультразвуку в ОК та вибір робочої частоти

Амплітуда ультразвукових хвиль зменшується, коли вони поширюються в жорстких тілах, тобто ці хвилі слабшають. Їх загасання визначається двома явищами - поглинанням та розсіюванням - і характеризується коефіцієнтом загасання, який збільшується на високих частотах. Коефіцієнти загасання нормальних хвиль залежать від властивостей матеріалу, розміру зерен, кількість карбідів тощо.

В сучасній дефектоскопії найчастіше використовують частоти 1,8, 2,5 та 5 МГц. Нехай $f=2.5$ МГц. Розраховуємо довжину хвилі в сталі:

$$\lambda_{ст} = \frac{C_{ст}}{f} = 1.292(\text{мм}) \quad (2.1)$$

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

Отже за отриманими даними ми можемо розрахувати розмір мінімального дефекту:

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

звідки

$$d_{мін} = \frac{\lambda_{ок}}{2} = \frac{1.292}{2} = 0.646(\text{мм}), \quad (2.3)$$

$d_{мін}=0.646$ мм – розмір мінімального дефекту.

Довжина хвилі в призмі, при швидкості розповсюдження поздовжніх хвиль в оргсклі $C_{і}=2700$ м/с, дорівнює:

$$\lambda_{орг} = \frac{C_{орг}}{f} = 1.08 (\text{мм}), \quad (2.4)$$

Обираємо перетворювач ЦТС-19, тоді при швидкості звуку $C_{цтс} = 3300$ м/с, довжина хвилі в ньому рівна:

$$\lambda_{цтс} = \frac{C_{цтс}}{f} = 1.32 \text{ (мм)}, \quad (2.5)$$

2.2. Розрахунок кута вводу ультразвукової хвилі в ОК

Контроль ведеться поперечними хвилями, а отже кут падіння, необхідний для отримання бажаної заломленої хвилі може бути обчислений із закону Снеліуса, як показано у рівнянні.

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

де C_{11}, C_{t1} - швидкість поширення поперечної і поздовжньої хвилі в першому середовищі, C_{12}, C_{t2} - швидкість поширення поперечної і поздовжньої хвилі у другому середовищі; α_{12}, α - кути заломлення поздовжньої і поперечної хвилі; β_1, β_t - кути відбиття поздовжньої і поперечної хвилі.

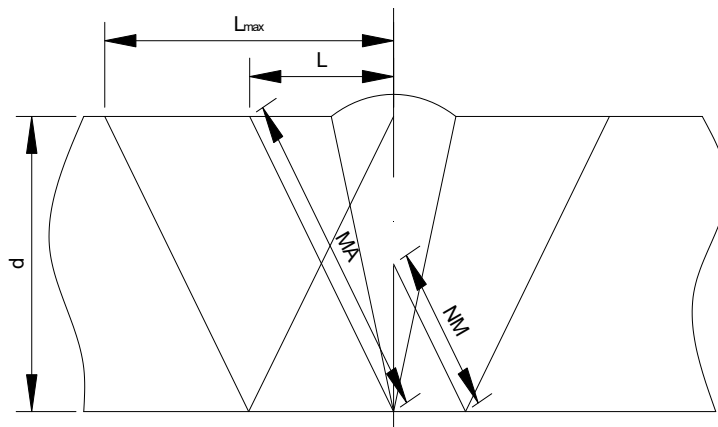


Рис. 2.1 Звуковий шлях променя при похилому введенні ультразвукової хвилі в ОК

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

Для першого і другого критичних кутів справедлива рівність:

$$\sin\beta_{\text{кр1}} = \frac{C_{l1}}{C_{l2}} \quad (2.7)$$

$$\sin\beta_{\text{кр2}} = \frac{C_{l1}}{C_{t2}} \quad (2.8)$$

Поздовжня хвиля в оргсклі поширюється зі швидкістю $C_{l1} = 2670$ м/с, і поперечна хвиля в сталі: $C_{t2}=2670$ м/с.

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

$$\beta_{\text{кр1}} = \arcsin\left(\frac{C_{l1}}{C_{l2}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670}{5900}\right) = 26.9^\circ \quad (2.9)$$

$$\beta_{\text{кр2}} = \arcsin\left(\frac{C_{l1}}{C_{t2}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670}{3230}\right) = 55.5^\circ \quad (2.10)$$

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

$$26,9^\circ < \beta < 55,5^\circ \quad (2.11)$$

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:

$$\beta=46^\circ$$

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

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

$$\alpha = \operatorname{argsin} \left(\frac{\sin \beta \cdot 3230}{2700} \right) = 60^\circ; \quad (2.13)$$

Знаючи ці дані можна визначити довжину проходження хвилі в об'єкті контролю

Оскільки нам відомий кут вводу та товщина ОК $d=20\text{мм}$, можемо розрахувати звуковий шлях:

$$MA = \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{10}{\sin 60^\circ} = 11.5 (\text{мм}); \quad (2.14)$$

Промінь, який вводиться під кутом α , проходить через середину шва, який контролюється. Тоді:

$$NM = \frac{d/2}{\sin 60^\circ} = \frac{5}{\sin 60^\circ} = 5.75 (\text{мм}); \quad (2.15)$$

Так як в нашому випадку датчик є лише випромінювачем, а приймачем виступає інший датчик, то звуковий шлях одноразово відбитого променя до середини шва складає:

$$MK = 11.5 + 5.75 = 17.25 (\text{мм}); \quad (2.16)$$

Звуковий шлях одноразово відбитого променя до валика посилення складає:

$$MZ = 11.5 + 11.5 = 23 (\text{мм}); \quad (2.17)$$

Розраховуємо відстань від точки вводу ультразвуку в ОК до кореню шва:

$$L = M \cos \alpha = 11.5 \cdot \cos 60^\circ = 5.75 \text{ (мм)}; \quad (2.18)$$

Знайдемо максимальну відстань розміщення п'єзоперетворювача:

$$L_{\max} = 2L = 11.5 \text{ (мм)}. \quad (2.19)$$

2.3. Розрахунок коефіцієнту акустичного тракту

Акустичний тракт – це проходження хвилею шляху від випромінюючого датчика до приймаючого.

Формули акустичного тракту визначають ослаблення амплітуди сигналу на цьому шляху. При наявності або відсутності дефектів.

Спочатку будується еквівалентна схема акустичного тракту (рис.2.2)

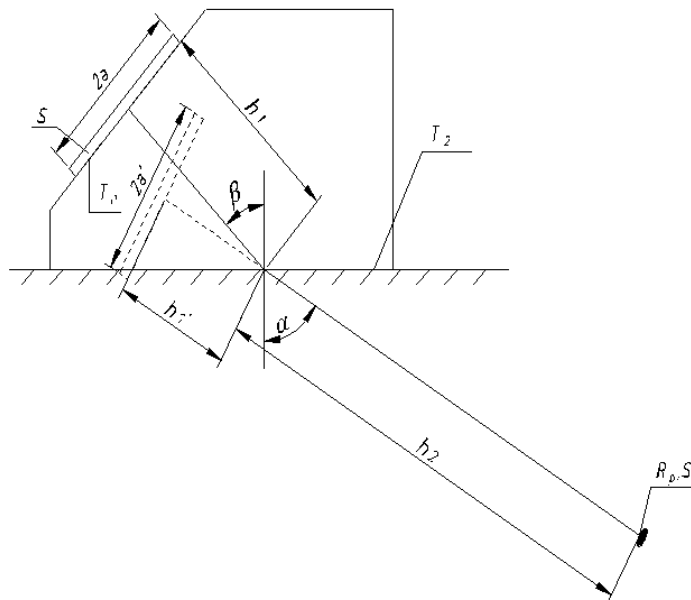


Рис 2.2 Тракт при похилому введенні ультразвукової хвилі в ОК з трансформацією хвиль.

Формула для обчислення акустичного тракту при похилому введенні УЗХ в ОК буде виглядати наступним чином:

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

Площа мінімального дефекту розраховується наступним чином:

$$S' = \frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} = 0.328 (\text{мм}^2) \quad (2.21)$$

Площа ПЕП розраховується за наступною формулою:

$$S = \pi \cdot a_{пеп}^2 = \pi \cdot 6.5^2 = 132.7 (\text{мм}^2) \quad (2.22)$$

Відстань до кореня шва визначається:

$$h_2 = \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{20}{\sin 60^\circ} = 11.5 (\text{мм}) \quad (2.23)$$

Обираємо h_1 шлях проходження променю в призмі:

$$r_{бл} = \frac{a_{пеп}^2}{\lambda_{орг}} = \frac{6.5^2}{0.54} = 78.2 (\text{мм}) \quad (2.24)$$

Виходячи з умови $h_1 < r_{бл}$

приймаємо

$$h_1 = 10 (\text{мм})$$

$$h_1' = h_1 n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = h_1 \frac{c_{l1} \cos \alpha}{c_{t2} \cos \beta} = 10 \frac{2700 \cos 60^\circ}{3230 \cos 46.379^\circ} = 6.058 (\text{мм}) \quad (2.25)$$

Коефіцієнти проходження по інтенсивності на межі поділу двох середовищ визначається наступним чином:

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

На межі поділу ЦГС-оргскло:

$$T_{II} = \frac{4 \cdot 3300 \cdot 7500 \cdot 2700 \cdot 1200}{(3300 \cdot 7500 + 2700 \cdot 1200)^2} = 0.4 \quad (2.27)$$

Значення T_{I2} обираємо виходячи з графіка залежності коефіцієнта проходження при падінні поздовжньої хвилі з оргскла в сталь:

$$T_{I2} = 0.15$$

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

На частоті 2.5 МГц значення $\delta_{рст} = 30 \text{ Нп/м}$

Залежність коефіцієнта загасання в оргсклі лінійна, тоді для частоти 2.5 МГц

$$\delta_{орг} = 30 \text{ Нп/м} \quad (2.28)$$

Коефіцієнт загасання в сталі для значення 2.5 МГц $\delta_{рст} = 5 \text{ Нп/м}$

$R_p = 1$ для повітря

$$K_{AT} = \frac{0.328 \cdot 132.7 \frac{\cos 60}{\cos 46}}{1.292^2 (11.5 + 6.058)^2} \cdot 0.4 \cdot 0.15 \cdot 1 \cdot e^{-2(10 \cdot 30 \cdot 0.001 + 11.5 \cdot 10 \cdot 0.001)} = 1.6 \cdot 10^{-3}; \quad (2.29)$$

2.4. Розрахунок електроакустичного тракту

Ділянку схеми дефектоскопа, на якій відбувається обернення ультразвукових коливань в електричні і навпаки називають електроакустичним трактом. Він складається з п'єзопластини, демпфера, тонких перехідних шарів, електричних коливальних контурів генератора, приймача та шару контактної рідини. Саме резонансна частота ультразвукових коливань, тривалість імпульсу та коефіцієнт перетворення електричної енергії в акустичну визначає електроакустичний тракт.

Напруга прийнятого перетворювачем луно-сигналу визначається як:

$$U_{\text{п}} = U_{\text{в}} K_{\text{АТ}} K_{\text{ПП}} U_{\text{ш}} \quad (2.30)$$

$U_{\text{в}}$ – напруга випромінювання; $U_{\text{п}}$ – прийнята напруга; $K_{\text{ПП}}$ – коефіцієнт подвійного перетворення $K_{\text{ПП}} = 0.15 \dots 0.3$ я приймаю рівним 0.15.

Вважаю співвідношення прийнятої напруги до напруги шуму рівною

$$\frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{ш}}} = 20\text{дБ} \quad (2.31)$$

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

тоді:

$$U_{\text{п}} = U_{\text{ш}} \cdot 20\text{дБ} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 2000\text{мкВ} = 2\text{мВ} \quad (2.32)$$

Маючи ці дані, маємо можливість розрахувати напругу випромінювання:

$$U_B = \frac{U_{II}}{K_{AT} K_{III} U_{III}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15} = 8.3 \text{ В} \quad (2.33)$$

Приймаємо напругу випромінювання рівною 10 В.

2.5. Розрахунок вузлів електричної схеми

2.5.1. Розрахунок генератора зондуєчих імпульсів.

Генератор зондуєчих імпульсів призначений для збудження п'єзоелемента, який в свою чергу генерує ультразвукові коливання в об'єкт контролю.

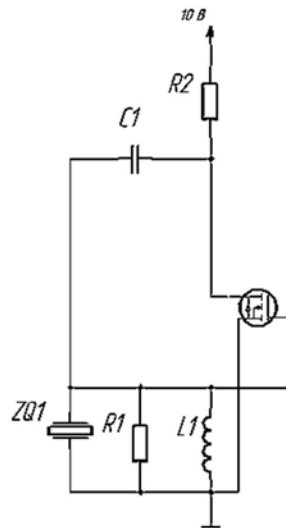


Рис. 2.3. Генератор зондуєчих імпульсів

Використано схему ГЗІ з n-канальним DMOS-польовим транзистором у якості ключа – 2N7000. Перевага у використанні такої схеми у тому, що польовий транзистор у режимі ключа відкритий рівно на час наявності на його затворі додатної напруги певної величини (для 2N7000 від 3 В).

Обираємо згідно з datasheet :

$$C_3 = 4.7 \text{ (мкФ)}$$

$$C_4 = 0.1 \text{ (мкФ)}$$

$$C_2 = 10^3 \text{ (пФ)}$$

Генератор працює наступним чином: при відсутності імпульсу на управляючому електроді SW транзистора VT1, транзистор закритий і в цей час відбувається заряд конденсатора C_1 , до рівня $U_C = +E$. При надходженні імпульсу на управляючий електрод транзистора VT1 він відкривається, і конденсатор C_1 розряджається по контуру, викликаючи при цьому збудження резонансного контуру. При збудженні резонансного контуру, п'єзоелемент генерує акустичні коливання в ОК.

Приймаємо напругу зондуючого імпульсу рівну 30 (мВ). Значення напруги, яке необхідно подавати на генератор ударного збудження, розраховується за формулою:

$$U_B \cong 0.4 \cdot E \quad (2.34)$$

Тому що частково напруга з конденсатора C_1 перерозподіляється між елементами ланцюга.

$$E = \frac{U_B}{0.4} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{0.4} = 75 \text{ (мВ)} \quad (2.35)$$

Для того, щоб можливо було проводити контроль на всю глибину ОК, період заряду конденсатора C_1 має бути не більшим, ніж період слідування імпульсів збудження. Розрахуємо час зарядки конденсатора:

$$\tau_{\text{заряд}} \leq 2 \cdot \frac{h_{\text{ок}}}{C_{\text{ок}}} = 2 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3}}{3230} = 6.19 \cdot 10^{-6} \text{ (с)} = 6.19 \text{ (мкс)} \quad (2.36)$$

Приймаємо: $\tau_{\text{заряд}} = 7 \text{ (мкс)}$.

Для того, щоб процес зарядки виконувався за необхідний час, потрібно розрахувати значення резистора R_2 . Значення ємності C_1 рекомендується приймати $C_1 = 1 \div 10 \text{ (нФ)}$. Призначимо $C_1 = 4 \text{ (нФ)}$.

$$R_2 = \frac{\tau_{\text{заряд}}}{3 \cdot C_1} = \frac{7 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 4 \cdot 10^{-9}} = 0.58 \cdot 10^3 \text{ (Ом)} = 0.6 \text{ (кОм)} \quad (2.37)$$

Повинна виконуватися умова:

$$\tau_{\text{розряд}} \ll \tau_{\text{заряд}} \quad (2.38)$$

Ємність п'єзоперетворювача розраховується за наступною формулою:

$$C_{\text{ПЕП}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{\text{ЦТС}} \cdot \frac{S}{h} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1700 \cdot \frac{50.24 \cdot 10^{-6}}{0.33 \cdot 10^{-3}} = 2.29 \text{ (нФ)} \quad (2.39)$$

де $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ (Ф/м) – електрична постійна; $\varepsilon_{\text{ЦТС}}$ – відносна діелектрична постійна (для ЦТС-19 $\varepsilon_{\text{ЦТС}} = 1700$); S – площа поверхні дискового перетворювача; h – товщина перетворювача.

Тоді загальна ємність:

$$C_{\text{зар}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{пеп}}}{C_1 + C_{\text{пеп}}} = \frac{4 \cdot 2.29}{4 + 2.29} = 1.33 \text{ (нФ)} \quad (2.40)$$

Gate Threshold Voltage ($V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1.0 \text{ mAdc}$)	$V_{GS(th)}$	0.8	3.0	Vdc
Static Drain-Source On-Resistance ($V_{GS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 0.5 \text{ Adc}$) ($V_{GS} = 4.5 \text{ Vdc}, I_D = 75 \text{ mAdc}$)	$r_{DS(on)}$	— —	5.0 6.0	Ohm
Drain-Source On-Voltage ($V_{GS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 0.5 \text{ Adc}$) ($V_{GS} = 4.5 \text{ Vdc}, I_D = 75 \text{ mAdc}$)	$V_{DS(on)}$	— —	2.5 0.45	Vdc

Рис. 2.4. Datasheet транзистора 2N7000

Опір транзистора у відкритому стані 5 (Ом) (Рис.2.4), тоді:

$$\tau_{\text{розряд}} = C_{\text{зар}} \cdot R_{VT1} = 1.33 \cdot 10^{-9} \cdot 5 = 6.6 \cdot 10^{-9} \text{ (с)} = 6.6 \text{ (нс)}, \quad (2.41)$$

що цілком задовольняє умову (2.38).

Робоча частота п'єзодатчика складає 2.5 МГц і відповідно дорівнює:

$$f_p \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_{\text{ПЕП}}}} \quad (2.42)$$

Виражаємо індуктивність котушки L_1 для заданої частоти:

$$L_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_p^2 \cdot C_{\text{ПЕП}}} = \frac{1}{4 \cdot 9.8596 \cdot 6.25 \cdot 10^{12} \cdot 0.72 \cdot 10^{-9}} \quad (2.43)$$

$$= 5.6 \text{ (мкГн)}$$

Тривалість імпульсу збудження перетворювача повинна дорівнювати приблизно півперіоду частоти коливання п'єзопластинки перетворювача, тобто:

$$\tau_{zi} = \frac{1}{2 \cdot f_p} = \frac{1}{2 \cdot 2.5 \cdot 10^6} = 0.2 \cdot 10^{-6} (\text{с}) = 200 (\text{мкс}) \quad (2.44)$$

2.5.2. Розрахунок схеми захисту.

Схема захисту, яка складається з двох діодів (рис 2.5) необхідна для обмеження вхідної напруги при ударному збудженні перетворювача. Діоди VD1, VD2 обираємо однаковими – 1N4148.

Параметри діодів: прямий струм - $I \geq 150$ (мА), $I_{max} \leq 450$ (мА), зворотня напруга – 100 (В) швидкість переключення ≤ 4 (нс). Резистор перед діодним обмежувачем необхідний для обмеження вхідного струму. Розрахуємо за формулою (2.45)

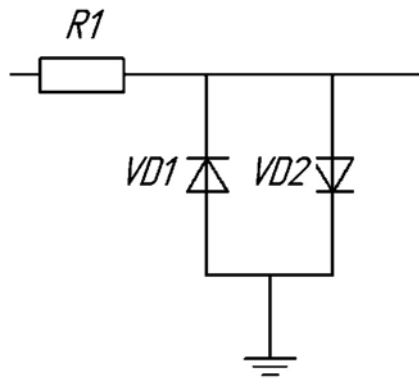


Рис. 2.5. Схема захисту на основі двох діодів

$$R_1 = \frac{U_{\text{вип.мах}}}{I_{\text{мах}}} \quad (2.45)$$

де $I_{\text{мах}}$ – максимальний струм, що можуть пропустити діоди; $U_{\text{вип.мах}}$ – розрахуємо з формули (2.41)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 \cdot h \cdot E \quad (2.46)$$

де h – товщина п'єзоперетворювача, E – для ЦТС-19 дорівнює 3000 (В/мм)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 \cdot 0.33 \cdot 3000 = 297 (\text{В}) \quad (2.47)$$

Розрахуємо R_1 :

$$R_1 = \frac{297}{0.45} = 660 \text{ (Ом)} = 0.6 \text{ (кОм)} \quad (2.48)$$

Використовуємо два однакові діоди 1N4148.

2.5.3. Розрахунок операційного підсилювача.

Для підсилення прийнятого сигналу використаємо підсилювач на базі операційного підсилювача AD8051 (рис. 2.11).

Необхідно підсилити вхідну напругу, щоб напруга не перевищувала 10В, приблизно в діапазоні від 0.1В до 10В. Працювати ОП буде від -15В до 15В, для того щоб можна було отримати на виході ОП максимум 15В.

Розрахуємо максимальний коефіцієнт підсилення для $U_{пр}$.

$$K = \frac{U_{max}}{U_{пр}} = \frac{0.1}{2 \cdot 10^{-3}} = 50 \quad (2.49)$$

U_{max} – максимальна напруга яку повинні отримати на виході ОП.

Приймаємо $K = 50$.

Розрахуємо напругу, яка буде на вихід ОП, для $U_{пр}$.

$$U_{підс} = K \cdot U, \quad (2.50)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

U – напруга яка поступає на вхід ОП.

$$U_{підс} = 50 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 100 \text{ (мВ)} \quad (2.51)$$

Така амплітуда після підсилення повністю задовольняє.

При такому коефіцієнті підсилення достатньо використати тільки 1 каскад підсилення. На вхід поступає сигнал, якій потрібно підсилити, на виході уже підсилений сигнал у 30 разів.

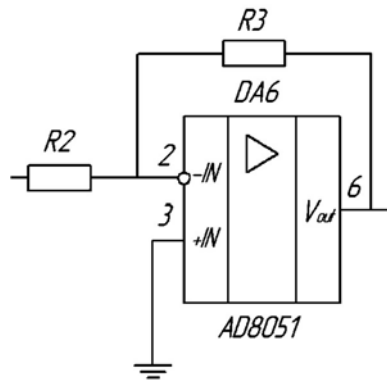


Рис. 2.6. Підсилювач на базі ОП AD8051

Резистори визначають коефіцієнт підсилення:

$$K_U = \frac{R_3}{R_2}, \quad (2.52)$$

де K_U – коефіцієнт підсилення.

Підбираємо $R_3 = 100$ (кОм), $R_2 = 2$ (кОм).

2.5.4. Розрахунок смугового фільтру

Для того, щоб позбутися сигналів завад, необхідно використати смуговий фільтр, який відфільтрує усі зайві частотні гармоніки, що не є частинами інформативного сигналу.

Для того, щоб визначити з смугу пропускання фільтру, необхідно визначити частотну характеристику прийнятого сигналу з п'єзоперетворювача.

Відомо, що модель луна-імпульсного сигналу виглядає:

$$U(t) = A \cdot e^{-(g \cdot w \cdot t)^2} \cdot \sin(w \cdot t) \quad (2.53)$$

де A – амплітуда прийнятого сигналу; g – коефіцієнт швидкості затухання; w – частота перетворювача.

Змоделюємо цей сигнал в програмному середовищі Matlab (рис. 2.7)

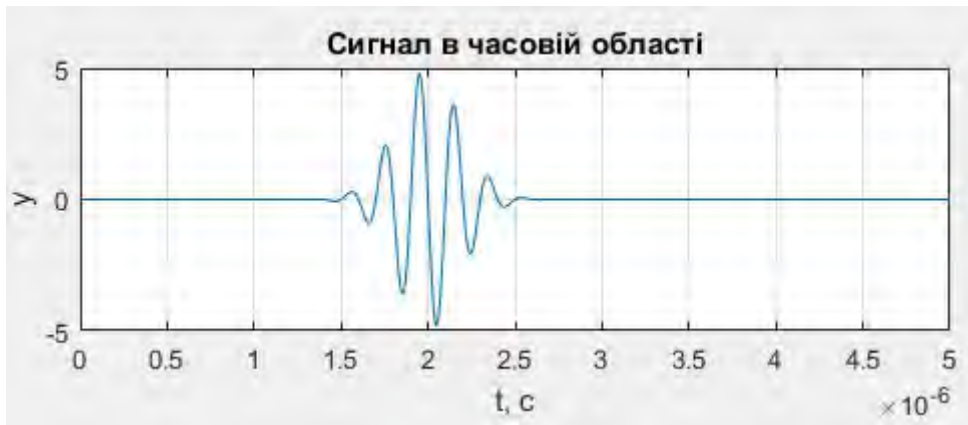


Рис. 2.7. Вигляд змодельованого сигналу луна-імпульсу для $A=4$, (4 коливання):
по вісі абсцис – час, по вісі ординат – амплітуда

Спроекуємо фільтр за допомогою FilterPro фірми Texas Instruments (рис. 2.9).

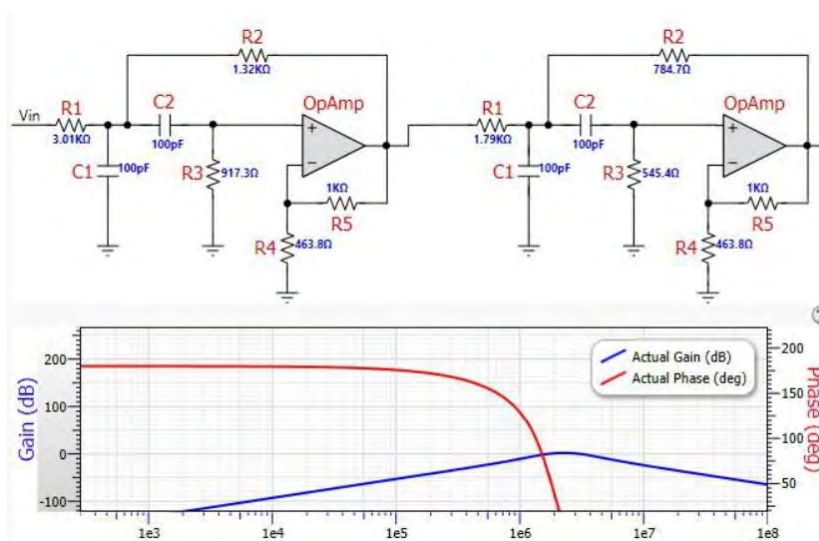


Рис. 2.8 Змодельований двокаскадний смуговий фільтр

2.5.5. Схема часового регулювання чутливості

Реалізуємо схему ЧРЧ на основі розробленої компанією Analog Devices мікросхеми, яка відповідає встановленим вимогам, для використання в контролі зварних з'єднань. Ця схема має децибельний діапазон від 0 до 54 дБ (рис. 2.9, рис. 2.10).

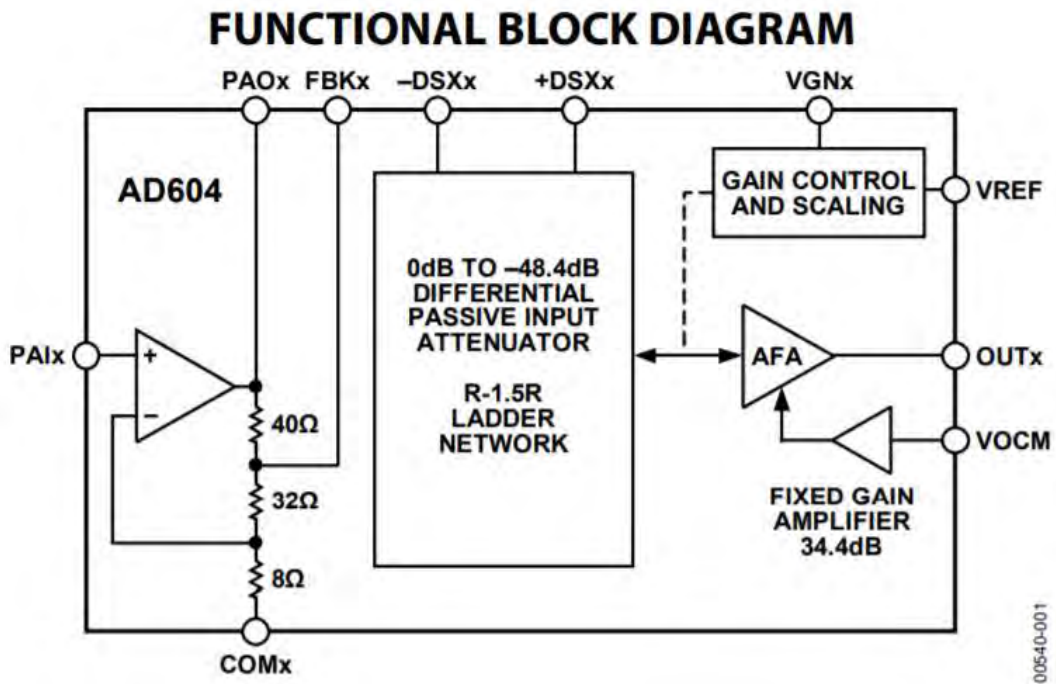


Рис. 2.9 Функціональна діаграма мікросхеми ЧРЧ

На рисунку 2.10 показана конфігурація виводів обраної мікросхеми.

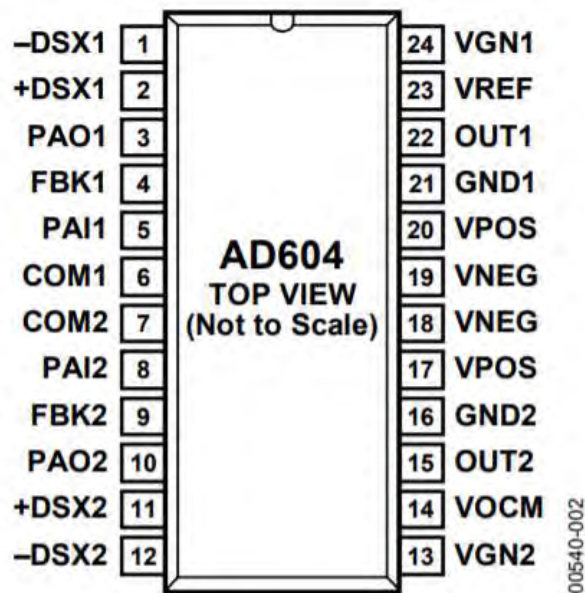


Рис. 2.10 Конфігурація виводів

Виробник NVE Corp / Sensor Products

Напруга живлення 4.5 V ~ 30 V

Струм вихідний 4.5mA

Струм - вихідний (макс.) 20mA

Тип виходу Digital, Open Collector

Робоча температура -40 ° C ~ 125 ° C

Корпус 8-MSOP, Micro8™, 8-uMAX, 8-uSOP,

2.5.6. Розрахунок та вибір АЦП

Вибір АЦП проводимо виходячи з трьох умов:

- а) Частота дискретизації повинна бути як мінімум у 2 рази вищою за максимальну частоту вхідного сигналу;
- б) Розрядність АЦП повинна задовольняти вимогам точності;
- в) Вхідний сигнал повинен буди в межах динамічного діапазону.

Тобто при забезпеченні двох вибірок при максимальній частоті прийнятого сигналу 5 (МГц) необхідно обрати частоту дискретизації $f_{д} \geq 14$ (МГц).

Розрахуємо мінімальне значення сигналу на вході АЦП з урахуванням коефіцієнта підсилення. $x_{min} = 2\text{мВ}$, $K_{п} = 50$, $U_{\text{АЦП}} = 3.3\text{В}$:

$$X_{min} = x_{min} * K_{п} = 50 * 2 * 10^{-3} = 100\text{мВ} \quad (2.54)$$

Розрахуємо крок квантування з урахуванням похибки яка повинна не перевищувати $\delta_{xm} = 1\%$.

$$Q = \frac{\delta_{xm} * X_{min}}{100\%} = \frac{1 * 0.1}{100} = 1\text{мВ} \quad (2.55)$$

Розрахуємо максимальну розрядність АЦП:

$$q_{\text{ацп}} = \left[\log_2 \left(\frac{U_{\text{ацп}}}{Q} \right) \right] + 1 = \left[\log_2 \left(\frac{3.3}{1 * 10^{-3}} \right) \right] + 1 = 12.28 + 1 = 11.96 \quad (2.56)$$

Розрядність обираємо 12, частоту дискритизації від 35МГц. Згідно розрахунків обираю АЦП MAX1206 з частотою дискритизації 40 МГц.

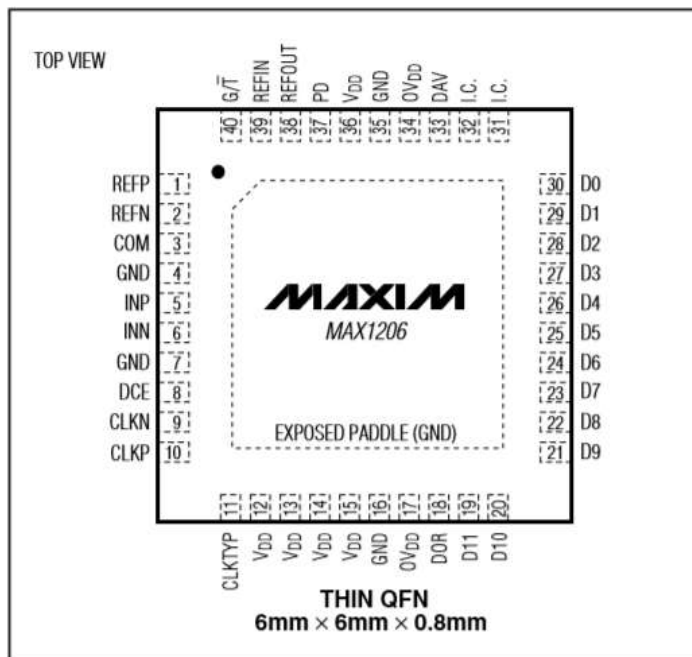


Рис. 2.11 Зовнішній вигляд мікросхеми АЦП MAX1206

2.5.7. Розрахунок та вибір пам'яті

Характерною особливістю пам'яті FIFO в порівнянні зі звичайною пам'яттю RAM або ROM є відсутність адресних ліній. Базова архітектура FIFO представлена у вигляді масиву RAM ARRAY з переміщуваними при зчитуванні й запису покажчиками початку (READ POINTER) і кінця (WRITE POINTER) вільного простору пам'яті (рис.2.12).

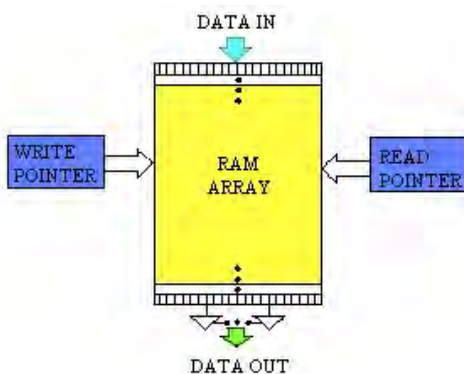


Рис. 2.12 Базова архітектура пам'яті FIFO

Іншою властивістю пам'яті FIFO є наявність окремого порту для читання і окремого порту для запису даних. Завдяки наявності показчиків і двухпортової структури пам'яті FIFO, строби зчитування і запису даних можуть надходити на однойменні входи пам'яті в довільному порядку. І, якщо в пам'яті RAM операції читання і запису даних виконуються строго послідовно в часі, то в пам'яті FIFO допускається виконання запису і зчитування в незалежних одна від одної асинхронних режимах.

На рисунку 2.13 показаний зовнішній вигляд мікросхеми FIFO.

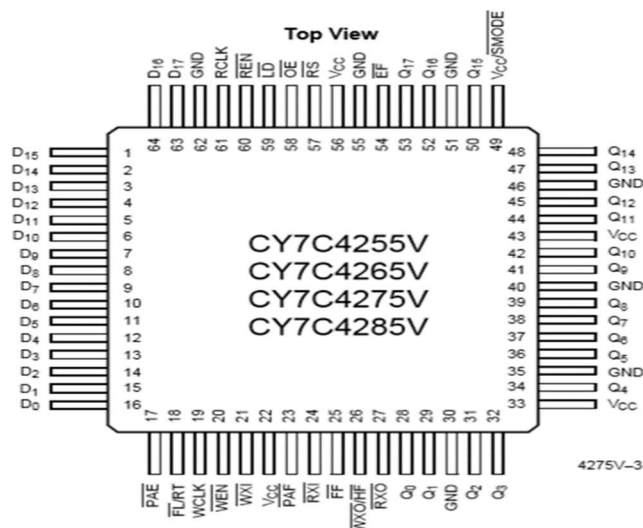


Рис. 2.13 FIFO зовнішній вигляд мікросхеми

Розрахуємо час затримки між зондувальним і донним імпульсами з формули:

$$h_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{ок}} \cdot \tau}{2} \quad (2.57)$$

Виразимо час затримки τ :

$$\tau = \frac{2 \cdot h_{\text{ок}}}{C_{\text{ок}}} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{5900} = 33.9 \cdot 10^{-6} \text{ (с)} = 34 \text{ (мкс)} \quad (2.58)$$

Розрахуємо кількість вибірок $f_{\text{ацп}} = 40 \cdot 10^6 \text{ Гц}$:

$$N_B = \frac{\tau}{T_{\text{ацп}}} = \tau \cdot f_{\text{ацп}} = 34 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 10^6 = 1360 \quad (2.59)$$

Тоді розрахуємо об'єм даних:

$$\Delta(\text{б}) = 1360 \cdot 16 = 21760 \text{ біт} = 2720 \text{ байт} \quad (2.60)$$

Приймаємо $\Delta(\text{б}) = 128 \text{ Кб}$

Обираємо мікросхему CY7C4285V (рис.2.14)

Основні технічні характеристики мікросхеми:

Напруга живлення 3.3 (В);

Об'єм пам'яті 128 Кб;

Високошвидкісна, малопотужна, FIFO пам'ять;

0,35-мкм CMOS для оптимальної швидкості та потужності;

Висока швидкість роботи: 100 МГц (10 нс час читання/цикл запису).

2.5.8. Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер або однокристална мікроЕОМ – виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші).

STM32F102 (рис. 2.14) - продовження свого сімейства мікроконтролерів STM32 під назвою Connectivity Line. Контролери побудовані на базі ядра Cortex-M3 (ARM7M) і працюють на частоті до 48 МГц. Cortex-M3 - це той процесор, який дозволяє дуже ефективно створювати портативні пристрої, медичне обладнання, прилади для промислового управління, а також пристрої з високою обчислювальною навантаженням, з якої процесор добре справляється завдяки новим DSP-інструкціям.

Вбудований в ядро Cortex-M3 системний таймер дозволяє створювати додатки, які можна легко переносити з одної апаратної платформи на іншу (якщо та теж побудована на контролері з Cortex-M3). Особливо це актуально в задачах, де використовується операційна система реального часу. Вбудований контролер

переривань є також стандартним модулем процесора і не змінюється від одного виробника мікросхем до іншого.



Рис.2.14 Зовнішній вигляд мікросхеми STM 32

На рисунку 2.15 показана внутрішня структура мікросхеми STM 32.

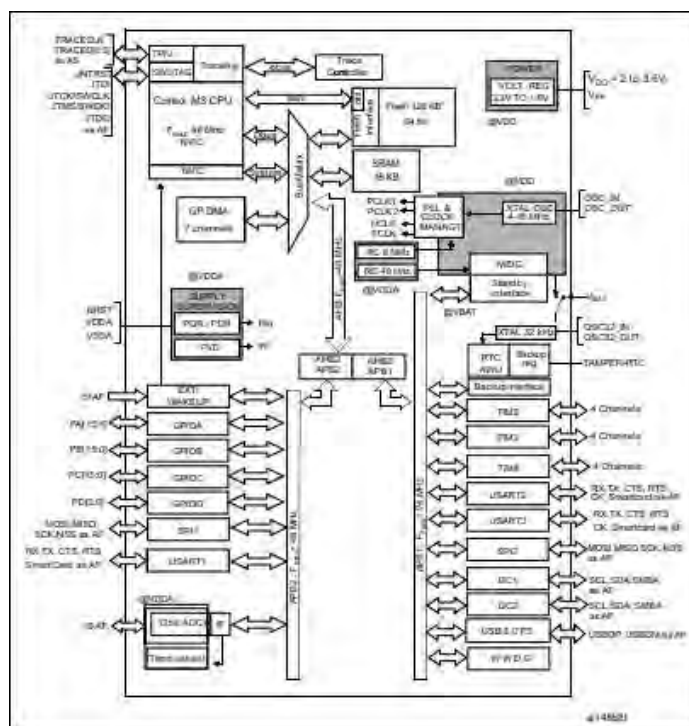


Рис. 2.15 Внутрішня структура мікросхеми STM32

2.5.9. Вибір дисплея

Для виведення вимірної величини потрібен дисплей, обираю TFT LCD для Arduino Mega 2560 (рис. 2.16)



Рис. 2.16 Модуль LCD дисплея

Тип дисплея: 3.5" TFT LCD Модуль

Тип контролеру: ILI9486

Роздільна здатність: RGB 480x320 пк

Підсвітка: 6 ультра ярих белых светодиода

Інтерфейс: паралельний 16-bit

Розміри: 89.9 x 54.25 мм

2.5.10. Вибір кнопок

Для керування приладом потрібні кнопки, для цього використая матрицю з тактових кнопок 0650НІМ-130G-G 4x4 (Рис. 2.17).



Рис. 2.17 Кнопка 0650НІМ-130G-G 4x4

2.6 Висновки до розділу

В цьому розділі було підібрано робочу частоту датчика 2.5 МГц, розраховано п'єзоелектричний перетворювач та згасання ультразвукової хвилі в об'єкті контролю. За допомогою закону Снелліуса було визначено кут вводу ультразвукової хвилі в об'єкт контролю. Використовуючі всі вище перераховані дані було розраховано коефіцієнт акустичного тракту та електроакустичний тракт. Було проведено розрахунок вузлів схеми електричної, а саме:

- розрахунок ГЗІ
- розрахунок операційного підсилювача
- розрахунок смугового фільтра
- підбір схеми ЧРЧ
- розрахунок та вибір АЦП
- підбір пам'яті
- підбір мікроконтролеру

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ

3.1. Моделювання

У даній роботі ми будемо використовувати так звану Ж-образну схему розташування перетворювачів (рис. 3.1). Зазвичай, для контролю зварного шва використовують луно-імпульсний метод (з одним перетворювачем) або метод проходження (з двома перетворювачами). Датчики тримають в руках та завдяки легким поворотам перетворювача «прозвучують» зварний шов та шукають можливі дефекти. Отож, щоб процес контролю зварного шва зробити простішим та пришвидшити його, ми розробили Ж-образну схему розташування перетворювачів.

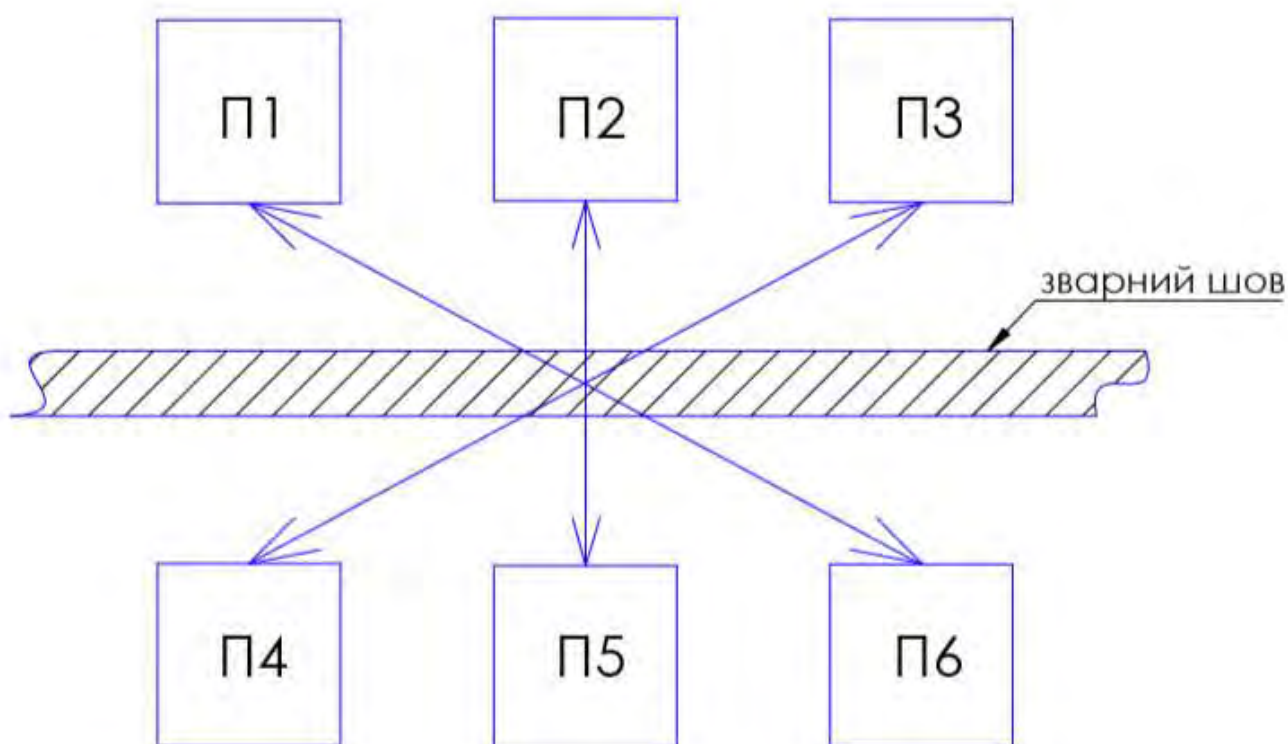


Рис. 3.1. Ж-образна схема

П1, П2, ...П6 – ультразвукові перетворювачі

Датчики П1 – П6, П2 – П5 та П3 – П4 комутовані між собою та працюють за принципом «прозвучування». П1 випромінює ультразвук, а П6 приймає його і тим самим дає інформацію про наявність можливих дефектів.

Щоб контроль відбувався з мінімальною похибкою та максимальною точністю була розроблена автоматизована система для знаходження дефектів у зварному шві.

На рисунку 3.2 показана 3D-модель розробленої конструкції.



Рис. 3.2 3D-модель розробленої конструкції

Конструкція складається з двох валів, на яких закріплені перетворювачі, за допомогою спеціальних тримачів, обладнаних пружинами для більш щільного контакту ПЕП з поверхнею об'єкта контролю. Вали з'єднані між собою рамами, що забезпечить надійність даної конструкції. До кожного з валів під'єднана ще одна конструкція, на якій закріплені колеса, за допомогою яких вся система буде їздити по ОК. Рух автоматизованої системи для контролю зварних з'єднань буде забезпечуватись двигуном з гвинтовою передачею та фіксуватись в одному положенні за допомогою напрямної.

3.2. Конструкція ПЕП

Корпус нашого перетворювача виготовлений з металу. В середині корпусу розташована призма, на якій закріплений п'єзоелемент. Дроти, через які подається напруга на збуджуючий елемент припаяні до роз'єму типу Lemo.

Перетворювач було змодельовано у середовищі SolidWorks (рис. 3.2).

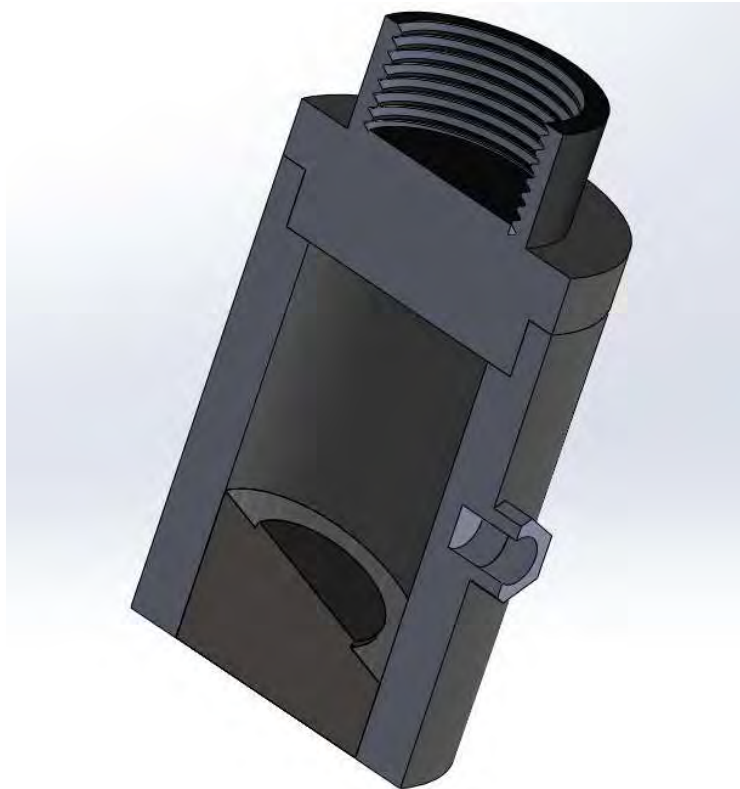


Рис. 3.2. Похилий ПЕП

3.3. Розрахунок та підбір двигуна.

$$N = 50 \text{ мм/с}; \quad (3. 1)$$

$$P = 30 \text{ Н}; \quad (3. 2)$$

З умови міцності розрахуємо мінімальний діаметр гвинтової передачі:

$$d_{\text{ГВ.}min} \geq \sqrt{\frac{4P\varphi}{\pi[\sigma]}} \quad (3.3)$$

де $\varphi = 1.25$, коефіцієнт, що враховує деформацію кручення.

$$[\sigma] = 125 \text{ МПа} \quad (3.4)$$

$$d_{\text{ГВ.}min} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 30 \cdot 1.25}{3.14 \cdot 125}} \approx 0.4 \text{ (мм)} \quad (3.5)$$

Вибираємо $d_{\text{ГВ.}} = 16 \text{ мм}$

$p = 5 \text{ мм}$ – крок різі, $k = 2$ – кількість заходів;

Розрахуємо хід різі h :

$$h = p \cdot k = 5 \cdot 2 = 10 \text{ (мм)} \quad (3.6)$$

Частота обертання гвинта:

$$n_{\text{ГВ.}} = \frac{60 \cdot V_{\text{вих.}}}{10} = \frac{60 \cdot 50}{10} = 300 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}} \right) \quad (3.7)$$

Кутова швидкість обертання:

$$\omega_{\text{ГВ.}} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3.14 \cdot 300}{30} = 31.4 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right) \quad (3.8)$$

Обертовий момент валу гвинта визначається за формулою:

$$T_{\text{ГВ.}} = \frac{P \cdot d_{\text{ГВ.}}}{2} \cdot \lg(\lambda + \rho) \quad (3.9)$$

$$\lambda = \arctg\left(\frac{h}{\pi d_{\text{ГВ.}}}\right) - \text{кут підйому} \quad (3.10)$$

$$\rho = 4 \dots 6^\circ - \text{кут тертя} \quad (3.11)$$

$$\lambda = \arctg\left(\frac{10}{3.14 \cdot 16}\right) = \arctg 0.2 \approx 11.3^\circ \quad (3.12)$$

$$T_{\text{ГВ.}} = \frac{30 \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \lg(11.3 + 5) \approx 0.33 \text{ (кг} \cdot \text{с} \cdot \text{см)} \quad (3.13)$$

Двигун:

$$N_{\text{Вих.}} = T_{\text{ГВ.}} \cdot \omega_{\text{ГВ.}} = 0.33 \cdot 31.4 = 1.03 \text{ (Вт)} \quad (3.14)$$

$$N_{\text{дв.}} = 1.03 \cdot 1.4 = 1.5 \text{ (Вт)} \quad (3.15)$$

Отже за допомогою отриманих розрахунків обираємо двигун FL42STH33-0316A.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики двигуна FL42STH33-0316A.

Шаг, град	1,8
Тип	Шаговий двигун
Вал	1 Вал
Розмір Фланця	NEMA 17 (42 мм)
Струм / фаза, А	0.31
Крутний момент, Нм	0.1569
Опір / фаза, Ом	38.5
J ротора, кг-м ²	0.0000035
Кількість виводів	6
Довжина, мм	34
D Валу, мм	5
Вага, кг	0.22
Виробник	Cw-motor

На рисунку 3.3 показаний зовнішній вигляд двигуна FL42STH33-0316A.



Рис. 3.3 Двигун FL42STH33-0316A

На рисунку 3.4 показані габаритні розміри двигуна FL42STH33-0316A.

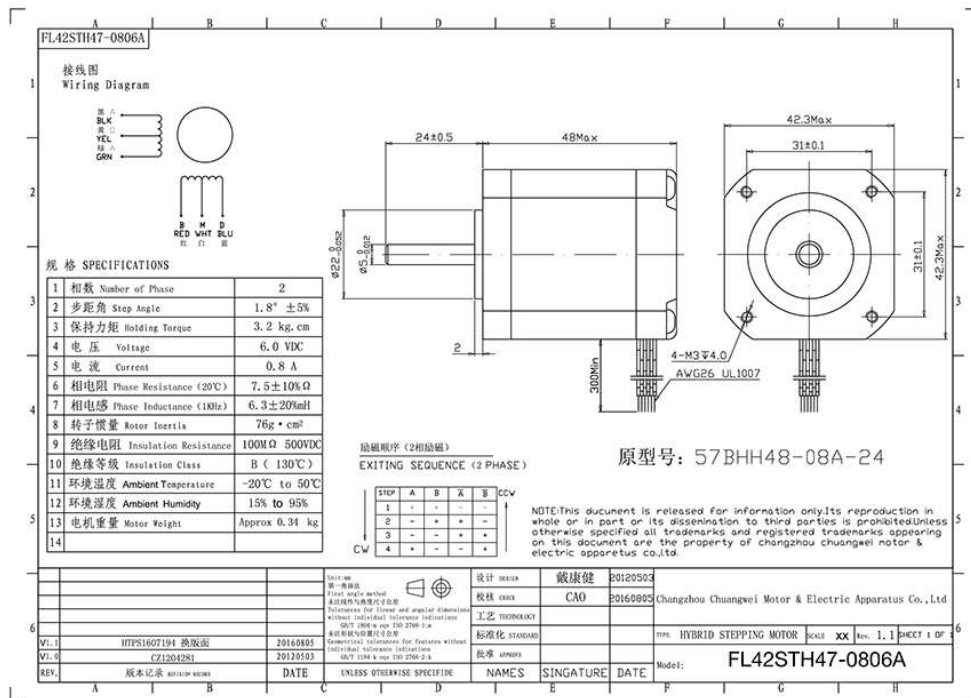


Рис. 3.4 Габаритні розміри двигуна FL42STH33-0316A

Кроковий двигун - це безщітковий електродвигун постійного струму, який розділяє повне обертання на ряд рівних кроків.

Існує три основні типи крокових двигунів:

1. Постійні магнітні
2. Змінні крокові
3. Гібридні синхронні

Переваги:

- Досягнута низька вартість контролю
- Високий крутний момент при запуску і низькі швидкості
- Міцність
- Простота конструкції
- Може працювати в системі управління з відкритим циклом
- Низькі витрати
- Менша ймовірність застою або ковзання
- Працюватиме в будь-якому середовищі

- Може використовуватися в робототехніці в широких масштабах.
- Висока надійність
- Кут обертання двигуна пропорційний вхідному імпульсу.
- Мотор має повний обертовий момент у спокої (якщо обмотки під напругою)
- Точне позиціонування та повторюваність руху, оскільки хороші крокові двигуни мають точність 3–5% кроку, і ця помилка не є сукупною від одного кроку до іншого.
- Відмінна реакція на пуск / зупинку / назад.
- Дуже надійний, оскільки в моторі немає контактних щіток. Тому термін служби мотора просто залежить від терміну експлуатації підшипника.
- Відповідь двигунів на цифрові вхідні імпульси забезпечує управління з відкритим контуром, що робить двигун більш простим і дешевшим для управління.
- Можна досягти дуже низькошвидкісного синхронного обертання з навантаженням, яке безпосередньо з'єднане з валом.
- Широкий діапазон швидкостей обертання може бути реалізований, оскільки швидкість пропорційна частоті вхідних імпульсів.

3.4 Висновки до розділу

В цьому розділі було проведено моделювання конструкції закріплення перетворювачів на об'єкті контролю та сам датчик. Обрана Ж-образна схема контролю зварних з'єднань труб. Моделювання датчика та конструкції проводилось в середовищі SolidWorks. Була описана будова перетворювача. Обрана гвинтова передача, за допомогою якої буде забезпечуватись рух нашої систему по ОК, а тому був розрахований та підібраний двигун FL42STH33-0316A з вказаними у розділі характеристиками.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБ»

4.1. Опис ідеї проекту

В основу ідеї стартап-проекту покладено систему ультразвукового неруйнівного контролю, яка відрізняється від наявних на ринку методом закріплення перетворювачів на об'єкті контролю, що підвищує вірогідність контролю та збільшує можливість відшукування дефектів різного типу або розташованих під різним кутом. Дана система може бути застосована для контролю виробів широкого спектру, хоча основний об'єкт контролю, на який вона орієнтована – труби великого діаметру (зварні з'єднання).

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована ультразвукова система контролю зварних з'єднань труб	Контроль труб великого діаметру.	Точність знаходження дефектів
		Автоматизована система
		Надійність

Так як на ринку наявно багато приладів аналогів (конкурентів), то є доцільним провести аналіз переваг товару порівняно з ними:

- З'ясуємо переваги технічних та економічних властивостей та характеристик товару.
- З'ясуємо перелік конкурентів або товарів-аналогів, які вже є наявні на ринку.
- Порівняємо показники, тобто прилад є кращим, таким ж самим (аналогічним) або прилад є слабкішим.

Конкурент 1 – Ультразвуковий дефектоскоп TVP128 (Eclipse Scientific)

Конкурент 2 – Ультразвуковий дефектоскоп АРМС-МГ4

Конкурент 3 – Ультразвуковий дефектоскоп Olympus OmniScan MX2

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1	Вартість	170000	200000	110000	280000	-	-	+
2	Мобільність	+	-	-	-	-	+	-
3	Точність	+	+	-	+	-	-	+
4	Остаточний діагноз	Попередній	Остаточний	Остаточний	Остаточний	+	-	-
5	Торгова марка	Немає	+	+	+	+	-	-

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі проведемо аудит технологій, це дозволить дізнатись як можна реалізувати ідею створення проекту. Візьмемо до уваги дві основні технології: це 3д друк + ЧПУ які почали активно розвиватись близько 10 років тому і не є дорогими. Інша технологія це гуртове замовлення виготовлення по нашим кресленням і розробкам на підприємствах які надають такі послуги.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматизована ультразвукова система контролю зварних	Виготовлення на замовлення підприємствах	Наявна	Недоступна
2	з'єднань труб	Самостійне виготовлення	Наявна	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Оптимальною буде технологія виготовлення даного приладу самостійно, за допомогою 3D-принтера.

Підсумком цього підрозділу є те, що дану ідею можна реалізувати самостійно, використавши вже наявні на ринку технології, наприклад за допомогою 3D-принтера.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В цьому підрозділі буде проведено аналіз ринкових можливостей та загроз, які можуть виникнути під час впровадження проекту. Визначення ринкових можливостей дозволить спланувати напрям розвитку, визначити потреби потенційних клієнтів та оцінити наявні пропозиції конкурентів.

Проект повинен мати певну групу людей (виконавців), будуть забезпечувати розвиток та підтримку компанії, тобто головних гравців. Загальний обсяг продаж – попередня оцінка прибутку, яку зможе принести наша компанія. Аналіз ринку — комплекс дій, спрямованих на вивчення усіх факторів, умов, ситуацій, які впливають на стан і розвиток ринку, на зміни його обсягів, структури, масштабів. Аналіз ринку проводиться з метою одержання об'єктивної інформації про реальну ситуацію на ринку, виявлення та оцінки сили впливу основних чинників. Обмеження для входу – можливі перешкоди, які можуть виникнути під час запуску продукту на ринок. Вимоги до стандартизації та сертифікації – певні вимоги, яких потрібно дотримуватись під час запуску продукту (особливо стосується таких товарів, як наша автоматизована система, за рахунок її особливостей та унікальностей). Середня норма рентабельності представляє прибутковість проекту як відношення між середньорічними надходженнями від його реалізації і величиною початкових інвестицій.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомий
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає

5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка приладу на стандартних зразках, для підтвердження точності контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

Отже, в результаті цього аналізу ми можемо зробити висновок, що ринок зростає та наш продукт є актуальним.

Встановимо потенційних клієнтів, яким можна буде запропонувати даний прилад (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Прилад має найкраще співвідношення ціна-якість та найкращу точність сканування	Науковці, виробництва.	Орієнтація на відносно недорогі універсальні напівавтоматичні засоби неруйнівного контролю	Простота експлуатації, висока точність, розумна ціна та якісне обслуговування

В таблиці було визначено вимоги клієнтів до даного продукту, основні відмінності у поведінці потенційних цільових груп клієнтів та фактори, які формують їх поведінку відносно продукту.

При застосуванні технологій такого типу, як даний проект виникають деякі загрози. Для того, щоб уникнути можливих проблем потрібно використовувати якісне обладнання, завчасно проводити технічне обслуговування та працювати з приладом повинні лише висококваліфіковані працівники.

За рахунок того, що дані прилади мають високу ціну, вони не є поширеними, тому виникає ще одна проблема вводу товару на ринок. Саме тому ціна даного проекту не є дуже високою, якщо порівняти з аналогами, що повинно сприяти кращому входженні продукту до ринку.

Проведемо аналіз факторів загроз та можливостей при виведенні товару на ринок (табл. 4.6 - 4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Поява на ринку іноземних компаній конкурентів	Вивчення продукту-конкурента та вдосконалення свого
2	Інфляція	Нестабільність курсу гривні, через що можуть зменшитись продажі	Реалізація продукту в стабільнішій валюті та слідкування за ситуацією в країні
3	Дії країни-агресора на сході	Може вплинути на коло потенційних покупців	Знаходження клієнтів з інших країн, вихід на міжнародний ринок
4	Постачання	Проблема з фірмами постачальниками	Заміна постачальника або шукати альтернативу
5	Технічний	Збої в програмі в зв'язку з неправильним налаштуванням	Спрощення алгоритмів налаштування або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

У таблиці 4.6 було проведено аналіз можливих загроз, які можуть виникнути під час впровадження товару на ринок, а також було представлено деякі шляхи вирішення загроз або шляхи, за допомогою яких можна звести ці загрози до мінімуму.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2	Попит	Хороші темпи зростання ринку	Збільшення продажів і отже прибутків компанії
3	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту

В цій таблиці було визначено можливості, які сприяють введенню продукту на ринок та плюси, які може отримати компанія завдяки цим можливостям.

4.4. Аналіз пропозицій ринку

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції Олігополія	На ринку засобів неруйнівного контролю існують декілька великих гравців.	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
2. Рівень конкурентної боротьби Локальний	Конкуренція спостерігається в межах країни.	Намагання вдосконалення продукту та спроби вийти на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою Міжгалузева	Конкуренція є тільки між представниками галузі неруйнівного контролю	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту
4. Конкуренція за видом товарів	Конкуренція існує в межах кожного окремого методу контролю (ультразвуковий, вихрострумний тощо.)	Реклама для демонстрування переваг
5. За характером конкурентних переваг Нецінова	Основним критерієм, який визначає системи контролю, які відносяться до однієї галузі є достовірність контролю	Покращення свого продукту та зменшення ціни відносно компаній-конкурентів
6. За інтенсивністю	Важливими є характеристики продукту, а не конкретний виробник	Покращення характеристик системи.

У таблиці було проаналізовано ринок збуту для нашого товару та визначили основні риси конкуренції.

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером приведений в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Існує 3 прямих конкурентів, які надають схожі послуги	Іноземні компанії, які можуть увійти на наш ринок. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Деталі та знаряддя постачаються через інтернет. Концентрація постачальників Значення розміру поставок	Клієнтами є різні промислові підприємства та заводи. Система інформації. Прибутки. Контроль якості.	Компанія має сильну пропозицію, високу якість та надійність якої аналоги не можуть забезпечити
Висновки:	Проводити аналіз конкурентних пропозицій, працювати над підвищенням якості та надійності	Високий ризик входу нових гравців, адже вхідні бар'єри є не дуже високими. На даний момент потенційних конкурентів немає	Так як конкуренція на ринку постачальників дуже велика – вони не впливають на ринок.	Клієнти потребують невисоких цін та високої якості. Отже для виконання їх потреб потрібно покращувати товар не підвищуючи ціну.	Підтримувати хороші позиції на ринку та конкурентну перевагу, розробляти нові види товарів

Отже, проаналізувавши таблицю 4.9 можна зробити висновок, що можливість роботи на ринку є. Також було визначено характеристики, якими повинен володіти наш товар, щоб бути конкурентоспроможним.

4.5. Фактори конкурентоспроможності

На основі таких таблиць, як 4.2, 4.5-4.7 визначимо фактори конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Велика кількість постачальників	Своєчасна доставка продукту
2	Вартість	Зменшення вартості за рахунок виготовлення деталей на 3D-принтері
3	Мобільність	Невелика вага та невеликі габаритні розміри дають змогу переміщати систему.

4	Висока якість	Висока якість продукту яка дозволяє клієнту бути впевненим в своїй результататах досліджень
---	---------------	---

В таблиці 4.10 було наведено фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

За допомогою визначених факторів конкурентоспроможності, наведених в таблиці 4.10 проведемо аналіз сильних та слабких сторін нашого проекту.

Таблиця 4.11. Порівняння сильних та слабких сторін стартап-проекту.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з («система контролю зварних з'єднань труб»)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Велика кількість постачальників	12						v	
2	Вартість	15				v			
3	Мобільність	17	v						
4	Висока якість	16		v					

Користуючись даними, наведеними в таблицях 4.10 та 4.11 можна сказати, що даний проект є доволі конкурентоспроможним. Основною перевагою системи є висока якість та точність.

4.7. SWOT-аналіз стартап-проекту

Проведемо SWOT-аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: За наявності патентів споживач впевнений в якості отриманого продукту. За рахунок хорошої підтримки ми закріплюємо свої позиції на ринку. Завдяки високій якості продукту приваблюються нові клієнти.</p>	<p>Слабкі сторони: Так як на ринку багато постачальників, у клієнтів багатий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту і збільшувати кількість його постачальників. За рахунок високої ціни клієнти обирають більш дешевий продукт, що призводить до втрати потенційного заробітку.</p>
--	--

<p>Можливості:</p> <p>Науково-технічні</p> <p>Попит</p> <p>Економічні</p> <p>Політико правові</p> <p>Екологія</p> <p>1. Вдосконалення продукту через впровадження нових технологій;</p> <p>2. Збільшення продаж;</p> <p>3. Отримання державних замовлень на отримання послуг;</p> <p>4. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників;</p> <p>5. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги.</p>	<p>Загрози:</p> <p>1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку.</p> <p>2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм.</p> <p>3. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу;</p> <p>4. Втрата потенційних клієнтів через недостатню технічну підтримку;</p> <p>5. Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.</p>
---	--

В таблиці 4.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

4.8. Альтернативи ринкової поведінки

Розробимо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок. Та проаналізуємо визначені альтернативи з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
-------	--	--------------------------------	-------------------

1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1,5 роки
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	1 рік
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.9. Розроблення ринкової стратегії проекту

Здійснимо опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Висока	90%	80%	Середня
2	Виробництва	Висока	80%	75%	Середня
Які цільові групи обрано: всі					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою ультразвукову систему для контролю зварних з'єднань труб та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію зростання маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Визначимо базову стратегію розвитку проекту (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за	Диференційовани й маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні	Стратегія диференціації

	рахунок ринкових можливостей		споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	
--	------------------------------	--	---	--

В таблиці 4.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку.

Визначимо стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, не буде. Буде утворено унікальну продукцію	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці 4.16 проводимо аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробимо стратегію позиціонування (табл. 4.17). що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником.

В даній таблиці формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торгівельний проект.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

4.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.18 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Мобільність	Можливість швидкого переміщення системи для експрес контролю або попередньої діагностики.	Малогабаритна, не важка конструкція

Результатом аналізу даної таблиці є перелік ключових переваг нашого товару перед конкурентами, а також переваги які потрібно ще створити.

Розробимо трьохрівневу маркетингову модель товару: уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована ультразвукова система для контролю бурильних труб Можна виділити наступні вигоди використання: Мобільність; Підвищення швидкодії.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3.Досконалість виробничого виконання (Досконалий дизайн)	Нм	Тл

	4.Вартість обслуговування (Низька системи та її обслуговування)	Нм	Вр
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо Розробка за стандартами, тестування		
	Пакування коробка		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару УЗ система контролю зварних з'єднань труб		
III. Товар із підкріпленням	До продажу Гарантія, доставка		
	Після продажу Після продажне обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: свідоцтво на авторське право			

В таблиці 4.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	100-350 тис. грн	~250000грн	Високий	100000/150000 грн

В таблиці 4.20 проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буду встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Визначимо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21):

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	По одиночні замовлення Продаж в роздріб	Прямий продаж клієнтам продукції	висока	Проведення збуту власними силами

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму з виробником та реалізації продукту через прямий продаж.

Розробим концепцію маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Гарантія якості Найсучасніші технології	Тематичні журнали, Інтернет	Ціна - якість Проведення виставок	Акцентувати увагу на якісний товар за помірними цінами, Показати, що товар затребуваний для сучасного ринку.	Ціна-якість

Результатом даного підpunkту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

4.11 Висновки до розділу

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що у даного проекту на даний момент є хороша можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить

високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів.

Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет і для якогось одного сегменту ринку, а тільки після закріплення на ринку вже починати шукати клієнтів в інших сегментах і пропонувати їм наш продукт. Також можна зробити висновок що для розширення ринку подальша імплементація проекту є дуже доцільною

Надалі є можливості вивести проект на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що прилад даного типу має меншу вартість та невисоке енергоспоживання за рахунок використання ортогонального методу виміру, який дозволяє реалізувати прилад з невисокою вартістю, в порівнянні з існуючими приладами, але точність якого не поступається серійним рішенням.

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті показано теоретичні відомості про основні види зварних з'єднань, були проаналізовані типи дефектів, які можуть виникати в з'єднаннях та методи, якими вони контролюються.

В ході виконання проєкту була розроблена автоматизована ультразвукова система для контролю зварних з'єднань труб, за допомогою якої можна значно полегшити процес контролю та збільшити його вірогідність. На основі вже існуючих перетворювачів, був розроблений ПЕП, який кріпиться до спеціальної конструкції, що є частиною автоматизованої системи.

У середовищі SolidWorks було змодульовано конструкцію закріплення датчиків та сам датчик.

Також було розроблено структурну та функціональну схеми, на основі яких потім електричну принципову, до якої було підібрано електронні компоненти.

Розроблено стартап-проєкт щодо реалізації вводу на ринок запропонованого продукту, а саме автоматизованої ультразвукової системи контролю зварних з'єднань труб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ», 2010 – 448 с
2. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
3. Зварні з'єднання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/mbf/olk_i_tmm/2011/11-45/page63.html.
4. ДСТУ 3491-96. Видання. ДЕФЕКТИ З'ЄДНАНЬ ПРИ ЗВАРЮВАННІ МЕТАЛІВ. [Чинний від 1999-01-01]. Вид. офіц. Київ, 1999. 14 ст. (Інформація та документація).
5. Лысенко Ю. Ю. Экспериментальное исследование вихретоковой системы контроля крупногабаритных изделий / Ю. Ю. Лысенко, Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин // Ж-л «Научные известия на НТСМ». - Созополь, Болгария, 2013. – №139. – С. 72–74.
6. Kuts Y. Analysis of an Eddy-Current Transducer with Impulsive Excitation in the Nondestructive Testing of Cylindrical Objects / Y. Kuts, Y. Lysenko, A. Dugin, A. Zakrevskii // Materials Science – 2016. – vol. 52, no. 3. - pp 431–437.
7. Kuts Y. Research Of Measurement Results Uncertainty Of The Signals Parameters For Pulsed Eddy Current Testing Method / Kuts Y., Lysenko I., Dugin O. // Зб. тез доп. XVIII Міжнародної наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 15 - 16 травня 2019 р., м. Київ, “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2019. – С.145-146.
8. «Застосування зварювання»: [Електр. ресурс],- <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=22922>
9. Дефекти зварних з'єднань і методи їх виявлення особливості зварювання чавуну [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://ua-referat.com/Дефекти_зварних_з%60еднань_і_методи_їх_виявлення_особливості_зварювання_чавуну.

10. ДСТУ EN 1289-2002. Видання. Неруйнівний контроль зварних з'єднань. [Чинний від 2003-10-01]. Вид. офіц. Київ, 2003. 15 ст. (Інформація та документація).
11. «ВІЗУАЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ЗВАРНИХ ШВІВ І З'ЄДНАНЬ» [Електр. ресурс],- <http://rembudsad.com.ua/vizualno-vymiriuvalniyi-kontrol-zvarnykh-shviv-i-ziednan-po-host.html>
12. «Радіаційні методи» [Електр. ресурс],- <https://studopedia.org/12-88525.html>
13. «Дифракційно-временной метод контроля (TOFD)» [Електр. ресурс],- <https://www.olympus-ims.com/ru/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>
14. Техническая диагностика электрооборудования [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://tg-2000.narod.ru/docs/pdf/Svi_ch1_2.pdf.
15. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / Высшая школа. – Москва, 1991. – 283 с.
16. Сайт компанії Analog devices [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Analog%20devices&gclid=Cj0KCQjw3v3YBRCOARIsAPkLbK5iSFNOKI1HZvz0wrkuGgWfVS1PXrEy7jZ8QVG44Tcqj2y7Uuac1QQaAl-eEALw_wcB.
17. CLOCK OSCILLATORS [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:https://spb.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%2Fds%2Fpdf%2FK%2FKXO-200.pdf.
18. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=A1460>.
19. МК STM32F103x8 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.buydisplay.com/download/manual/ER-TFTM050-3_Datasheet.pdf.
20. ADVANCED NDT LTD [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.advanced-ndt.co.uk/SIUI_CTS-9005.htm.

ДОДАТКИ

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
	<u>Конденсатори</u>		
C1...C18	KM-5a-M75 33nF±10% ГОСТ 27778-88	18	
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1	K155ИДЗ	1	
DA2, DA3, DA4	AD8051, Analog Divices	3	
DA5	AD604, Analog Divices	1	
DD1	DG408, Intersil	1	
DD2	MAX1206, Maxim Integrated	1	
DD3	CY7C4285V, Cypress	1	
DD4	STM32F105, STMicroelectronics	1	
DD5	TFT LCD Arduino 2560	1	
	<u>Резистори</u>		
R1,R2,R3,...R22	M/IT-0,125-3kOm±5 ОЖО.467.180ТУ	16	
R7	M/IT-0,125-2kOm±5 ОЖО.467.180ТУ	1	
R8	M/IT-0,125-100kOm±5 ОЖО.467.180ТУ	1	
RV1	24S1-B20K-20kOm±5 ОЖО.467.180ТУ	1	

					ПК81МП13.000.000.ЕП			
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Шпак Д.О.				Автоматизована ультразвукова система для контролю зварних з'єднань труб	Лист.	Лист	Листов
Перев.	Баженов В.Г.						1	2
Н.контр.						ПБФ, ПК-81мп		
Утв.	Богдан Г.А.							

<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кількість</i>	<i>Примітка</i>
	<u><i>Діоди</i></u>		
<i>VD1, VD2</i>	<i>1N4148 ГОСТ 17465-80</i>	2	
	<u><i>Транзистори</i></u>		
<i>VT1</i>	<i>2N7000 ГОСТ 15172-70</i>	1	
	<u><i>Кварцові резонатори</i></u>		
<i>ZQ1, ZQ2, ZQ3</i>	<i>PK457 ГОСТ Р 57405-2017</i>	3	

Автоматизована ультразвукова система для контролю зварних з'єднань труб

Підготував: ст. гр. ПК-81мп Шпак Дмитро Олексійович

Науковий керівник: Богдан Галина Анатоліївна

Актуальність, мета і задача дослідження

Мета дослідження – підвищення точності неруйнівного контролю зварних з'єднань шляхом вдосконалення методу та схеми дефектоскопії об'єкта.

В ході дослідження було поставлено та розв'язано наступні **задачі**:

- Провести аналіз та обґрунтувати шляхи існуючих методі дефектоскопії зварних з'єднань у трубах великого діаметру.
- Розробити структурну та функціональну схему ультразвукової автоматизованої системи для виявлення дефектів та розрахувати її основні вузли.
- Створити модель конструкції сканера в середовищі Solid Works.

Об'єкт дослідження – процес ультразвукової дефектоскопії зварних з'єднань в процесі експлуатації труб.

Предмет дослідження - методи та засоби підвищення точності визначення розташування дефектів при контролі зварних з'єднань труб.

Методи дослідження базуються на використанні теоретичних основ ультразвукового неруйнівного контролю; методів цифрової обробки сигналів; моделюванні конструкції закріплення перетворювачів в середовищі SolidWorks.

Об'єкт контролю

У якості ОК були обрані труби великих діаметрів (від 800 до 1200 мм), які широко застосовуються у промисловості, тому контроль зварних з'єднань таких труб є дуже актуальним.

Основною **проблемою** є те, що труби використовуються для транспортування таких агресивних речовин, як нафта, газ, тощо. Такі об'єкти потребують герметичність, яка забезпечується саме якістю зварного шву, за допомогою якого ці труби зроблені.

Вирішення цієї проблеми полягає у періодичній перевірці зварних з'єднань на різні види дефектів.

Дана магістерська дисертація пропонує автоматизовану систему, за допомогою якої можна буде проводити контроль в процесі експлуатації.



Нафтогазова труба

Існуючі неруйнівні методи контролю званих з'єднань

Капілярний

Переваги: чітко видима зона знаходження дефекту, покращення візуального методу контролю

Недоліки: можливість знаходження тільки поверхневих дефектів, неможливість автоматизувати контроль

Вихростумовий

Переваги: значна швидкість аналізу; висока продуктивність методу; контроль успішно проводиться на поверхнях зі значною шорсткістю;

Недоліки: необхідність застосування спеціалізованої техніки; необхідність контролерів зі спеціальною підготовкою.

Ультразвуковий

Переваги: безпека (в порівнянні з радіографічним методом) контроль різних матеріалів висока чутливість до дефектів типу тріщин, непроварів; висока проникаюча здатність, яка дозволяє виявити внутрішні дефекти в великогабаритних виробках;

Недоліки: необхідність обробки поверхні перед контролем, затухання хвилі у великозерністих породах

Радіаційний

Переваги: отримуємо об'єктивний документ характеристики якості ОК.

Недоліки: необхідність високотехнологічного устаткування, спеціальної підготовки персоналу та негативний екологічний вплив

Візуальний

Переваги: можливість визначення переважної більшості бракованих з'єднань; швидкість контролювання; відсутність необхідності високої кваліфікації персоналу.

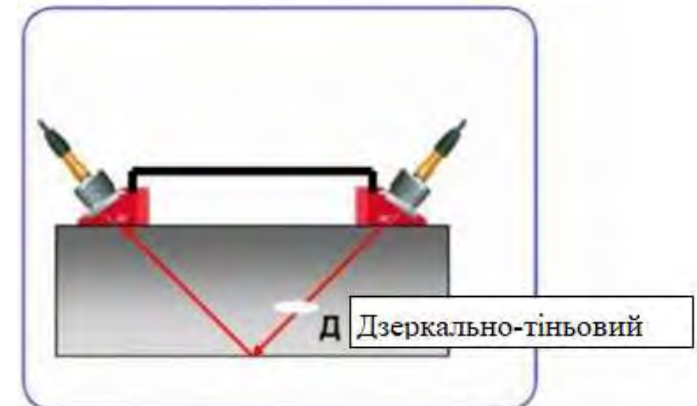
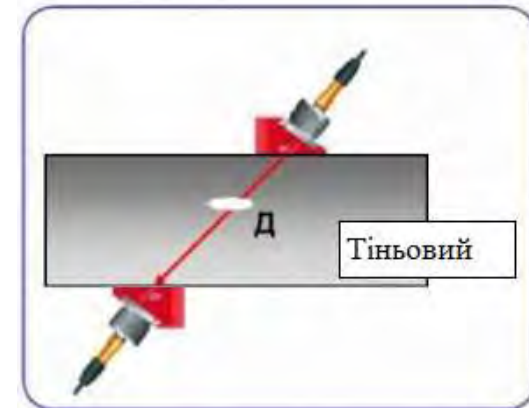
Недоліки: неможливість виявити внутрішні дефекти; виключно ручна фіксація результатів

Ультразвуковий метод контролю

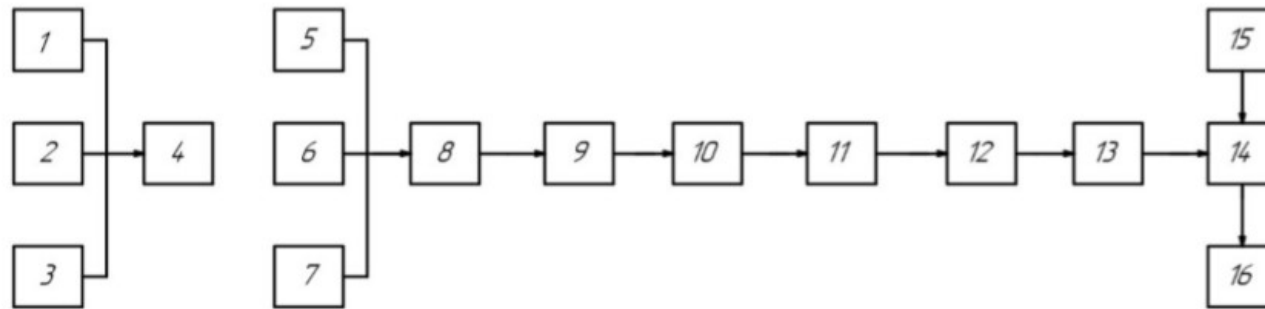
Методи ультразвукової дефектоскопії засновані на реєстрації віддзеркалених від дефектів акустичних коливань і подальшого аналізу їх амплітуди, часу приходу, форми та інших характеристик за допомогою спеціалізованого обладнання.

В роботі було використано **дзеркально-тіньовий метод** із застосуванням шести перетворювачів.

Він заснований на вимірюванні амплітуди донного сигналу. По техніці виконання його відносять до методів віддзеркалення, а по фізичній суті контролю він близький до тіньового методу

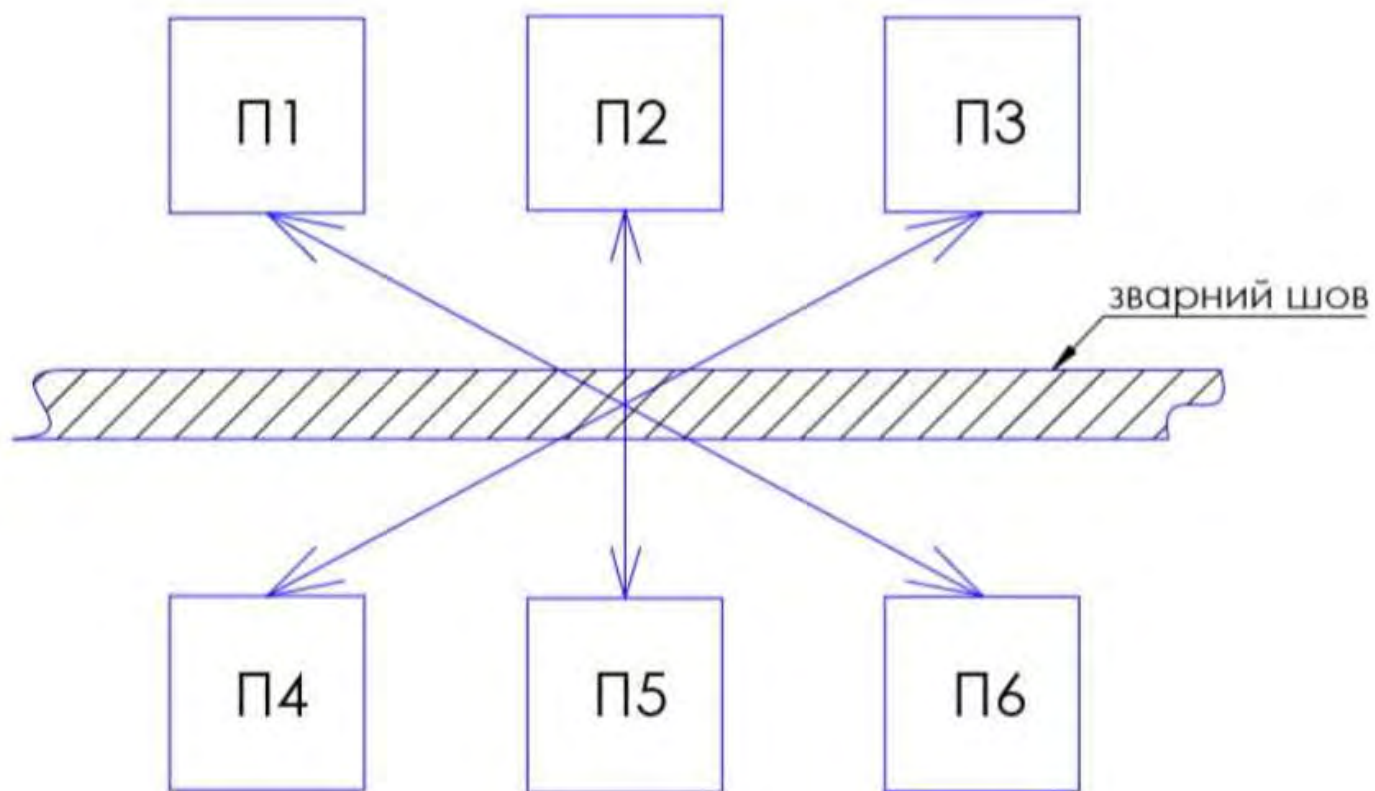


Функціональна схема автоматизованої ультразвукової системи для контролю зварних з'єднань труб



1,2,3 – блок генератору зондуєчих імпульсів та п'єзоелектричного перетворювача; 4 – дешифратор; 5,6,7 – п'єзоелектричні перетворювачі, що приймають сигнали; 8 – аналоговий мультиплексор; 9 – попередній підсилювач; 10 – смуговий фільтр; 11 – схема часового регулювання чутливості; 12 - аналогово-цифровий перетворювач; 13 –пам'ять FIFO; 14 – мікроконтролер; 15 – клавіатура; 16 – дисплей.

Ж-образна схема контролю



Висновки

В ході виконання проекту була розроблена автоматизована ультразвукова система для контролю зварних з'єднань труб, за допомогою якої можна значно полегшити процес контролю та збільшити його вірогідність. На основі вже існуючих перетворювачів, був розроблений ПЕП, який кріпиться до спеціальної конструкції, що є частиною автоматизованої системи. У середовищі SolidWorks було змодульовано конструкцію закріплення датчиків та сам датчик. Також було розроблено структурну та функціональну схеми, на основі яких потім електричну принципову, до якої було підібрано електронні компоненти.