

**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: «Ультразвукова система автоматизованого контролю зварних
з'єднань великогабаритних об'єктів»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) II курсу, групи ПК-81МП
Ферко Роман Богданович _____

Науковий керівник:
Старший викладач, кандидат технічних наук
Богдан Галина Анатоліївна _____

Консультант з розробка стартап-проектів:
Доцент, доктор економічних наук
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Консультант з розробка електричних трактів:
Доцент, кандидат технічних наук
Баженов В.Г. _____

Рецензент: _____

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

Студент (-ка) _____

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**

Ферку Роману Богдановичу

1. Тема дисертації «Ультразвукова система автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів», 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 ультразвукового контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів як на етапі їх виготовлення так і експлуатації
4. Вихідні дані: Товщина ОК – 30мм, швидкість контролю 100 мм/с
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати існуючі методи ультразвукового неруйнівного контролю великогабаритних об'єктів; провести розрахунок акустичних трактів та вузлів функціональної схеми; провести розрахунок та моделювання системи: розробити автоматизовану конструкцію та платформу для закріплення перетворювачів; розробити схему електричну принципову.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1 – схема електрична принципова А1, променева картина А1, конструкція системи А1
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., д.е.н., доцент; доцент кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Розробка електричних трактів	Баженов В.Г., к.т.н., доцент; доцент кафедри приладів і систем неруйнівного контролю КПІ ім. Ігоря Сікорського		

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 великогабаритних об'єктів	20.11.2018	Виконано
3	Проведення аналітичного огляду методів ультразвукової дефектоскопії, пошук аналогів	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 автоматизованої системи в середовищі SolidWorks	05.09.2019	Виконано
8	Розробка стартап-проекту	16.10.2019	Виконано
9	Формулювання висновків	25.11.2019	Виконано

Студент

Р.Б. Ферко

Науковий керівник дисертації

Г.А. Богдан

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з чотирьох розділів, 90 сторінок, 35 ілюстрацій, 27 таблиць, було опрацьовано 18 джерел літератури.

У першому розділі було проведено аналітичний огляд, в якому розглянуто об'єкт контролю. Проведено аналіз методів неруйнівного контролю резервуарів, їх переваги та недоліки.

У другому розділі було розраховано прямий суміщений п'єзоелектричний перетворювач, а також призму. Проведені розрахунки акустичного і електроакустичного трактів. Розроблено структурну схему, а на її основі функціональну. Розраховані і узгодженні всі вузли функціональної схеми.

В третьому розділі було проведено розрахунок та моделювання автоматизованої системи в програмному середовищі SolidWorks.

В четвертому проведена розробка стартап проекту: аналіз ринку, пошук конкурентів, тощо.

На основі розрахунків була спроектована електрична принципова схема.

Мета і задачі дослідження

Мета дослідження – розробка ультразвукової системи для автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів.

В ході дослідження розв'язати наступні задачі:

1. Провести аналіз об'єкта контролю, визначити основні типи дефектів зварних з'єднань які виникають під час експлуатації.
2. Проаналізувати методи неруйнівного контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів
3. Обґрунтувати вибір ультразвукового методу неруйнівного контролю на базі методу TOFD.
4. Провести розрахунок приймальної частини системи: п'єзоелектричний перетворювач, призма, акустичні та електроакустичні тракти.
5. Розробити функціональну схему системи та розрахувати основні вузли, на основі розрахунків розробити схему електричну принципову.

6. Провести розрахунок основних вузлів автоматизації, створити модель системи в програмному середовищі SolidWorks

Об'єкт дослідження - процес ультразвукового контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів як на етапі їх виготовлення так і експлуатації

Предмет дослідження - методи та засоби підвищення точності та швидкості контролю зварних швів великогабаритних об'єктів ультразвуковим методом TOFD шляхом автоматизації системи.

Методи дослідження базуються на використанні теоретичних основ ультразвукового неруйнівного контролю; розрахунках основних частин системи та розробці і моделюванні конструкторської автоматизованої системи в середовищі SolidWorks.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вдосконалення ультразвукового методу TOFD шляхом автоматизації системи

Ключові слова: цистерна, зварне з'єднання, дефект, ультразвук, дифракція, шуми, підсилювач, часове регулювання чутливості, автоматизація, електромагніт.

ABSTRACT

The master's thesis consists of four sections, 90 pages, 35 illustrations, 27 tables, 18 sources of literature were processed.

The first section provided an analytical review that looked at the object of control. The methods of non-destructive testing of tanks, their advantages and disadvantages are analyzed.

In the second section, a direct combined piezoelectric transducer and a prism were calculated. The calculations of the acoustic and electroacoustic tracts were carried out. A structural scheme is developed, and a functional scheme is based on it. All nodes of the functional circuit are calculated and agreed.

In the third section, the automation system was calculated and modeled in the SolidWorks software environment.

In the fourth development of the startup project was carried out: market analysis, search for competitors, etc. Based on the calculations, an electrical circuit design was designed.

The purpose and objectives of the study

The purpose of the study is to develop an ultrasonic system for the automated control of welded joints of large objects.

During the study, solve the following tasks:

1. Analyze the object of control, determine the main types of defects welded joints that occur during operation.
2. Analyze methods of non-destructive testing of welded joints of large objects
3. To justify the choice of ultrasonic non-destructive testing based on TOFD method.
4. Calculate the receiving part of the system: piezoelectric transducer, prism, acoustic and electroacoustic tracts.
5. Develop a functional scheme of the system and calculate the main units, on the basis of calculations to develop a circuit diagram in principle.
6. To calculate the main nodes of automation, to create a model of the system in the software environment SolidWorks

Object of study - the process of ultrasonic inspection of welded joints of large objects both at the stage of their manufacture and operation

The subject of the study is methods and means of improving the accuracy and speed of weld control of large objects by the TOFD ultrasonic target by automating the system.

Research methods are based on the use of theoretical bases of ultrasonic nondestructive testing; calculations of the major parts of the system and development and modeling of the automated system construction in the SolidWorks environment.

Scientific novelty of the obtained results:

1. Improvement of the TOFD ultrasonic method by system automation

Keywords: cistern, welded joint, defect, ultrasound, diffraction, noise, amplifier, time sensitivity control, automation, electromagnet.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	13
1.1 Огляд об'єкта контролю	13
1.2 Огляд дефектів зварних з'єднань об'єкта контролю	18
1.3 Аналіз методів неруйнівного контролю.....	21
1.4 Ультразвуковий дифракційно-часвий метод TOFD.....	29
1.5 Огляд існуючих аналогів	34
1.6 Вибір структурної схеми.....	39
Висновки до розділу 1	40
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	42
2.1 Розрахунок перетворювача	42
2.2 Розрахунок акустичного тракту.....	46
2.3 Розрахунок електроакустичного тракту	53
2.4 Розробка та розрахунок функціональної схеми.....	55
2.4.1 Розрахунок генератора зондуючих імпульсів.....	56
2.4.2 Розрахунок операційного підсилювача	59
2.4.3 Розрахунок смугового фільтру	61
2.4.4 Вибір часового регулювання чутливості.....	62
2.4.5 Розрахунок та вибір АЦП	64
2.4.6 Розрахунок та вибір пам'яті.....	65
2.4.7 Вибір мікроконтролера.....	67
2.4.8 Вибір дисплея.....	69

2.4.9 Вибір кнопок.....	70
Висновки до розділу	70
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	72
3.1 Розрахунок конструкції сканера.....	72
3.2 Проектування та моделювання конструкції сканера.....	74
Висновки до розділу 3	78
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	79
4.1. Опис ідеї проекту	79
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	81
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	81
4.4. Аналіз пропозицій ринку.....	84
4.5. Фактори конкурентоспроможності	87
4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту	87
4.7. SWOT-аналіз стартап-проекту.....	88
4.8. Альтернативи ринкової поведінки	89
4.9. Розроблення ринкової стратегії проекту	90
4.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	92
Висновки до розділу 4	95
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	98

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НК – неруйнівний контроль

ОК – об'єкт контролю

ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач

TOFD - Time of Flight Diffraction (час прольоту дифракції)

ЧРЧ - часове регулювання чутливості

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

АЦП - аналогово – цифровий перетворювач

ВСТУП

Незважаючи на певний прогрес, досягнутий в останні роки в резервуаробудуванні, резервуари для нафти і нафтопродуктів залишаються одними з найбільш небезпечних об'єктів. Резервуари це ємності різних розмірів, призначені для накопичення, зберігання, виконання технологічних операцій і обліку нафти і нафтопродуктів. За формою резервуари випускаються циліндричними, вертикальними і горизонтальними, сферичними. Найбільш поширеним видом ємності для зберігання нафти і нафтопродуктів є циліндричний вертикальний сталевий резервуар. З кожним роком кількість аварій на резервуарах зростає в зв'язку з тим, що великий відсоток резервуарів вже виробив свій проектний ресурс. Знос експлуатованих вертикальних сталевих резервуарів (РВС) становить 60 - 80%.

Небезпека виникнення аварійних ситуацій оцінюється вагою завданої шкоди, яка залежить від того, як проявляється аварія: у вигляді вибухів і пожеж від розлитого нафтопродукту, у вигляді руйнувань або локальних відмов резервуарів. Як показує практика, аварії РВС в більшості випадків супроводжуються значними втратами нафтопродуктів, отруєнням і загибеллю людей. В екстремальних випадках за статистичними даними загальний матеріальний збиток перевищує в 500 і більше разів первинні витрати на спорудження резервуарів .

Тому є підстави вважати, що на сьогоднішній день питання забезпечення надійності резервуарних конструкцій залишається невирішеним. Проблема підвищення надійності резервуарних конструкцій повинна вирішуватися на всіх етапах при проектуванні, при виготовленні, при монтажі і випробуваннях, при експлуатації і діагностуванні резервуарів .

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Огляд об'єкта контролю

«Великогабаритні об'єкти (резервуари) відносяться до конструкцій оболонкового типу які збирають з листових заготовок і зварюють герметичними швами. Залежно від їхніх габаритних розмірів, конструкційного оформлення, а також характерних особливостей виготовлення, експлуатації, оболонкові конструкції можна розділити на ємності негабаритів і споруди, ємності, що працюють під великим тиском, труби і трубопроводи» [1].

Ємності і споруди переважно мають розміри, що набагато перевищують габарити рухомого залізничного складу рис(1.1).

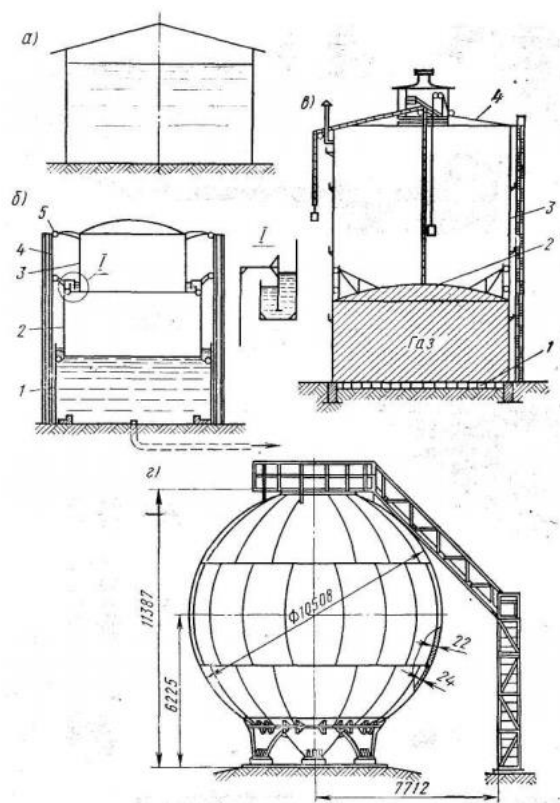


Рис. 1.1 - Ємності негабаритів :

а - вертикальний циліндровий резервуар; б - мокрий газгольдер; в- сухий газгольдер;

Такі вироби доводиться виготовляти на заводі по частинах і відправляти на місце монтажу окремими частинами. Приклади негабаритних ємностей приведені на рис.1.2.

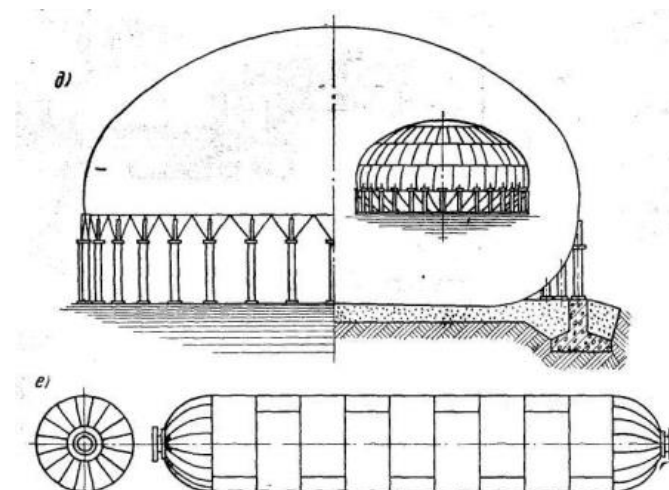


Рис. 1.2 – Ємності негабаритів:

д - сферичний резервуар; е - газгольдер постійного об'єму;

Вертикальні циліндрові резервуари (рис.1.1,а) найчастіше використовують для зберігання нафтопродуктів . Висота резервуару зазвичай не перевищує 12-18 м. У нашій країні споруджують такі резервуари місткістю до 50000м³, за кордоном - до 200000м³. У географічних зонах, де відсутнє снігове завантаження, споруджують резервуари з плаваючим дахом.

Листові заготовки, що мають змінну просторову кривизну, зварюють стиковими швами. Необхідність обмеження відхилень від проектних розмірів і форми готової камери примушує пред'являти жорсткі вимоги до точності розкрою і монтажу за допомогою зварювання. Посудини, що працюють під тиском, доцільно розділити на наступні групи: тонколистові, із стінками середньої товщини,

товстінні і багатошарові. При розрахунку на міцність посудину вважають за тонкостінну, якщо товщина його стінки значно менше інших розмірів (у 20 разів і більш). З позицій конструктивного оформлення зварних з'єднань і технології виготовлення посудину вважають за тонкостінну, якщо товщина стінки не перевищує 7-10мм.

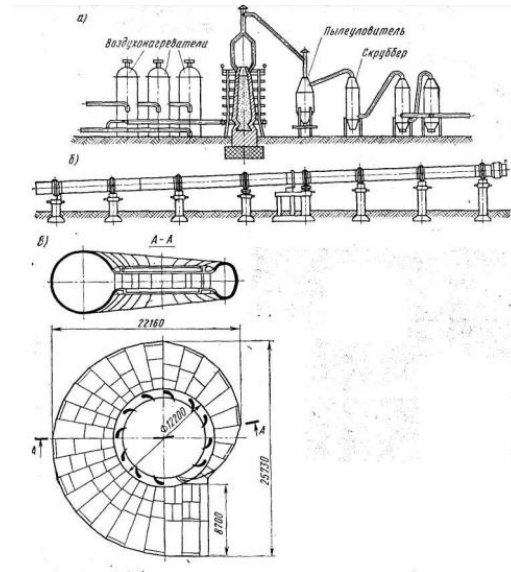


Рисунок 1.3 - Характерні приклади споруд негабаритів оболонкового типу: а - конструкції доменного комплексу; б - корпус цементної печі; в - спіральна камера гідротурбіни

Тонкостінним посудинам зазвичай надають форму циліндра, сфери або тору (рис.1.4). Вибір форми може визначатися різними міркуваннями.

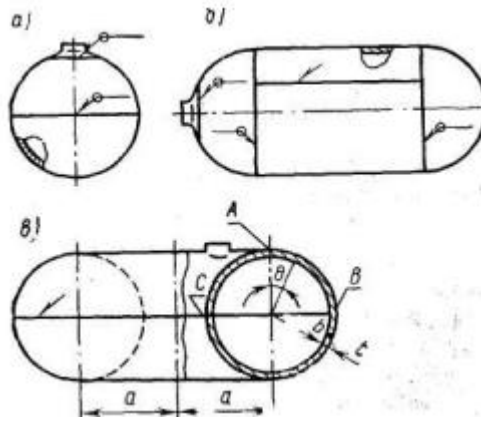


Рисунок 1.4 - Характерні типи :

а - сферичний; б - циліндровий; в – торовий

Сферична посудина при заданій ємкості має мінімальну масу, торовий можна компактно розмістити, наприклад, навколо камери згоряння ЖРД, циліндрова форма посудини забезпечує найбільш технологічне конструктивне оформлення. З'єднання здійснюють подовжніми, кільцевими і круговими швами. Тонкостінні посудини зазвичай є конструктивними елементами різних транспортних установок. У тих випадках, коли не потрібна економія маси, використовують матеріали невисокої міцності, що добре зварюються. Залежно від зварюваності металу і його чутливості до концентрації напружень уявлення про технологічність одного і того ж конструктивного оформлення можуть виявитися різними.

Посудини із стінками середньої товщини (до 40 мм) широко використовуються в хімічному апаратобудуванні, а також як ємкості для зберігання і транспортування рідин і зріджених газів. Нерідко потрібний захист робочої поверхні апарату від корозійної дії середовища і збереження в'язкості і пластичності матеріалу конструктивних елементів, що несуть, при низькій температурі. Тому використовувани матеріали вельми різноманітні: вуглецеві і високолеговані сталі, мідь, алюміній, титан і їх сплави. Оскільки для забезпечення необхідного терміну служби апарату досить мати шар корозійностійкого матеріалу завтовшки всього декілька міліметрів, то нерідко використовують двошаровий прокат. Апаратуру ємкісного типу зазвичай виконують у вигляді циліндрових

посудин. При надмірному тиску 0,4-1,6МПа і вище, а також в ємкостях, використовуваних для транспортування рідин, з'єднання листових елементів обичайок і днищ виконують тільки стиковими (рис.1.6).

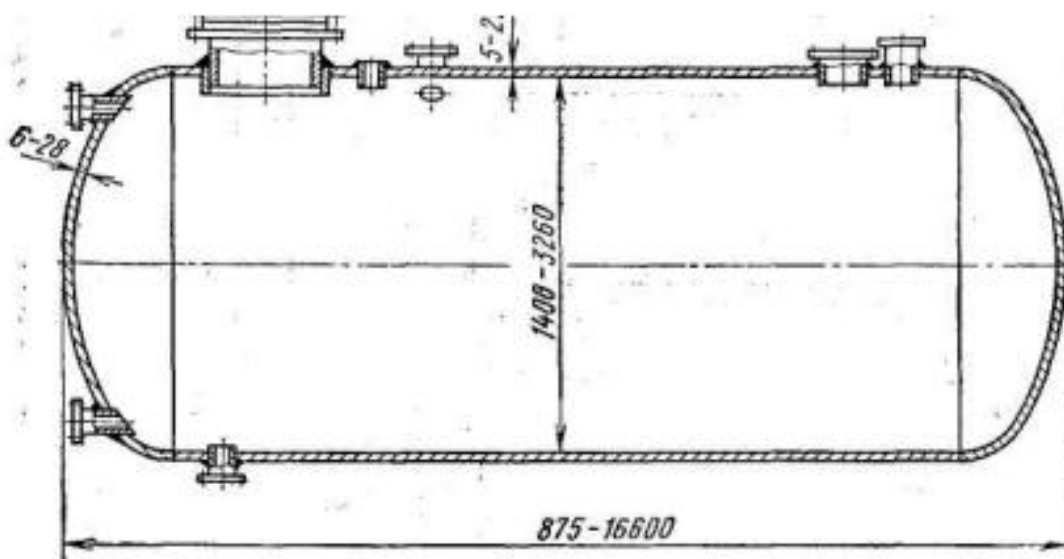


Рисунок 1.6 - Конструкція резервуару з еліптичним відбортованим дном.

«Однією з основних проблем експлуатації резервуарів в нафтобазах, цистерн для зберігання нафтопродуктів, агресивних середовищ, є їх фізична і моральна зношеність. Єдиним рішенням представлених проблем є використання існуючих резервуарів шляхом продовження їх ресурсу.

Продовження терміну експлуатації резервуарів має як позитивні, так і негативні моменти, стосовно економічної доцільності і з показниками міцності, в кінцевому підсумку істотно впливає на надійність резервуарів» [2]. Недоліки продовження термінів експлуатації резервуарів виділяються наступні важливі аспекти:

1. Природне старіння матеріалів з яких виготовлені резервуари, тобто при тривалій експлуатації в агресивних середовищах як нафтопродукти, відбувається зміна властивостей матеріалу (наприклад, сталей) в сторону підвищення міцності і зниження пластичності.

2. Проблема раннього визначення часткової або повної втрати працездатності резервуара, при тривалій експлуатації, яку обмежує низкою факторів таких як: Відсутність науково-обґрунтованих підходів, реалізованих на практиці в виробничих масштабах в області технічного діагностування. Визначення залишкового ресурсу резервуарів обмежується показниками існуючих методів діагностування, які в свою чергу обмежуються технічно-нормативними документами.

3. Відсутність конкретних нормативних документів по діагностуванні орієнтованих на технічний контроль резервуарів які виробили термін експлуатації.

Отже, основним рішенням продовження ресурсу резервуарів, є достовірні дані відхилень від проектних даних і наявних допустимих і неприпустимих дефектів, на основі яких будується загальна картина стану резервуара. Для цього, необхідні фактичні дані по кількості і розмірам наявних дефектів, які належать до відбракування, точному визначенню місцезнаходження, допустимості за розмірами, кількістю або за ступенем небезпеки. Збір даних за дефектами відбувається за результатами показань приладів і апаратури, шляхом неруйнівного або руйнівного контролю.

1.2 Огляд дефектів зварних з'єднань об'єкта контролю

Дефектом називається невідповідність параметрів і характеристик зварного шва або з'єднання вимогам нормативно-технічної документації.

Дефекти зварних з'єднань класифікують за різними ознаками:

- а) По місцю розташування: розрізняють дефекти шва, околошовної зони і зварного з'єднання.
- б) Стадії технологічного процесу: дефекти підготовки, складання та зварювального процесу;
- в) Допустимість: допустимі, недопустимі.

г) Степінь небезпеки експлуатації - малозначні, значні і критичні;

д) Глибина залягання - зовнішні (поверхневі) і внутрішні.

Згідно ГОСТ 7512-75 в залежності від місцезнаходження розрізняють зовнішні і внутрішні дефекти. До зовнішніх відносяться дефекти форми зварного шва які вийшли на поверхню швів, пори, свищі, тріщини і подрізи, а до внутрішніх - пори, тверді включення шлаку або стороннього металу, непровари і внутрішні тріщини різного роду. Однак такий поділ дефектів досить умовний, так як багато зовнішніх дефектів виявляються наслідком існування, а часто і зовнішнім проявом внутрішніх дефектів. Відповідно до причин утворення дефекти поділяють на дві групи. До першої групи належать дефекти, поява яких пов'язана з фізико-хімічними процесами, що протікають при формуванні і кристалізації зварювальної ванни і охолодженні зварного з'єднання, тобто кристалізаційні і холодні тріщини, що виникають найчастіше відповідно в металі шва і біля шовної зони, пори, неметалеві включення і несплавлення. До цієї групи дефектів можна віднести також несприятливу структуру металу шва і сегрегацію домішок в шві.

До другої групи належать дефекти, поява яких обумовлена порушенням технології зварювання, тобто непровари, подрізи, пропали, недотримання заданих розмірів шва та ін. Однак і ця класифікація умовна, оскільки утворення дефектів, що відносяться до другої групи, багато в чому пов'язано з фізико-хімічними процесами, що протікають при зварюванні. Залежно від виду створюваних полів напруженого стану дефекти поділяють на два класи. До першого класу відносяться концентратори (округлі в мінімальному перетині і перпендикулярні руйнівного навантаження) і еліпсоїдальної порожнини різної гостроти (сферичні і витягнуті пори, неметалеві включення і тріщини округлої форми). Другий клас об'єднує концентратори, тріщини, подрізи, місця переходу від основного металу до наплавленого і деякі концентратори конструктивного характеру. Основні дефекти зварних з'єднань, виконаних методами зварювання плавленням, представлені на рис. 1.7, а, б, а на рис. 1.7, в показані види корозійного ураження зварних з'єднань при експлуатації конструкцій.

Найбільш небезпечним неприпустимим дефектом в зварних з'єднаннях є тріщини. На гострих краях тріщин при відповідних умовах може відбуватися різке збільшення напруг, що сприяє їх розвитку, що призводить до повного руйнування конструкцій. Тріщина - це дефект у вигляді розриву в звареному шві і (або) прилеглих до нього зонах. Тріщини належать до найбільш серйозних дефектів зварних з'єднань і, як правило, підлягають усуненню.

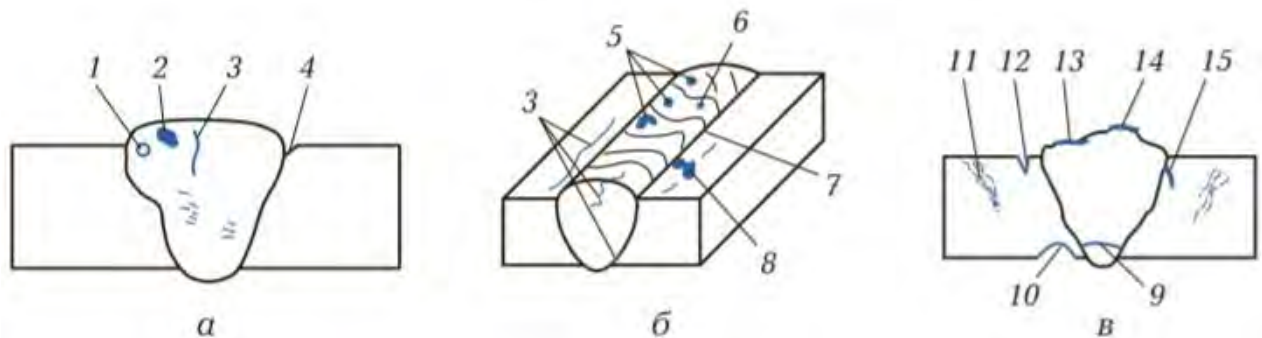


Рис. 1.7 – Основні дефекти в зварних з'єднаннях:

а - в перерізі шва; б - на поверхні шва; в - види корозійних поразок при експлуатації конструкцій; 1 - пора; 2 - шлакове включення; 3 - кристалізаційна тріщина; 4 - підріз; 5 - грубочешуйчатая поверхню шва; 6 - поверхнева пора; 7 - кольори мінливості (окислення поверхні); 8 - розбризкування; 9 - гальванічна корозія; 10 - ерозія поверхні; 11 - міжкристалічна корозія; 12 - корозія по кромці шва; 13 - виразкова корозія; 14 - прихована корозія; 15 - корозійне розтріскування

Основними причинами руйнування в корпусі і в днищі резервуара є дрібні свищі і тріщини в зварних з'єднаннях (Рис. 1.8) Більшість резервуарів виготовляються з маловуглецевих сталей з низькою корозійною стійкістю. Під впливом агресивних середовищ при наявності технологічних дефектів в зварних швах (тріщин, підрізів, непроварів, шлакових включень і нерівномірному напруженому стані резервуара прискорюється корозія, його внутрішньої поверхні, утворюються пошкодження корпусу і днища. До витоків нафти і нафтопродуктів призводять також нещільність сальникових ущільнень засувки, сифонних кранів, підйомників хлопавок, фланцевих з'єднань, а також невмілий спуск підтоварної

води з резервуарів. Крім втрат цінних нафтопродуктів і забруднення навколишнього середовища, витоків становлять небезпеку великих аварій; вибухів і пожеж.



Рис. 1.8 - Тріщина в зоні зварного з'єднання резервуара, вид з зовнішньої сторони резервуара

1.3 Аналіз методів неруйнівного контролю

Вибір методів і приладу неруйнівного контролю для вирішення завдань забезпечення безпечної експлуатації резервуарів при проведенні діагностування залежить від заздалегідь визначених параметрів і умов експлуатації, так само і умов обстеження. Відповідно до визначеного призначенням приладів вимірювані і визначаються параметри контрольованого матеріалу і різні дефекти поділяють на 4 групи, які представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Групи дефектів контрольованого матеріалу

Група	Параметри і дефекти
1	Дефекти типу порушення цілісності: раковини, тріщини, розшарування, пори та ін.
2	Відхилення розмірів - довжини, ширини, висоти, діаметра, товщини стінки, а також товщини покриття і глибини поверхневого шару (загартованого, обезуглероженного і т.д.)

3	Питома електрична провідність, магнітна проникність, коерцитивної сила, залишкова індукція, твердість, вологість, напруга, структура, хімічний склад, межа міцності, границя текучості, відносне подовження, щільність і ін.
4	Емісія хвиль напруги, розвиток у часі тріщин, збільшення напруг, утонення стінки, збільшення зазору і т.д.

Неруйнівний контроль - методи контролю, при яких в деяких випадках немає необхідності зупинки робочого процесу об'єкта контролю. Контроль виконується безпосередньо на об'єкті, при цьому контрольований об'єкт зберігає працездатність без пошкодження ділянки контролю. Проведення неруйнівного контролю в об'єктах ОПО має на увазі два підвиди контролю, це «неруйнівний контроль» (візуальний і вимірювальний контроль (ВІК)) і «неруйнівний фізичний контроль» вимагають застосування спеціалізованих приладів і апаратури, так само спеціальних речовин.

На підставі документа ГОСТ Р 56542-2015 «Контроль неруйнівний. Класифікація видів і методів» класифікація неруйнівних методів контролю підрозділяється на дев'ять видів контролю, так звані класи видів неруйнівного контролю представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Класифікація неруйнівних методів контролю

Вид контролю	Категорія виду контролю	Тип об'єкту
Оптичний	Для оптично прозорих матеріалів - об'ємний, для непрозорих - поверхневий	Будь-який твердий або рідкий
Проникаючими речовинами	Поверхневий	Будь-який твердий
Магнітний	Поверхневий	Феромагнітні метали
Електромагнітний	Поверхневий	Будь-які метали
Електричний	Об'ємний	-
Радіохвильовий	Об'ємний	Будь-які неметали
Радіаційний	Об'ємний	Будь-які тверді
Акустичний	Об'ємний	Будь-які тверді або рідкі
Тепловий	Об'ємний	-

Неодмінною вимогою до надійності резервуарів є раннє виявлення дефектів, головним інструментом є використання неруйнівних методів контролю. Під час діагностики великогабаритних об'єктів широкого поширення набули такі методи НК: візуально-вимірювальний, рентгенографічний, ультразвуковий, капілярний, магнітопорошковий та акустична емісія. Оскільки контроль резервуарів за зберіганням нафтопродуктів тепловим методом є неефективним і в зв'язку з цим не регулюються нормативними вимогами щодо технічної діагностики:

1. Методи контролю проникаючими речовинами ;
2. Магнітний контроль;
3. Радіаційний контроль;
4. Акустичний контроль.

Методи контролю проникаючими речовинами. Контроль проникаючими речовинами має на увазі застосування газоаналітичного, газогідравлічного, вакуумно-рідинного і капілярного методів контролю. Використанням даних методів виявляються такі види дефектів які представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Методи контролю проникаючими речовинами

Метод	Об'єкти які підлягають контролю	Дефекти які можуть бути виявленні
Газоаналітичний	Посудини, балони, аміачні трубопроводи	Лише сквозні
Газогідравлічний	Балони, дюкери	
Вакуумно-рідинний	Днища і стінки резервуарів	
Капілярний	Будь-які тверді	Зовнішні сквозні і несквозні

Вакуумно-рідинний метод застосовується в основному для контролю герметичності днищ і стінок резервуарів для зберігання нафти і нафтопродуктів. Апаратурою та засобом контролю є електричний і механічний вакуумний насос, для вимірювання тиску вакуумний манометр і безпосередньо камера де створюється вакуум. Для резервуарів створюваний вакуум в камері повинен бути не менше мінус 0,75 кгс / см², при цьому вакуум камера зазвичай складається з товстого оргскла зі штуцером, на місці примикання штуцера до об'єкту контролю нанесена товста пориста гума. Схему роботи даного приладу см. На рис.1.10.

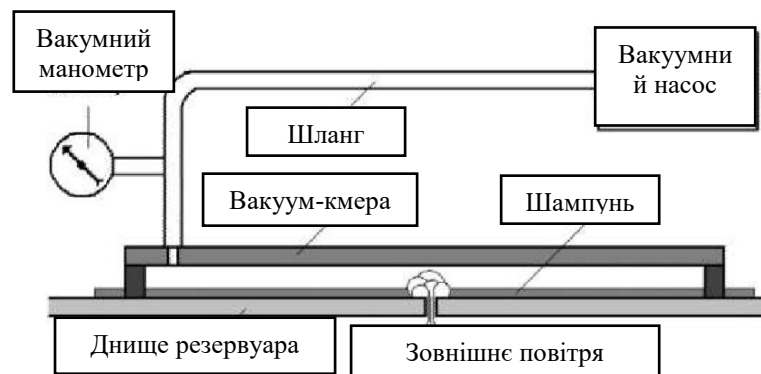


Рис. 1.10 - Пошук наскрізних дефектів вакуумно-рідинним методом

Магнітний контроль. Магнітний вид неруйнівного контролю в основному застосовується при контролі феромагнітних виробів (Металевий матеріал в твердому стані, здатний намагнічуватися під дією зовнішнього магнітного поля і частково зберігати придбану намагніченість після видалення зовнішнього поля). У резервуарних конструкціях, виготовлених зі сталевих листових матеріалів, широкого поширення набули такі методи магнітного виду контролю: магнітопорошковий, магнітографічний і ферозондовий контроль.

Відомо, що в ділянках сталевих об'єктів контролю, які зазнали високі механічні напруження, залишкова напруженість магнітного поля металу H_r змінює свій знак інверсії, наприклад, зі знака мінус на плюс або протилежний, або стає на нуль. Для об'єкта, що знаходиться в безперервному циклі експлуатації, магнітна

пам'ять металу проявляється в постійному безповоротній зміні намагніченості металу в напрямку дії максимальних механічних напружень від робочих навантажень об'єкта. Ступінь небезпеки ділянки відображається не значенням напруженості поля H_p , а перепадом в зоні концентрації напружень нижче, даний процес представлений на рис. 1.11.

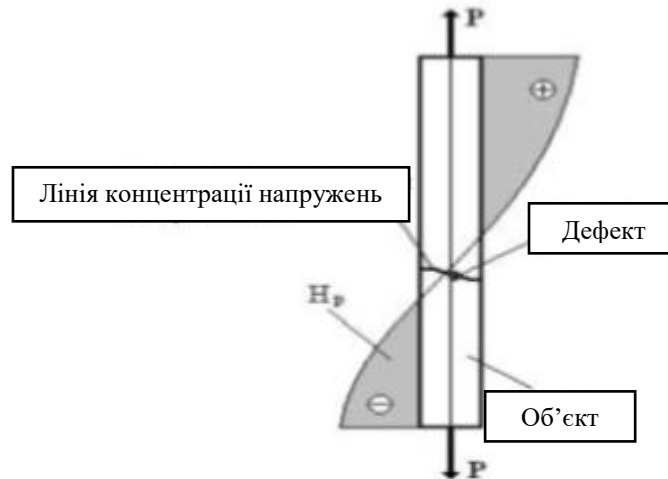


Рис 1.11 - Зміні знака магнітного поля при залишковій напруженості H_p в зоні концентрації напружень

Широке поширення використання даного методу спостерігається в нафтогазовій галузі. Наприклад, при проведенні контролю загального технічного стану газопроводів, що перебувають на поверхні землі так і покладених в траншеї цим методом в поєднанні з іншими методами НК добре виявляються такі дефекти як корозійне пошкодження, розшарування і ділянки, що зазнають високі механічні навантаження в результаті зсуву осі газопроводу.

Рентгенографічний контроль. Радіаційний контроль - це вид неруйнівного контролю, заснований на реєстрації і аналізі проникаючого іонізуючого випромінювання після взаємодії з контрольованим об'єктом. Всі методи радіаційного контролю засновані на пропущенні іонізуючого випромінювання через контрольований матеріал об'єкта і тому відносяться тільки до активних методів.

Даний вид контролю широко застосовується для виявлення, локалізації та визначення параметрів поверхневих і внутрішніх дефектів зварювання, виливків, композитних матеріалів, бетону та багатьох інших об'єктів. РК широке поширення отримав для контролю зварних з'єднань вертикальних сталевих резервуарів і трубопроводів. Використовується в разі контролю об'єктів складних форм, при неможливості застосування контактних методів таких як ультразвукова дефектоскопія. РК переважно підходить для виявлення внутрішніх об'ємних дефектів, можливість контролю об'єктів з будь-яких матеріалів. Результати радіографічного контролю легко візуалізуються і заносяться в архів протоколів, у порівнянні з іншими видами контролю, таким чином виявлені несплошності представляються в наочному вигляді, в деяких об'єктах візуалізація результатів є обов'язковою вимогою при НК.

Методи акустичного контролю. За порівнянні з іншими видами НК акустичний контроль охоплює більшу кількість методів. Даний вид неруйнівного контролю базується на реєстрації параметрів пружних коливань, порушених в контрольованому об'єкті. Акустичний контроль застосовується у виробках, виготовлених з різних матеріалів, для виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів, таких як порушення суцільності в матеріалі, неоднорідності структури матеріалу, межкристаллитная корозія, дефекти склейки, пайки, зварювання і т. д. Даний метод дозволяє вимірювати геометричні параметри при односторонньому доступі, а також фізико-механічні властивості металів без порушення цілісності контрольованої ділянки.

Ультразвукова дефектоскопія заснована на властивості ультразвукових хвиль направлено поширюватися в середовищах і відбиватися від їх меж або порушень суцільності (дефектів), що володіють іншим акустичним тиском. У практиці контролю якості зварних з'єднань використовують в основному ехо-імпульсний метод (або метод ехо-локації), який полягає в «прозвучуванні» зварного з'єднання короткими імпульсами 1 ультразвуку і реєстрації ехосигналів 2 (рис. 1.12, а, б) і 3 (див. рис. 1.12, б), відображених відповідно від нижньої поверхні

деталі і дефекту до приймача. Ознакою наявності дефекту в зварному з'єднанні служить поява луна-сигналу 3 на екрані дефектоскопа.

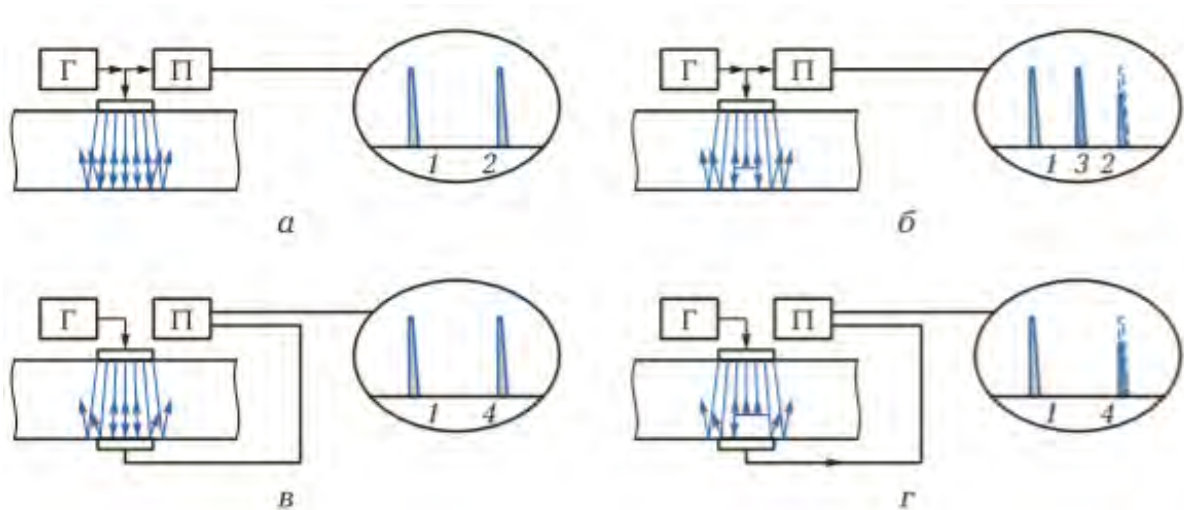


Рис.1.12- Схеми проходження коротких ультразвукових імпульсів при ехо-імпульсному (а, б) і тіньовому (в, г) методі контролю зварних з'єднань:

а, в - при відсутності дефекту; б, г - при наявності дефекту; 1 - короткий імпульс ультразвуку; 2, 3 - луна-сигнали; 4 - сигнал зі зменшеною амплітудою; Г - генератор зондируючих імпульсів; П – приймач

Виявлення дефектів різними методами неруйнівного контролю.

Одним з основних завдань проведення НК є оптимальний підбір методів контролю, що включає низьку собівартість робіт і високу ймовірність виявлення дефектів. Так як, при використанні декількох видів НК, без певної послідовності, ймовірність виявлення дефектів значно ускладнюється. Для аналізу результатів НК пропонують регламентувати такі параметри: Достовірність контролю - величина, що варіюється в залежності від норм дефектності і дозволяє оцінити ймовірність правильної розбраковки. Імовірність виявлення дефектів - параметр, що змінюється в залежності від приладу, контрольованого матеріалу і товщини виробу. Характеризує ймовірність виявлення дефектів різної величини на різній глибині залягання. Оцінка виявлення дефектів різними методами НК 1.4

Таблиця 1.4 – Оцінка виявлення дефектів різними методами неруйнівного контролю

Вид дефекта	Вид НК					
	Оптичний	Радіаційний	Магнітний	Капілярний	Вихрострум овий	Акустичний
Включення неметалеві	0	4	0	0	2	4
Крупнозернистість околошовної зони	0	0	0	0	2	4
Закати	2	0	0	2	3	3
Корозія	3	0	0	3	4	4
Металургічні дефекти зварного шва	0	4	3	0	2	4
Непровар	0	3	3	0	0	4
Непроклей	0	0	0	0	0	4
Непропай	0	3	0	0	0	4
Неслетини	2	2	0	0	2	3
Окисли	0	0	0	2	2	3
Газова пористість	0	4	2	2	4	3
Прес утяжини	0	4	0	0	0	5
Внутрішні розриви	0	1	0	0	0	4
Розшарування	0	0	0	0	0	4
Розтріскування корозійне	0	0	3	4	4	4
Прес - утяжини	0	4	0	0	0	5

На основі аналізу літератури виявлено, що найбільш придатний в виробничих умовах і безпечний для персоналу метод, який слід застосовувати при діагностиці уторних і стикових з'єднань резервуарів - це ультразвуковий метод контролю. Ультразвуковий метод є більш ефективний і раціональний для контролю зварних з'єднань в резервуарах великого обсягу в порівнянні з існуючими методами і не передбачає ні спорожнення резервуара, ні порушення фундаменту і основи резервуара, дозволяючи виявляти дефекти на ранній стадії розвитку. На рисунку 1.13 представлено процентне співвідношення використання різних методів неруйнівного контролю для діагности великогабаритних резервуарів.



Рис. 1.13 - Процентне співвідношення застосовуваних методів НК при діагностиці вертикальних сталевих резервуарів

1.4 Ультразвуковий дифракційно-часвий метод TOFD

«Дифракційно-часовий метод (TOFD) також називають «часопролітним», буквально з англійської назви: TOFD - Time of Flight Diffraction (час прольоту дифракції). Основне призначення - швидкий контроль кільцевих і поздовжніх зварних швів на наявність різних внутрішніх дефектів» [3].

Метод заснований на взаємодії поздовжніх ультразвукових хвиль з краями неоднорідностей. Для контролю використовуються сильнодемпфовані перетворювачі з малим діаметром п'єзопластини і широкою діаграмою направленості. Два ультразвукових похилих перетворювача поздовжньої хвилі розміщуються по обидва боки зварного шва. Один датчик випромінює ультразвуковий промінь в матеріал, а інший датчик приймає випромнені дефектами дифракційні хвилі в широкому діапазоні кутів.

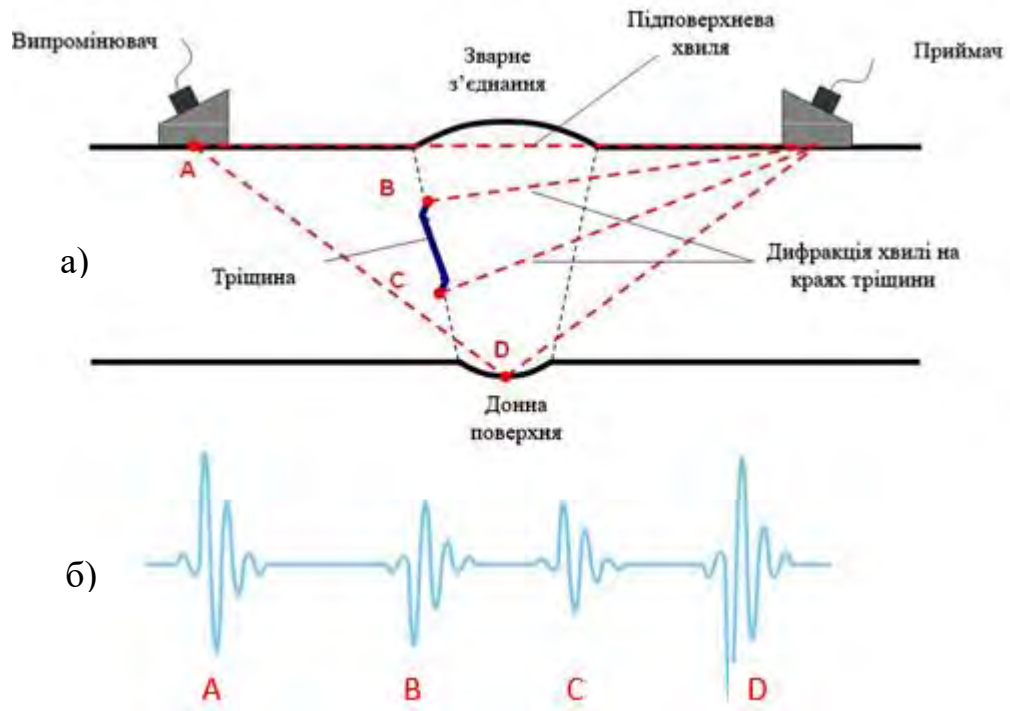


Рис. 1.14 – Схематичне розташування датчиків на ОК:

а) схема прозвучування: А – підповерхнева хвиля, В,С – дифракція хвиль на краю тріщини, D – відбиття хвилі від нижньої стінки ОК

б) часова діаграма сигналів

Виявлення дифракційних хвиль дозволяє встановити наявність дефектів. Вимірювання часу проходження дифракційних сигналів дозволяє точно виявляти і вимірювати висоту неоднорідності, навіть якщо тріщина не орієнтована в напрямку променя. Наявність дифракційних хвиль пояснюється принципом Гюйгенса, відповідно до якого кожна частинку середовища, що приходить в коливання внаслідок поширення первинної падаючої хвилі, можна розглядати як точкове джерело, що випромінює вторинну елементарну сферичну хвилю.

Головна інформаційна характеристика - час приходу сигналу. Розмір неоднорідності визначається часом проходження дифракційних сигналів, амплітуда сигналу не використовується для визначення розміру. Залежно від обраної частоти перетворювачів і кута введення проводиться контроль виробів з товщиною стінки від 10 до 100 мм. При ретельному підборі параметрів обладнання і обробки сигналів можливий контроль стінок від 6 мм. Для більшості випадків

достатньо контролю за один прохід. При необхідності контролю об'єктів товщиною до 100 мм здійснюється кілька проходів з перебудовою по глибині.



Рис. 1.15 - Покриття всього об'єму шва за один прохід

З появою потужних портативних мікропроцесорних дефектоскопів, метод TOFD став більш затребуваним, а з початку 2000 року займає в Європі і США лідируючі позиції по відношенню до традиційного луна-імпульсного методу УЗК.

Під час проведення TOFD-контролю, на основі зібраних А-сканів створюється В-скан зображення (бічна проекція) зварного шва з прив'язкою до його реальної довжини. Отримана інформація аналізується або безпосередньо з екрану приладу, або зберігається і виконується після контролю в спеціальній програмі, шляхом позиціонування курсорів для вимірювання довжини і висоти дефектів.

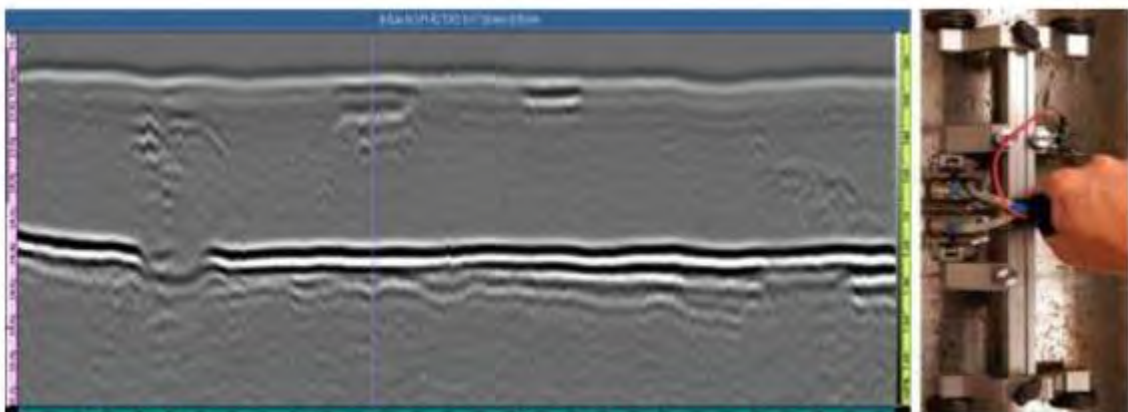


Рис. 1.16 – Скан отриманий одиночною групою датчиків TOFD при ручному скануванні

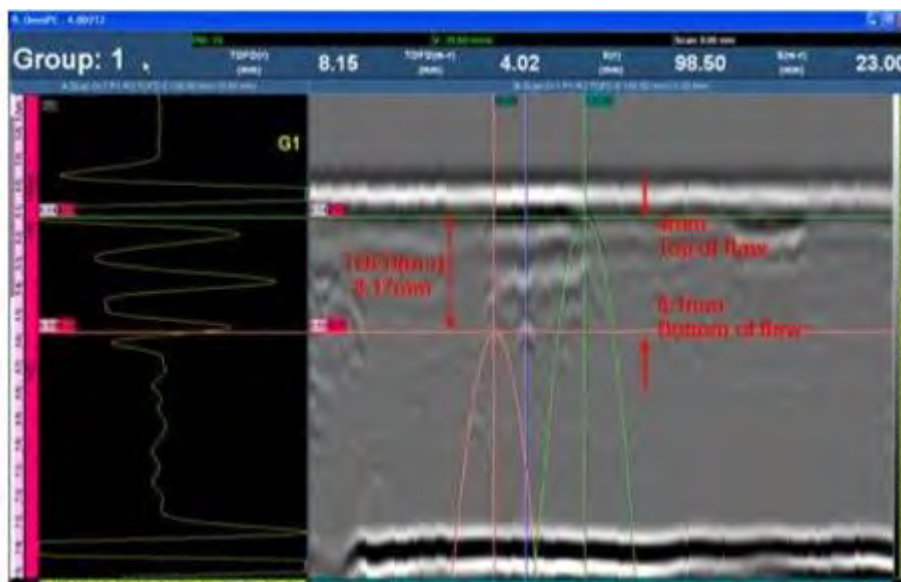


Рис. 1.17 – Приклад курсора на екрані дефектоскопу який визначає висоту дефекту

Залежно від вимог регіональних стандартів, TOFD може поєднуватися з луна-імпульсним методом або фазованими ґратками для контролю кореня і верхньої частини зварного шва. Дифракційно-часовий метод є точним і в деяких випадках здатний повністю замінити використання рентгенографічного методу. Згідно з аналізом результатів отриманих в результаті застосування дифракційно-часового методу і радіографії, метод TOFD дозволяє провести вимірювання розмірів дефекту і глибину його залягання в матеріалі. Зокрема метод TOFD більш чутливий до таких дефектів як площинні тріщини в порівнянні з RT. Крім того даний вид УЗК відрізняється безпекою, практичною відсутністю витратних матеріалів і швидкістю отримання результатів. За результатами дослідження "Ефективність застосування методу TOFD для контролю зварних з'єднань посудин під тиском на стадії виготовлення» [3] (Табл. 1.5) , проводилося порівняння даного методу з радіографією і традиційним луна-імпульсним методом для контролю зварних з'єднань посудин під тиском на стадії виготовлення, і отримані наступні дані:

Таблиця 1.5 – Вірогідність виявлення дефектів різними методами

Метод	Вірогідність виявлення дефекту
TOFD	70-90%
Радіографічний метод	60-70%
Традиційний луна-імпульсний	50-65%

Переваги методу TOFD:

1. Висока чутливість до дрібних дефектів у порівнянні з ехоімпульсним методом, більш висока точність визначення розмірів дефектів, як правило, ± 1 мм, а при повторному обстеженні до $\pm 0,3$ мм;
2. Виявлення дефектів незалежно від їх орієнтації і кута оброблення кромки зварного шва. Висока чутливість до всіх типів дефектів зварних швів і одночасний контроль околосшовної зони;
3. Вимірювання параметрів дефекту засноване на часі проходження дифракційних сигналів і не залежить від амплітуди сигналу;
4. Висока продуктивність контролю, швидке налаштування і виконання контролю, весь об'єм шва за один прохід за рахунок широкого охоплення одним променем, сканування вздовж лінії шва;
5. Документування та зберігання результатів контролю у вигляді А і В-сканів з подальшою можливістю їх повторного аналізу.
6. 100% відтворюваність результатів контролю.

Разом з тим метод TOFD має ряд більш-менш значних, в кожній конкретній ситуації, обмежень, основні з яких перераховані нижче.

1. У TOFD методі відсутній простий амплітудний поріг для вибірки гранично допустимих дефектів з метою їх подальшої реєстрації.

2. Мала амплітуда дифракційних сигналів - на 20-30dB нижче, ніж сигнали, одержувані при контролі луна-імпульсним методом, в деяких випадках вимагає використання передпідсилювачів, або комбінації генератор + передпідсилювач.
3. Наявність «мёртвих зон» у поверхні введення і протилежної стінки. Однак даний недолік не представляє серйозної проблеми, якщо не потрібна оцінка розмірів дефектів, що виходять на поверхню.
4. Метод TOFD оптимальний для контролю низьколегованих вуглецевих сталей і однорідних матеріалів з низьким рівнем загасання і розсіювання ультразвуку.
5. Неоднорідна структура зварного шва, контроль крупнозернистих матеріалів, призводить до збільшення кількості дифракційних сигналів і помилкових дефектів.

1.5 Огляд існуючих аналогів

Універсальний багатоканальний ультразвуковий дефектоскоп УД4-94-ОКО-01 призначений для контролю продукції на наявність дефектів типу порушення суцільності й однорідності матеріалів готових виробів, напівфабрикатів і зварних (паяних) з'єднань, виявлення дефектів, розпізнавання їх форм або орієнтацій, вимірювання глибин (координат) залягання або умовних розмірів дефектів. Дефектоскоп може застосовуватися для контролю якості продукції при її виготовленні та експлуатації в різних галузях промисловості, в тому числі в складі механізованих і автоматизованих комплексів неруйнівного контролю.

Універсальний багатоканальний ультразвуковий дефектоскоп УД4-94-ОКО-01 адаптований і повністю відповідає вимогам нормативної документації діючу систему різних виробничих секторах, таких як:

- А) атомна енергетика;
- Б) металовиробництво;
- В) трубна промисловість;
- Г) залізничний транспорт і т.д;



Рис. 1.20 - ультразвуковий дефектоскоп УД4-94-ОКО-01

Переваги дефектоскопа УД4-94-ОКО-01:

- висока продуктивність, за рахунок багатоканальності дефектоскопа;
- можливість впровадження дефектоскопа при проведенні механізованого та автоматизованого контролю;
- виключення впливу суб'єктивного фактора (за умови використання його в складі механізованої системи контролю);

Перспективна ультразвукова система для контролю зварних з'єднань ДВМ 3.0 (Рис. 1.21), система призначена для контролю зварних з'єднань труб, резервуарів, посудин, цистерн, корпусів судів, різних металоконструкцій і т. д. з використанням дифракційно-часового методу (TOFD). Метод дозволяє виявляти такі дефекти як тріщини, непровари, несплавлені крайки, пори, різні включення і т.д. Залежно від товщини ОК в комплект поставки можна включити додатково комплект призм з перетворювачами. TOFD система ДВМ 3.0 може комплектуватися іншим сканером. Кількість пар датчиків може варіюватися від однієї до чотирьох (для пошарового контролю товстостінних виробів).



Рис. 1.21 - Ультразвукова система для контролю зварних з'єднань ДВМ 3.0

Конфігурація системи ДВМ 3.0 максимально оптимізована для розміщення частини обладнання (акумуляторна батарея, TOFD канал) на спеціальному поясі, що не заважає руху, а також при проведенні контролю на висоті. Сканер системи виготовлений з алюмінієвого сплаву, що забезпечує надійність пристрою при цьому не обтяжуючи його.

Під час проведення контролю та настройки всі дані переносяться на віддалений ПК (ноутбук або планшет) через Wi-Fi. Система забезпечує захист цілісності даних контролю, вони зберігаються всередині TOFD модуля і передаються на ПК після закінчення контролю. При необхідності можна використовувати дротове з'єднання для передачі даних на ПК.

Основні переваги:

- швидкий, точний і високо відтворений контроль зварних швів;
- бездротова робота, програма збору даних може бути розташований в будь-якому місці в зоні доступу Wi-Fi;
- ультразвуковий сканер швів може працювати з будь-яким комп'ютером під керуванням Windows: ноутбуком, настільним комп'ютером, планшетним ПК і т.д.
- інтерфейс інтуїтивно зрозумілий для користувача;
- швидке налаштування завдяки бібліотекам елементів: бібліотека геометрії, бібліотека матеріалів, бібліотека сканерів, бібліотека зондів і т. д.

- подача контактної рідини під кожен перетворювач.

Дефектоскоп сканер ультразвуковий восьмиканальний УСД-60-8К (Рис.1.22) Призначений для високопродуктивного ручного ультразвукового контролю зварних швів. Сучасні цифрові технології дозволяють даному ультразвуковій дефектоскопу контролювати зварні з'єднання зі швидкістю до 4 м / хв. Застосування різних сканерів дозволяє будувати наочний С-скан зварного шва з точним визначенням координат дефектів. Розташування спеціальних 4-х каналних перетворювачів по обидві сторони зварного шва дозволило забезпечити його контроль за один прохід.

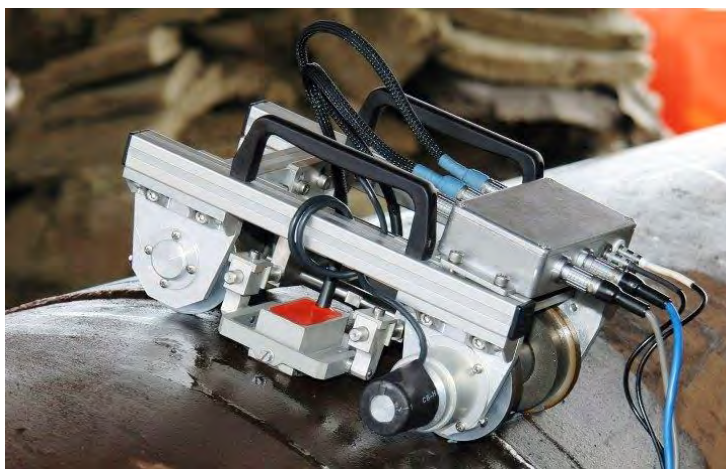


Рис. 1.22 - Дефектоскоп сканер ультразвуковий восьмиканальний УСД-60-8К

Основні переваги:

- Одночасне відображення сигналів у всіх каналах ультразвукового контролю в реальному часі.
- Перегляд і налаштування всіх параметрів кожного ультразвукового каналу.
- Незалежне ЧРЧ в кожному каналі контролю.
- Функція калібрування енодера для точного відліку координат і точного визначення положення дефекту по довжині контрольованого зварного шва.
- Збереження або перегляд результатів ультразвукового сканування.
- Обробка та аналіз проконтрольованого ділянки зварного шва.

Система TOFD PRO (Рис. 1.23) дозволяє виконувати завдання по контролю зварних швів наступних об'єктів; плоскі поверхні; продуктопроводи великих діаметрів (діаметром від 600 мм); сферичні і циліндричні ємності (діаметром від 10 м). Конфігурації контрольованих стикових зварних з'єднань: типи профілів: CRC-Evans, J-подібна оброблення, V-образна оброблення, подвійні V-подібні шви, X-подібні шви і т.д .; стандартна товщина стінок: від 6 мм (0,25 дюйма) до 50 мм (2 дюйми) і більше; матеріал труб: стандартні вуглецеві сталі.



Рис. 1.23 - Система TOFD PRO

Основні переваги:

- Контроль з використанням двох датчиків TOFD відповідно до стандартів CEN / TS 14751: 2004, ENV 583-6: 2000 - контроль зварних з'єднань дифракційно-тимчасовим методом;
- Виявлення дефектів будь-якої орієнтації (поздовжні, поперечні), точне визначення глибини і протяжності дефектів, високу чутливість, незалежність ймовірності виявлення дефектів від його кутового положення;
- Схема контролю забезпечує повне охоплення зони оброблення і всього обсягу зварного з'єднання;

- Контроль за все обсягу шва за один цикл сканування.

1.6 Вибір структурної схеми

При виборі оптимальної структурної схеми для нашої системи яка базується на методі TOFD, будемо орієнтуватись на структурні схеми луна-імпульсних дефектоскопів оскільки принцип роботи однаковий відрізняється лише програмне забезпечення та інформативні сигнали. Розглянемо приклад структурної схеми луна-імпульсного дефектоскопа (Рис. 1,8)

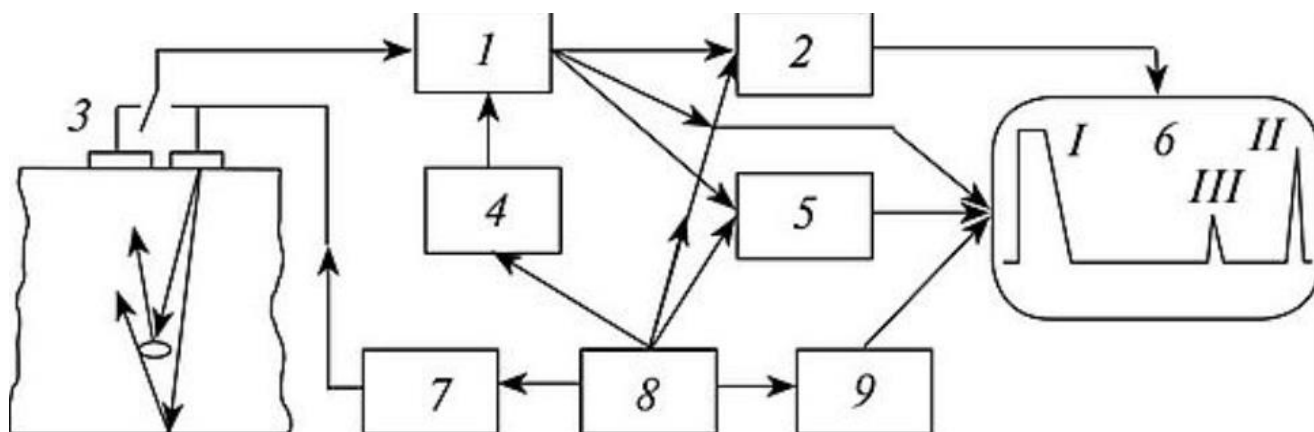


Рис. 1.8 - Структурна схема луна імпульсного дефектоскопа

1- підсилювач; 2 - реєстратор дефектів; 3 - перетворювач-приймач; 4 – часове регулювання чутливості; 5 - вимірювач амплітуди відбитого сигналу; 6 - дисплей; 7 – генератор зондуючих імпульсів; 8 - синхронізатор; 9 - пристрій сполучення; I - зондує імпульс; II - донний сигнал; III - луна-сигнал від дефекту

Але ця схема застаріла яка використовує багато аналогових компонентів які мають високі власні шуми. Для проведення контролю на високій швидкості нам потрібна система яка базується на найновіших компонентах, тому проаналізувавши літературу обираю наступну структурну схему(Рис. 1.9).

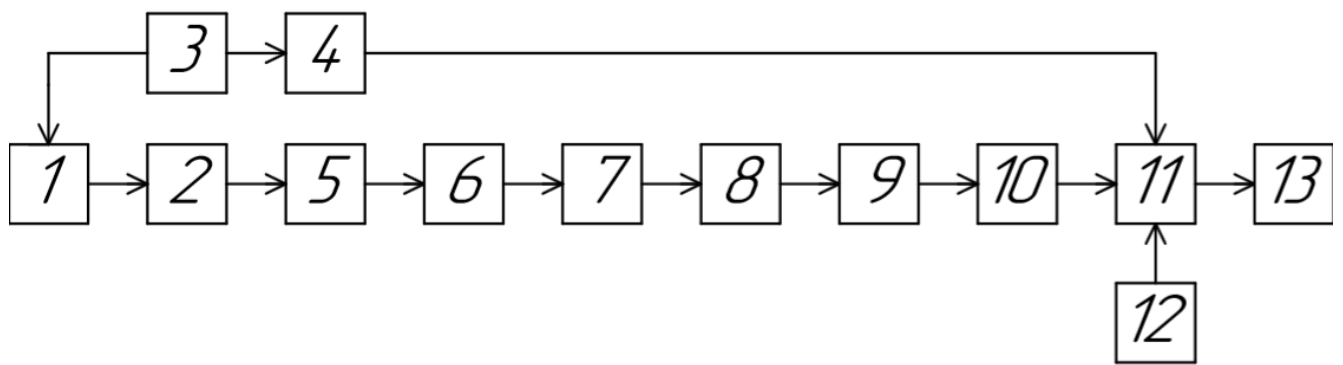


Рис. 1.9 - Структурна схема приладу:

1 – ПЕП-випромінювач; 2 – ПЕП-приймач; 3 – Генератор збуджуючих імпульсів; 4 – Драйвер; 5 – Підсилювач; 6 – Смуговий фільтр; 7 – Часове регулювання чутливості; 8 – Аналогово-цифровий перетворювач; 9 – Цифро-аналоговий перетворювач; 10 – Пам’ять; 11 – Мікроконтроллер; 12 – Клавіатура; 13 – Дисплей

Висновки до розділу 1

В даному розділі дисертації було проведено огляд великобаритних об’єктів для зберігання агресивних середовищ. Визначено основні їхні види, області застосування. Дізнались про основні проблеми в експлуатації. Розглянули основні найнебезпечніші дефекти які виникають під час експлуатації і які можуть призвести до великих аварій і навіть до катастроф якщо не проводити вчасно контроль. Також був проведений огляд методів неруйнівного контролю які застосовуються для контролю таких об’єктів. Розглянуті їхні сильні і слабкі сторони.

На основі аналізу визначено що ультразвуковий метод неруйнівного контролю є найкращим для контролю такого типу об’єктів.

Був обраний метод TOFD оскільки він є найефективнішим для контролю зварних з’єднань. Провели пошук можливих аналогів для нашої системи, на основі аналізу можна зробити висновок, що автоматизованих систем для контролю даного

типу об'єктів ще немає, тому є доцільною розробка такої системи. Обрали структурну схем

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок перетворювача

Перетворювач є одним з найважливіших компонентів будь-якої ультразвукової системи. Тому варто приділити велику увагу при розрахунку і виборі п'єзоперетворювача для обраного методу контролю. Для методу TOFD необхідно використовувати малошумні похилі сильно демпфовані перетворювачі з невеликим діаметром для забезпечення широкої діаграми направленості.



Рис. 2.1 – Похилий сильнодемпфований перетворювач з малим діаметром п'єзопластини

Частота на якій проводиться контроль $f = 2.25$ МГц . Можемо визначити товщину h ПЕП. Обираємо ПЕП виготовлений із матеріалу ЦТС-19, швидкість ультразвукових коливань в матеріалі $C_{\text{цтс}} = 3300$ м/с тоді товщина п'єзопластини визначається формолою:

$$h = \frac{C_{\text{цтс}}}{2 \cdot f} = \frac{3300}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^6} = 0,73 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} \quad (2.1)$$

$C_{цтс}$ – швидкість ультразвуку в оргсклі

f – частота улбтразвуку

Визначивши товщину п'єзопластини можна знайти довжину хвилі, швидкість в ОК

$C_{ОК} = 5900$ м/с :

$$\lambda = \frac{C_{ОК}}{f} = \frac{5900}{2 \cdot 2.5 \cdot 10^6} = 2.62 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} \quad (2.2)$$

λ – довжина хвилі

З конструктивних міркувань і згідно стандарту ISO 10863 пеп круглої форми, діаметр п'єзопластини $d_{п} = 6$ мм.

Визначимо глибину ближньої зони $a = d_{п}/2$:

$$r_{bl} = \frac{a^2}{\lambda} = \frac{3^2 \cdot 10^{-6}}{2.62 \cdot 10^{-3}} = 3.43 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} \quad (2.3)$$

r_{bl} – глибина ближньої зони

a – половина діаметру п'єзопластини(радіус)

Визначивши глибину ближньої зони можна знайти дальню зону

$$r_{dal} = 3r_{bl} = 10.29 \cdot 10^{-3} \quad (2.4)$$

Для введення поздовжньої хвилі в ОК потрібно розрахувати призму. Призма важливий елемент перетворювача за допомогою якої виконується введення ультразвукових коливань в ОК потрібного типу.

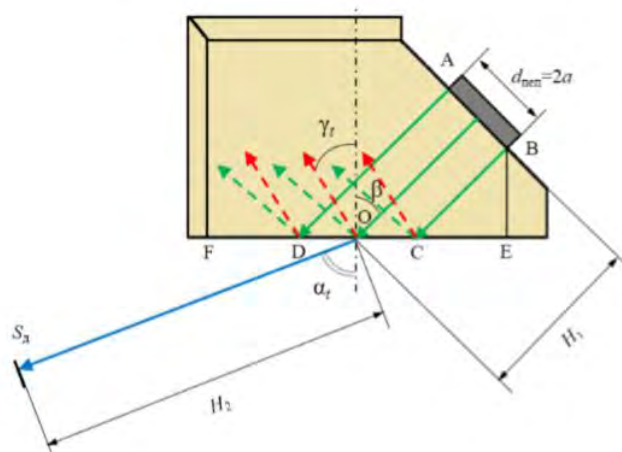


Рис. 2.2 – Поширення ультразвукових коливань в призмі

При контролі за допомогою методу TOFD потрібно забезпечити поширення поздовжніх хвиль в ОК. Щоб забезпечити введення поздовжніх хвиль в ОК потрібно щоб кут падіння β був меншим за перший критичний кут $\beta < \beta_{1кр}$. Перший критичний кут – це кут падіння поздовжньої хвилі на межу поділу двох середовищ при якому в другому середовищі зникає поздовжня хвиля.

$$\beta_{1кр} = \arcsin \frac{C_{l1}}{C_{l2}} = \arcsin \frac{2690 \text{ м/с}}{5900 \text{ м/с}} = 27^\circ \quad (2.5)$$

Згідно стандарту ISO 10863 для діапазону товщин від 15 до 35 мм кут вводу α (поздовжні хвилі) повинен бути в межах від $70^\circ - 60^\circ$. Обираю 60° . Для визначення кута під яким буде падати поздовжня хвиля на межу поділу двох середовищ(кут нахилу призми) скористаємось законом Снеліуса (Рис. 2.3).

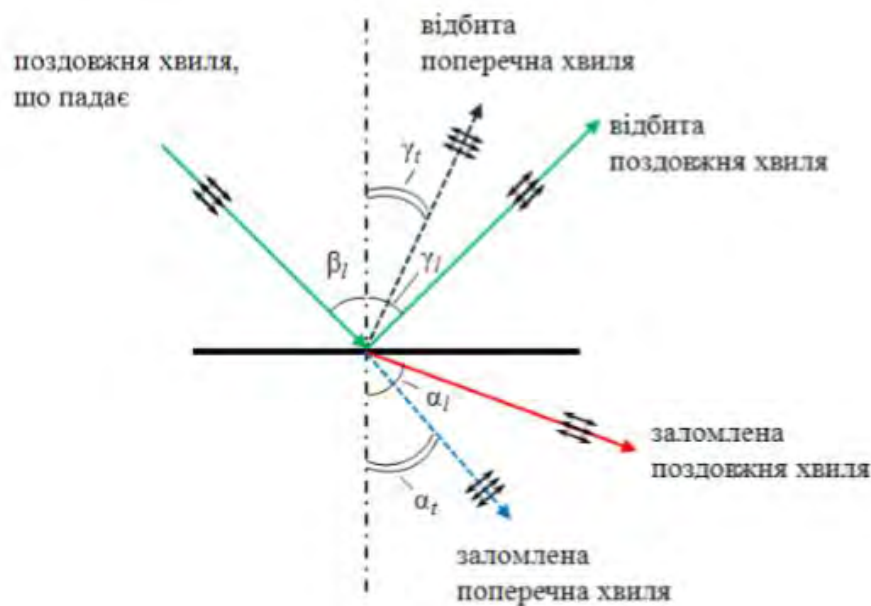


Рис. 2.3 – Трансформація поздовжніх хвиль згідно закону Снеліуса

$$\frac{\sin \beta_l}{C_{l1}} = \frac{\sin \alpha_l}{C_{l2}} \gg \beta = \arcsin \left(\frac{\sin \alpha \cdot C_{l1}}{C_{l2}} \right) = \arcsin \left(\frac{0.866 \cdot 2690}{5900} \right) = 23.25^\circ \quad (2.6)$$

Умова $\beta < \beta_{1кр}$ виконується отже в ОК буде існувати поздовжня хвиля.

Знайдемо кут розхилу головної пелюстки

$$\theta = \arcsin\left(\frac{1.22 \cdot \lambda_{\text{OK}}}{D}\right) = \left(\frac{1.22 \cdot 2,62 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3}}\right) = 30.54^\circ \quad (2.7)$$

Звідси:

$$2\theta = 61.8^\circ$$

Форма призми і її розміри вибираються такими, щоб вони забезпечували відсутність помилкових імпульсів (Рис. 2.2). Для цього необхідно, щоб відбиті від поверхні призма-ОК хвилі не потрапляли на п'єзопластину. У ближній зоні п'єзоелемента хвиля яка випромінюється слабо розходить. Тоді вимоги такі, що промінь ВС, що випромінюється з нижньої частини п'єзопластини після відбиття від межі поділу двох середовищ, не повинен потрапляти на верхню частину п'єзопластини, а промінь АД, що випромінюється з верхньої частини пластини не повинен потрапляти на ребро двогранного кута. Ці умови можна записати в наступному вигляді:

$$BE > \frac{2a \cdot \cos\beta}{\text{tg}(\beta + \gamma_t)} \quad (2.8)$$

$$\gamma_t = \arcsin\left(\frac{\sin\beta \cdot C_{l1}}{C_{l1}}\right) = \arcsin\left(\frac{0.395 \cdot 2690}{2690}\right) = 23.25^\circ \quad (2.9)$$

Звідси:

$$BE > \frac{6 \cdot 0.919}{8.45} = 0.65 \text{ мм}$$

$$OF > OD > \frac{a}{\cos\beta} = \frac{3}{0.919} = 3.26 \text{ мм} \quad (2.10)$$

Шлях поирення променя в призмі визначається формулою:

$$H_1 = \frac{2a}{\text{tg}(\beta + \gamma_t)} + a \cdot \text{tg}\beta = \frac{6}{8.45} + 3 \cdot 0,429 = 2 \text{ мм} \quad (2.11)$$

З конструктивних міркувань вибираю наступні розміри призми (Рис. 2.4)

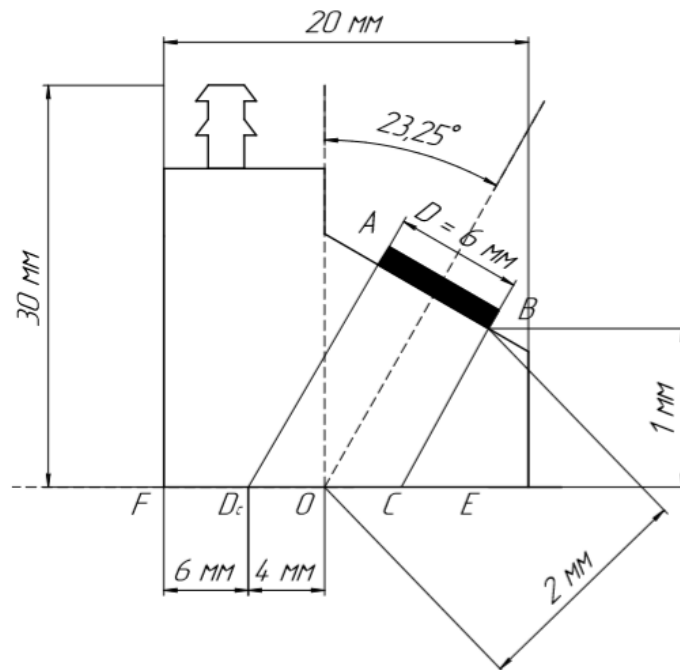


Рис. 2.4 – Розраховані розміри призми

2.2 Розрахунок акустичного тракту

Акустичний тракт – це шлях ультразвукової хвилі від випромінювача до дефекту і від дефекту до приймача. Розрахунок акустичного тракту – це представлення в розрахункових формулах послаблення амплітуди ехо-сигналу в залежності від акустичних властивостей ОК, розмірів і частоти перетворювача, розміру дефекту і відстані до нього.

Основним результатом розрахунку акустичного тракту є коефіцієнт ослаблення акустичного тракту $K_{a.t.}$

Для похилого введення ультразвукових хвиль використовується наступна схема акустичного тракту Рис. 2.5

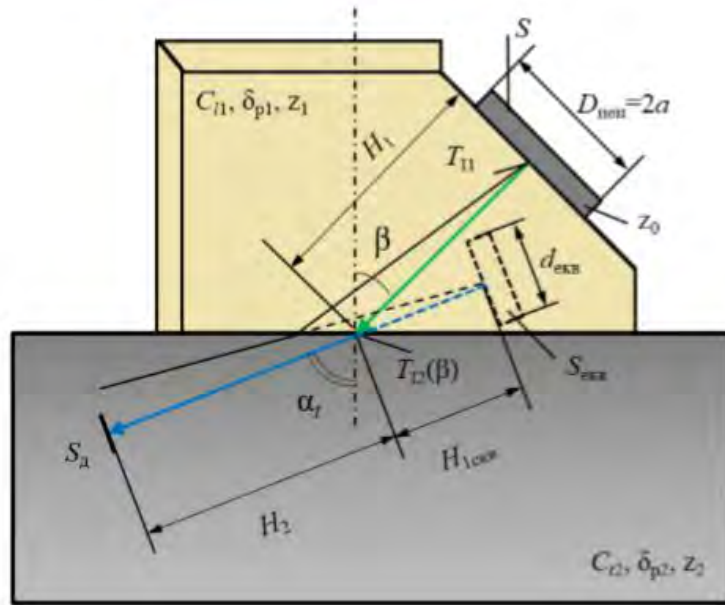


Рис. 2.5 – Схема акустичного тракту для похилого введення ультразвукових хвиль в ОК

Для того щоб розрахувати акустичний тракт при похилому введенні потрібно внести еквівалентні заміни: акустична вісь випрамляється і виконується розрахунок уявного перетворювача. Відповідно до схеми акустичного тракту і променевої картини виконаємо еквівалентні заміни.

Діаметр уявного перетворювача:

$$d_{\text{екв}} = d_{\text{неп}} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.5}{0.874} = 3.4 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (2.12)$$

Відстань яку проходить ультразвукова хвиля в призмі до уявного перетворювача:

$$H_{1\text{екв}} = H_1 \frac{C_{l1} \cos \alpha}{C_{l2} \cos \beta} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{2690 \cdot 0.5}{5900 \cdot 0.919} = 0.49 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (2.13)$$

Загальна відстань яку проходить ультразвукова хвиля з урахуванням всіх еквівалентних замін визначається за формалою:

$$H_{\text{заг}} = H_2 + H_{1\text{екв}} \quad (2.14)$$

Де $H_2 = 60$ мм залежить від глибини залягання відбивача у данному випадку це донна поверхня. Визначається геометрично в залежності від кута заломлення і товщини ОК (Рис. 2.6)

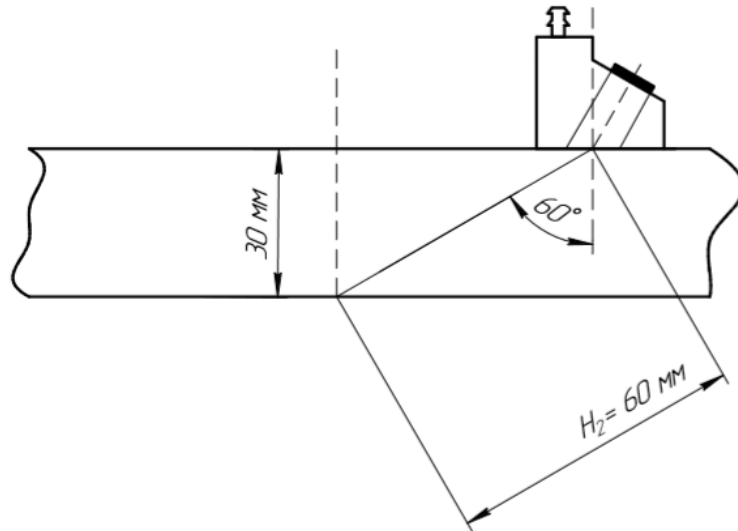


Рис. 2.6 – Відстань яку проходить поздовжня хвиля до відбивача

Звідси:

$$H_{\text{заг}} = H_2 + H_{1\text{екв}} = 60 + 0.49 = 60.49 \text{ мм}$$

Визначимо площу уявного перетворювача:

$$S_{\text{екв}} = \pi \frac{d_{\text{пеп}}^2 \cos a}{4 \cos b} = 3.14 \cdot \frac{(6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0.5}{4 \cdot 0.919} = 15.4 \cdot 10^{-6} \text{ м} \quad (2.15)$$

Коефіцієнт послаблення акутичного тракту для донної поверхні визначається наступною формулою:

$$K_{\text{а.т.}} = \frac{S_{\text{екв}}}{2\lambda_{\text{ОК}}(H_2 + H_{1\text{екв}})} T_{l1} T_{l2}(\beta) R_p e^{-2(H_1 \delta_{P1} + H_2 \delta_{P2})} \quad (2.16)$$

Розрахуємо кофіцієнт проходження по інтенсивності T_{l1} на межі двох середовищ ПЕП – призма.

Характеристики середовищ:

а) Швидкість поширення:

$$\text{ЦТС-19} - C_{\text{ЦТС}} = 3300 \text{ (м/с)}$$

$$\text{Оргскло} - C_{\text{ОРГ}} = 2690 \text{ (м/с)}$$

б) Густина:

$$\text{ЦТС-19} - \rho_{\text{ЦТС}} = 7450 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

$$\text{Оргскло} - \rho_{\text{ОРГ}} = 1180 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Розрахунок імпедансів середовищ за формолою:

$$Z_i = C_i \cdot \rho_i \quad (2.17)$$

а) Імпеданс ЦТС-19:

$$Z_{\text{ЦТС}} = C_{\text{ЦТС}} \cdot \rho_{\text{ЦТС}} = 3300 \left(\frac{\text{М}}{\text{С}}\right) \cdot 7450 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right) = 24.5 \cdot 10^6 \quad (2.18)$$

б) Імпеданс оргскла:

$$Z_{\text{ОРГ}} = C_{\text{ОРГ}} \cdot \rho_{\text{ОРГ}} = 2690 \left(\frac{\text{М}}{\text{С}}\right) \cdot 1180 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right) = 37.7 \cdot 10^6 \quad (2.19)$$

Розрахуємо коефіцієнту проходження за формулою :

$$T_i = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad (2.20)$$

де Z_1, Z_2 – імпеданс в 1 та 2 середовищі відповідно.

$$T_{\text{ЦТС-оргскло}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{ЦТС}} \cdot Z_{\text{ОРГ}}}{(Z_{\text{ЦТС}} + Z_{\text{ОРГ}})^2} = \frac{4 \cdot 24,5 \cdot 10^6 \cdot 37,7 \cdot 10^6}{(24,5 \cdot 10^6 + 37,7 \cdot 10^6)^2} = 0,405$$

Коефіцієнт проходження по інтенсивності T_{I2} на межі двох середовищ призма – ОК визначається експериментально за графіком який зображений на Рис. 2.7

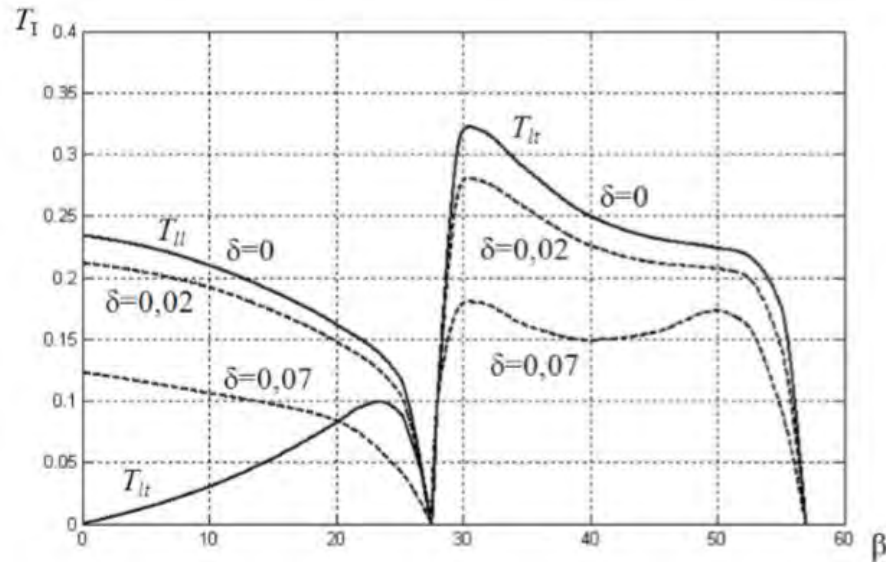


Рис. 2.7 – Графік залежності коефіцієнта проходження від кута падіння поздовжньої хвилі на межу поділу середовищ: оргскло-сталь через тонкий шар рідини

Згідно графіку на Рис. 2.8 для кута $\beta = 23.25^\circ$ коефіцієнт $T_{l2} = 0.15$

Оскільки ми вважаємо що хвиля повністю відіб'ється від донної поверхні то приймаємо коефіцієнт R_p рівним 1.

Значення коефіцієнтів δ_{p1} для оргскла і δ_{p2} для сталі є табличними і дорівнюють: $\delta_{p1} = 25$ Нп/м, $\delta_{p2} = 20$ Нп/м. Знайшовши всі значення можемо розрахувати коефіцієнт послабленн акустичного тракту для донної поверхні:

$$K_{a.t.} = \frac{15.4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 2.62 \cdot 10^{-3} (60 + 0.49)} 0.405 \cdot 0.15 \cdot e^{-2(2 \cdot 10^{-3} \cdot 25 + 60 \cdot 10^{-3} \cdot 20)} = 6.46 \cdot 10^{-3}$$

Розрахуємо коефіцієнт послаблення акустичного тракту від країв тріщини для випадку дифракції хвиль. Довжина хвилі $\lambda = 2.6 \cdot 10^{-3}$, мінімальний розмір дефекту який ми можемо виявити дорівнює $d_{\text{деф}} = 1.5\lambda = 3.9 \cdot 10^{-3}$. Але оскільки ми приймаємо дифракційні хвилі від тріщини то приймаємо:

$$d_{\text{тріщ}} = 0.1 \cdot d_{\text{деф}} = 0.1 \cdot 3.9 = 0.39 \cdot 10^{-3} \quad (2.21)$$

Площа дефекту:

$$S_{\text{тріщ}} = \pi \frac{d_{\text{тріщ}}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(0,39 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 11,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \quad (2.22)$$

Знайдемо шлях який проходить ультразвукова хвиля відповідно до верхнього і нижнього краю згідно променевої картині (Рис.2.8). Але для цього спочатку розрахуємо відстань між двома датчиками яка буде визначати перетин акустичних осей перетворювачів на $2/3$ глибини.

$$L = 2 \cdot \frac{2}{3} H \cdot \text{tg} \alpha = 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73 = 69,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (2.21)$$

Вважаємо що дефект розташований на акустичній осі і на глибині $2/3H$.
Діаметр дефекту $d_{\text{деф}} = 2\lambda = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

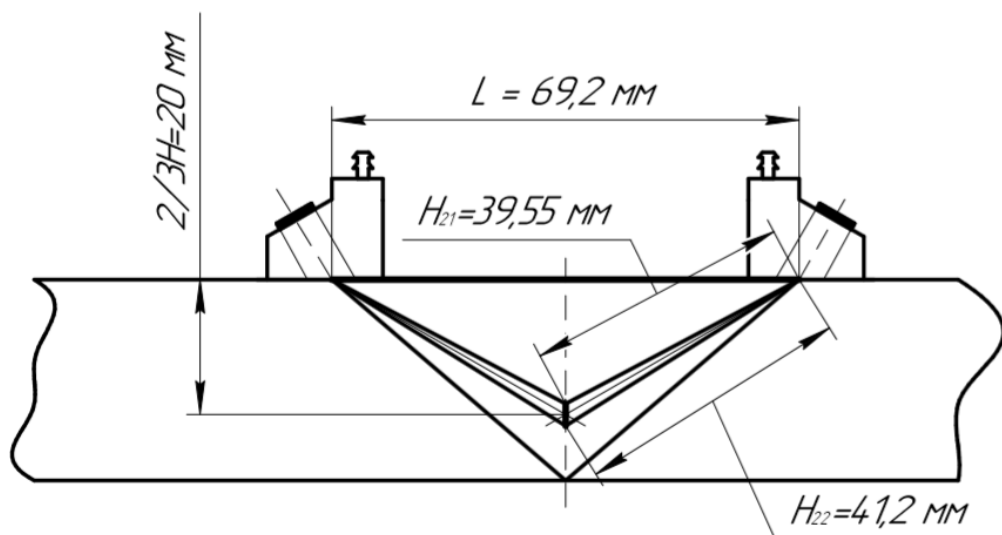


Рис. 2.8 – Променева картина

Отже шлях який проходить хвиля до верхнього краю дефекту $H_{21} = 39,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, шлях до нижнього краю рівний $H_{22} = 41,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Визначимо коефіцієнт послаблення акустичного тракту за формулою (2.23) . Для даного випадку відбивачем буде тонкий диск, який знаходиться в дальній зоні випромінювача (Рис. 2.9)

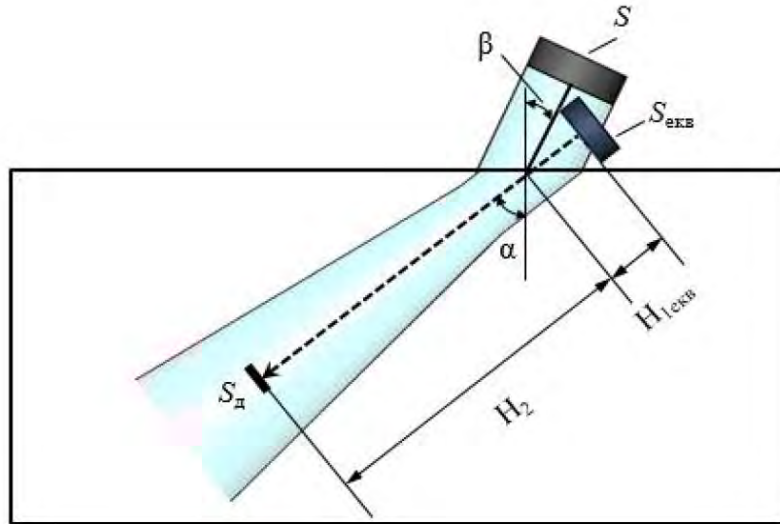


Рис. 2.9 – Схема акустичного тракту

Для верхнього краю:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{а.т.}} &= \frac{S_{\text{тріщ}} S_{\text{екв}}}{\lambda_{\text{ОК}}^2 (H_{21} + H_{1\text{екв}})} T_{l1} T_{l2}(\beta) R_p e^{-2(H_1 \delta_{P1} + H_{21} \delta_{P2})} \\
 &= \frac{11.9 \cdot 10^{-8} \cdot 15.4 \cdot 10^{-6}}{(2.62 \cdot 10^{-3})^2 (39.55 \cdot 10^{-3} + 0.49 \cdot 10^{-3})} 0.405 \cdot 0.15 \quad (2.23) \\
 &\cdot e^{-2(2 \cdot 10^{-3} \cdot 25 + 60 \cdot 39.55 \cdot 10^{-3})} = 1.712 \cdot 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Для нижнього краю:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{а.т.}} &= \frac{S_{\text{тріщ}} S_{\text{екв}}}{\lambda_{\text{ОК}}^2 (H_{22} + H_{1\text{екв}})} T_{l1} T_{l2}(\beta) R_p e^{-2(H_1 \delta_{P1} + H_{21} \delta_{P2})} \\
 &= \frac{11.9 \cdot 10^{-8} \cdot 15.4 \cdot 10^{-6}}{(2.62 \cdot 10^{-3})^2 (41.2 \cdot 10^{-3} + 0.49 \cdot 10^{-3})} 0.405 \cdot 0.15 \quad (2.24) \\
 &\cdot e^{-2(2 \cdot 10^{-3} \cdot 25 + 60 \cdot 39.55 \cdot 10^{-3})} = 1.82 \cdot 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Розрахуємо акустичний тракт для підповерхневих хвиль. Для цього скористаємось модифікованою формулою для хвиль Релея оскільки тракту для підповерхневих хвиль не існує.

$$K_{\text{а.т.}} = \frac{S_{\text{неп}}}{\lambda_{\text{ОК}}(L_2)} T_{l1} T_{l2}(\beta) R_p e^{-(2H_1 \delta_{P1} + L_2 \delta_{P2})} \quad (2.25)$$

Де L_2 – це відстань між центрами двох датчиків, а також відстань до уявних перетворювачів.

$$L_2 = L + 2 * H_{1\text{екв}} = 69.2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0.49 \cdot 10^{-3} = 70.18 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (2.26)$$

Де $S_{\text{пеп}}$ – площа перетворювача, визначається за формолою:

$$S_{\text{пеп}} = \pi \frac{d_{\text{пеп}}^2}{4} = 3.14 \cdot \frac{(6 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 28.2 \cdot 10^{-6} \quad (2.27)$$

Підставляємо у формулу акустичного тракту:

$$\begin{aligned} K_{\text{а.т.}} &= \frac{S_{\text{пеп}}}{\lambda_{\text{ОК}}(L_2)} T_{l1} T_{l2}(\beta) R_p e^{-(2H_1 \delta_{P1} + L_2 \delta_{P2})} \\ &= \frac{28.2 \cdot 10^{-6}}{2.62 \cdot 10^{-3} (70.18 \cdot 10^{-3})} \cdot 0.405 \cdot 0.15 \cdot e^{-(0.49 \cdot 10^{-3} \cdot 25 + 60 \cdot 70.18 \cdot 10^{-3})} \\ &= 1.36 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

2.3 Розрахунок електроакустичного тракту

Електроакустичним трактом - називають ділянку електричної схеми, де відбувається перетворення електричних коливань в ультразвукові і навпаки. Електроакустичний тракт складається з п'єзоперетворювача, демпфера, тонких перехідних шарів і електричних коливальних контурів генератора і приймача. Електроакустичний тракт визначає резонансну частоту ультразвукових коливань, тривалість зондуючого імпульсу і коефіцієнт перетворення електричної енергії в акустичну.

Розрахований електроакустичний тракт дає змогу приблизно оцінити напругу випроміненого і прийнятого сигналу.

Напруга випромінюваного перетворювачем луно-сигналу визначається за формулою 2.10:

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{пр}}}{K_{\text{а.т.}} \cdot K_{\text{п.п.}}} \quad (2.28)$$

Скориставшись формулою 2.10, маємо:

$$U_{\text{пр}} = K_{\text{а.т.}} \cdot K_{\text{п.п.}} \cdot U_{\text{в}} \quad (2.29)$$

де U_B – напруга випроміненого сигналу, $K_{п.п.}$ – коефіцієнт подвійного перетворення (для ЦТС-19 приймаємо $K_{п.п.} = 0.2$).

Оскільки амплітуда прийнятого сигналу має бути набагато більше рівня шуму, то випромінювати будемо не менше $U_B = 250$ В.

Знайдемо прийнятну напругу зонduючого імпульсу для підповерхневої хвилі:

$$U_{пр.} = K_{а.т.} \cdot K_{п.п.} \cdot U_B = 1.36 \cdot 10^{-4} \cdot 0.2 \cdot 250 = 6.8 \cdot 10^{-3} \text{ (В)}$$

Знайдемо прийнятну напругу зонduючого імпульсу від верхнього краю дефекту:

$$U_{пр.} = K_{а.т.} \cdot K_{п.п.} \cdot U_B = 1.712 \cdot 10^{-6} \cdot 0.2 \cdot 250 = 8.56 \cdot 10^{-5} \text{ (В)}$$

Знайдемо прийнятну напругу зонduючого імпульсу від нижнього краю дефекту:

$$U_{пр.} = K_{а.т.} \cdot K_{п.п.} \cdot U_B = 1.82 \cdot 10^{-6} \cdot 0.2 \cdot 250 = 9.1 \cdot 10^{-5} \text{ (В)}$$

Знайдемо прийнятну напругу зонduючого імпульсу від донної поверхні:

$$U_{пр.} = K_{а.т.} \cdot K_{п.п.} \cdot U_B = 6.46 \cdot 10^{-3} \cdot 0.2 \cdot 250 = 0.32 \text{ (В)}$$

Часова діаграма сигналів Рис. 2.10

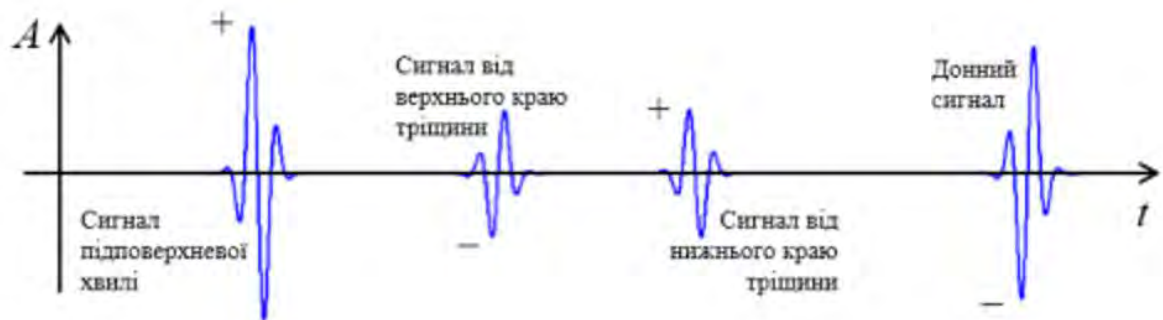


Рис. 2.10 – Часова діаграма сигналів

2.4 Розробка та розрахунок функціональної схеми

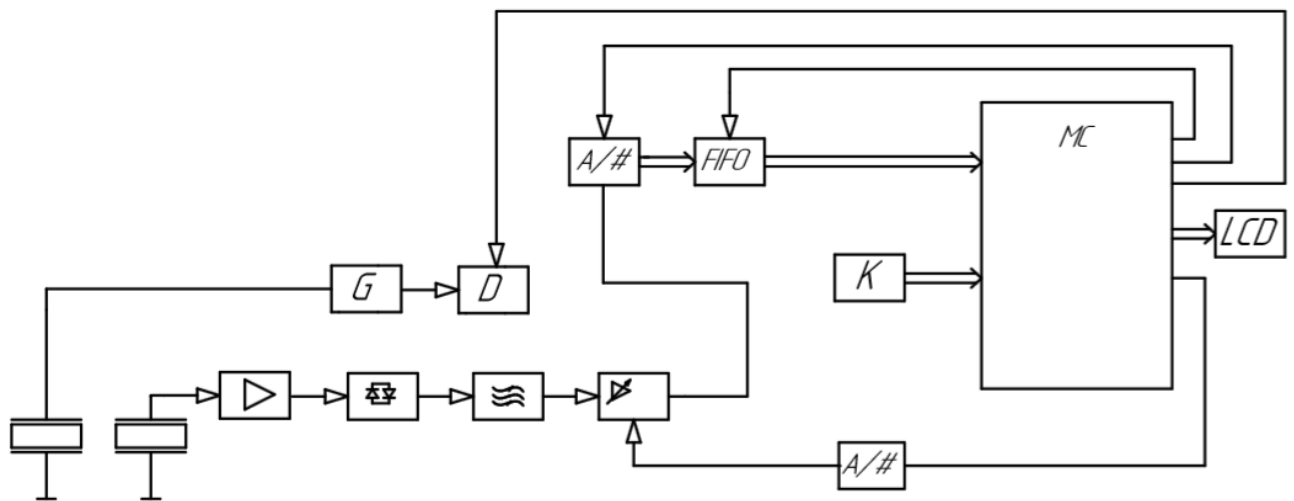


Рис. 2.11 – Функціональна схема системи

Розглянемо принцип роботи ультразвукової системи для автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів. Мікроконтролер виробляє тактові сигнали, які надходять на вхід драйвера, драйвер подає напругу на транзистор генератора який відкривається. Генератор зондувальних імпульсів виробляє електричний імпульс з амплітудою $A_{\text{зонд}}$, який надходить до ПЕП-випромінювача. За рахунок зворотного п'єзоефекту генеруються поздовжні хвилі які поширюються в об'єкті контролю (ОК). Коливання, відбиті від донної поверхні, а також підповерхнева хвиля і дифракційні сигнали від дефектів ОК з амплітудою $A_{\text{д}}$ повертаються до перетворювача. За рахунок прямого п'єзоефекту відбиті коливання перетворюються в електричні імпульси, які потрапляють до підсилювача.

З підсилювача сигнал іде до фільтру, який відсікає непотрібну частину сигналу. З фільтру сигнал потрапляє на ЧРЧ яка керується мікроконтролером через ЦАП, ЧРЧ вирівнюванює амплітуду ехосигналів від однакових відбивачів які розташовані на різній глибині, далі сигнал оцифровується і потрапляє спочатку на

ОЗП типу FIFO після чого на мікроконтролер де йде обробка сигналів і подальше виведення на дисплей.

2.4.1 Розрахунок генератора зондуючих імпульсів

Генератор зондуючих імпульсів (рис. 2.12) призначений для збудження п'єзоелемента, який в свою чергу генерує ультразвукові коливання в об'єкт контролю. Основними елементом генератора є коливальний контур і електронна схема яка забезпечує генерацію коротких імпульсів потрібної форми заповнених радіочастотними коливаннями.

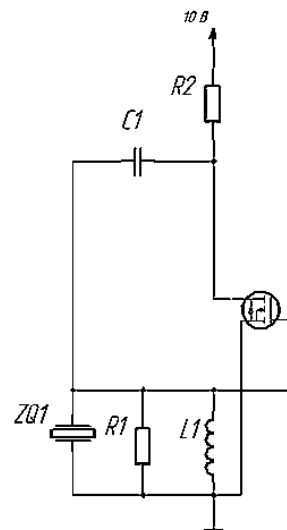


Рис. 2.12. - Генератор зондуючих імпульсів

Коливальний контур включає п'єзоелемент ZQ1, індуктивність L1 і шунтуючий опір R1. Підбором індуктивності забезпечують потрібну частоту заповнення генеруючого імпульсу, а регулювання R1 забезпечує необхідну добротність контура. Амплітуда імпульсу залежить від напруги, а також сталої часу ланцюга заряду, яка визначається балансним опором R2 і накопичувальним конденсатором C1.

Використано схему ГЗІ з n-канальним DMOS-польовим транзистором - FDP2710 у якості ключа.

Але для керування таким транзистором потрібен драйвер. Оберемо драйвер на базі MAX628.

Принцип роботи генератора: при відсутності імпульсу на управляючому електроді SW, транзистор закритий і в цей час конденсатор C_1 заряджається, до рівня $U_C = +E$. При наявності імпульсу на управляючому електроді транзистора VT1 він відкривається, і конденсатор C_1 розряджається по контуру, викликаючи збудження коливального контуру. Під час збудження коливального контуру, п'єзоелемент генерує акустичні коливання в ОК.

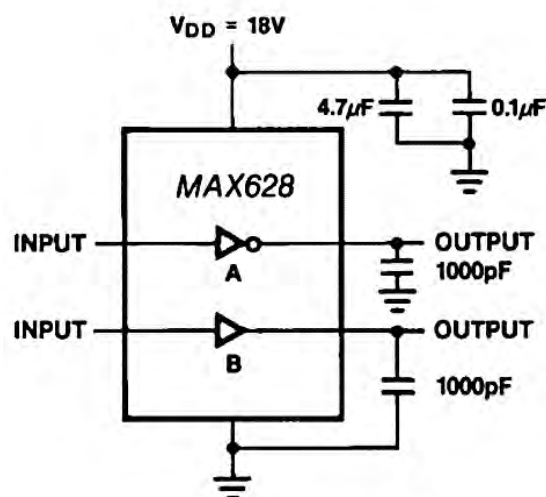


Рис. 0.1. Схема підключення драйвера MAX628

Значення напруги, яке необхідно подавати на генератор ударного збудження, розраховується за формулою 2.31:

$$U_B \cong 0.4 \cdot E \quad (2.30)$$

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

$$E = \frac{U_B}{0.4} = \frac{100}{0.4} = 250 \text{ (В)} \quad (2.31)$$

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:

$$\tau_{\text{заряд}} \leq 2 \cdot \frac{H_{\text{заг}}}{C_{\text{ок}}} = 2 \cdot \frac{60.49 \cdot 10^{-3}}{5900} = 20.5 \cdot 10^{-6}(\text{с}) = 20.5 (\text{мкс}) \quad (2.32)$$

Приймаємо: $\tau_{\text{заряд}} = 21 (\text{мкс})$.

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 $C_1 = 5 (\text{нФ})$.

$$R_2 = \frac{\tau_{\text{заряд}}}{3 \cdot C_1} = \frac{20.5 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 5 \cdot 10^{-9}} = 1333(\text{Ом}) = 1.33 (\text{кОм}) \quad (2.33)$$

Повинна виконуватися умова:

$$\tau_{\text{розряд}} \ll \tau_{\text{заряд}} \quad (2.34)$$

Ємність п'єзоперетворювача розраховується за наступною формулою:

$$C_{\text{ПЕП}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{\text{цтс}} \cdot \frac{S}{h} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1700 \cdot \frac{28.2 \cdot 10^{-6}}{0.73 \cdot 10^{-3}} = 0.578 (\text{нФ}) \quad (2.35)$$

де $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}(\text{Ф/м})$ – 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:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{пеп}}}{C_1 + C_{\text{пеп}}} = \frac{4 \cdot 0.57}{4 + 0.57} = 0.518 (\text{нФ}) \quad (2.36)$$

Switching Characteristics						
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	$V_{DD} = 125V, I_D = 50A$ $V_{GS} = 10V, R_{GEN} = 25\Omega$	--	80	170	ns
t_r	Turn-On Rise Time		--	252	515	ns
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time		--	112	235	ns
t_f	Turn-Off Fall Time		(Note 4)	--	154	320
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DS} = 125V, I_D = 50A$ $V_{GS} = 10V$	--	78	101	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge		--	34	--	nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge		(Note 4)	--	18	--

Рис. 2.13. Даташит транзистора

Опір транзистора у відкритому стані 25 (Ом) (Рис.2.13), тоді:

$$\tau_{розряд} = C_{зар} \cdot R_{VT1} = 0.51 \cdot 10^{-9} \cdot 25 = 12.9 \cdot 10^{-7} (с) = 3.5 (нс), \quad (2.37)$$

що цілком задовольняє умову (2.17).

Робоча частота п'єзодатчика складає 5 МГц і відповідно дорівнює:

$$f_p \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_{ПЕП}}} \quad (2.38)$$

Виражаємо індуктивність котушки L_1 для заданої частоти:

$$L_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_p^2 \cdot C_{ПЕП}} = \frac{1}{4 \cdot 9.8596 \cdot 50.6^{12} \cdot 0.57 \cdot 10^{-9}} = 8.6 (мкГн) \quad (2.39)$$

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

$$\tau_{зі} = \frac{1}{2 \cdot f_p} = \frac{1}{2 \cdot 5 \cdot 10^6} = 0.22 \cdot 10^{-6} (с) \quad (2.40)$$

2.4.2 Розрахунок операційного підсилювача

Для підсилення прийнятого сигналу використаємо підсилювач на базі операційного підсилювача AD8051 (рис. 2.8).

Вхідну напругу потрібно підсилити до рівня 0.1В. Працювати ОП буде від -5В до 5В.

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

$$K = \frac{U_{max}}{U_{прmin}} = \frac{0.1}{8,56 \cdot 10^{-5}} = 1168 \quad (2.41)$$

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

Приймаємо $K = 1200$.

Але врахуємо коефіцієнт підсилення схеми ЧРЧ він рівний 200, тобто щоб отримати коефіцієнт підсилення 1200 розрахуємо підсилювач на коефіцієнт підсилення 6.

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

$$U_{підс} = K \cdot U, \quad (2.42)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

При такому коефіцієнті підсилення використаємо 1 каскад на 6

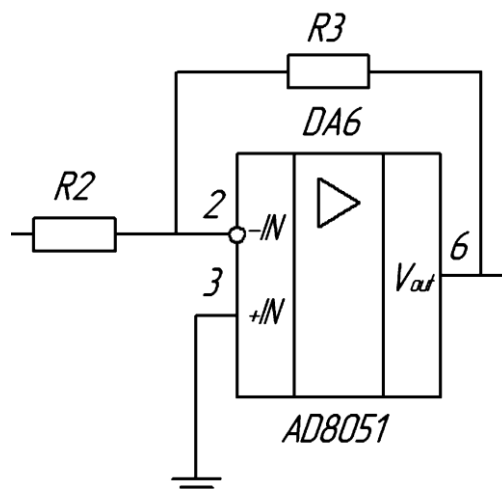


Рис. 2.14. Підсилювач на базі ОП AD8051

Резистори визначають коефіцієнт підсилення:

$$K_U = \frac{R_3}{R_2}, \quad (2.44)$$

де K_U – коефіцієнт підсилення.

$R_3 = 6$ (кОм), $R_2 = 1$ (кОм).

2.4.3 Розрахунок смугового фільтру

Використаємо смуговий фільтр для того, щоб позбутися сигналів завад. Фільтр, відфільтрує усі гармоніки, що не є інформативним сигналом. Для того, щоб визначити смугу пропускання фільтру, визначимо частотну характеристику прийнятого сигналу.

Модель луна-імпульсного має наступний вигляд:

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

де A – амплітуда; g – коефіцієнт швидкості згасання; w – частота перетворювача.

Змоделюємо цей сигнал в програмному середовищі Matlab (рис. 2.15)

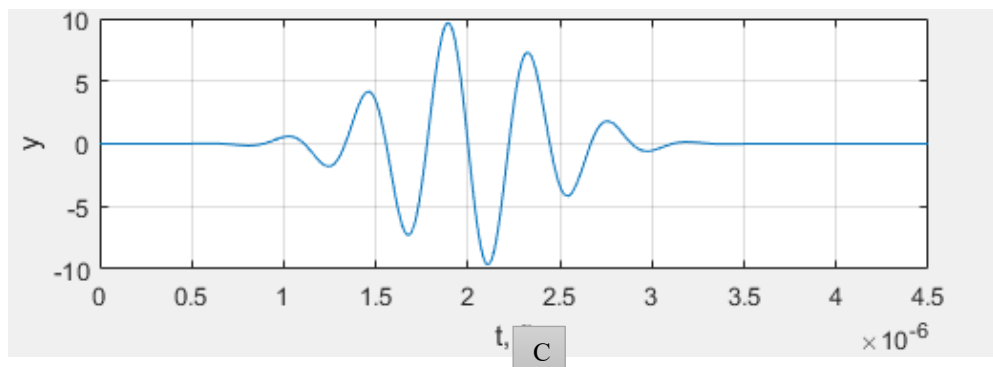


Рис.2.15 – Сигнал в часовій області

Визначимо полосу пропускання фільтру, побудувавши частотну характеристику сигналу, встановимо полосу пропускання на рівні -20 дБ.

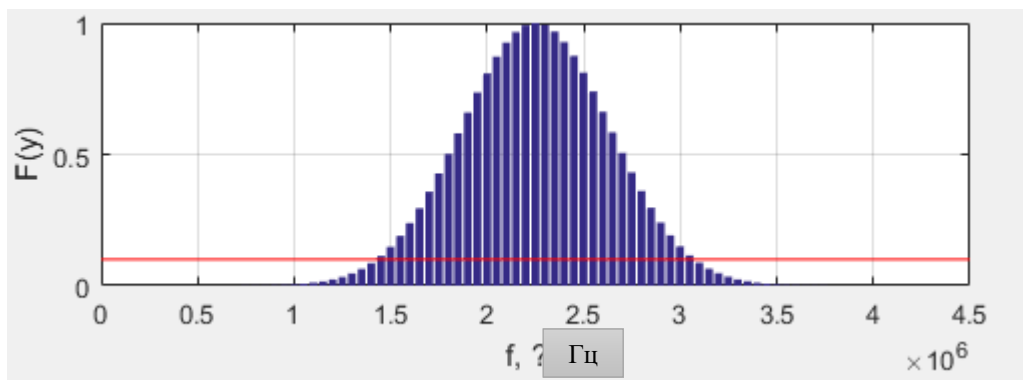


Рис. 2.16. Нормований спектр луна-імпульсного сигналу

З рис. 2.13 видно, що смуга пропускання фільтру дорівнює від 1,4 МГц до 3,1 МГц, тобто 1,7 МГц.

Спроекуємо фільтр за допомогою FilterPro фірми Texas Instruments (рис. 2.11).

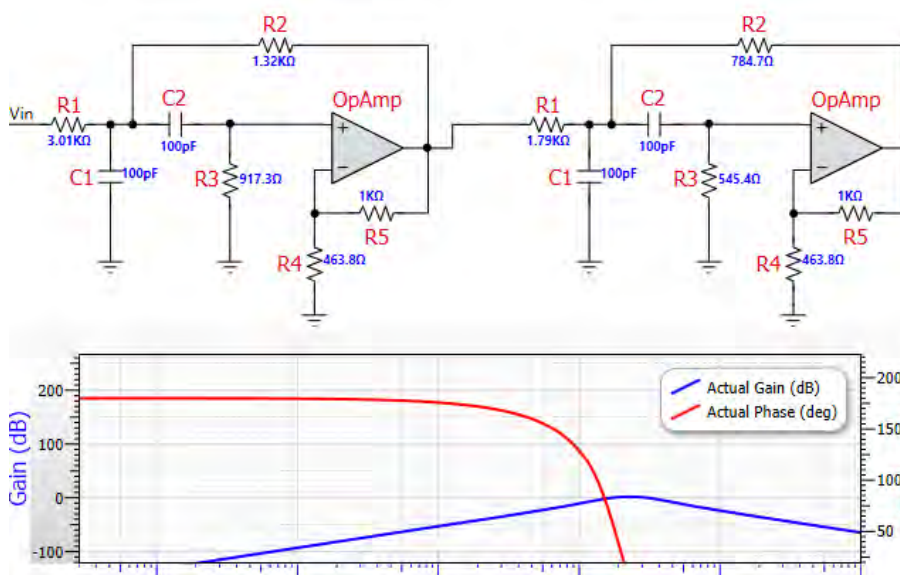


Рис. 2.17 – Змодельований двокаскадний смуговий фільтр

2.4.4 Вибір часового регулювання чутливості

Система часового регулювання чутливості (ЧРЧ) призначена для вирівнювання амплітуд ехосигналів від однакових відбивачів які розташовані на

різній глибині. Вирівнювання амплітуд виробляють з метою встановлення бракувального рівня у вигляді горизонтальної лінії. Викликано це, необхідністю компенсувати ослаблення ультразвуку в контрольованому виробі, яке обумовлене дифракційною розбіжністю і загасанням.

Виходячи з цього закон зміни посилення повинен бути зворотним закону убубання амплітуд відбитих сигналів від однакових за розмірами дефектів у міру їх віддалення від перетворювача.

У найбільш досконалих приладах сигнал системи ЧРЧ, що враховує дифракційну розбіжність ультразвуку, підбирають кнопковим перемикачем. Сигнал відповідає типу використовуваного перетворювача (залежить від розмірів перетворювача, його частоти), а також тривалості початкової ділянки, на якому керуючий сигнал зберігається постійним, відповідно до довжини ближньої зони перетворювача. Загасання компенсують іншим керуючим сигналом ЧРЧ або поворотом лінії розгортки в приладах з логарифмічним підсилювачем.

В нашому випадку використаємо схему ЧРЧ на базі мікросхеми AD604. Але вона керується аналоговим сигналом, тому використаємо цифро-аналоговий перетворювач на базі AD7226 схема підключення показана на Рис. 2.12.

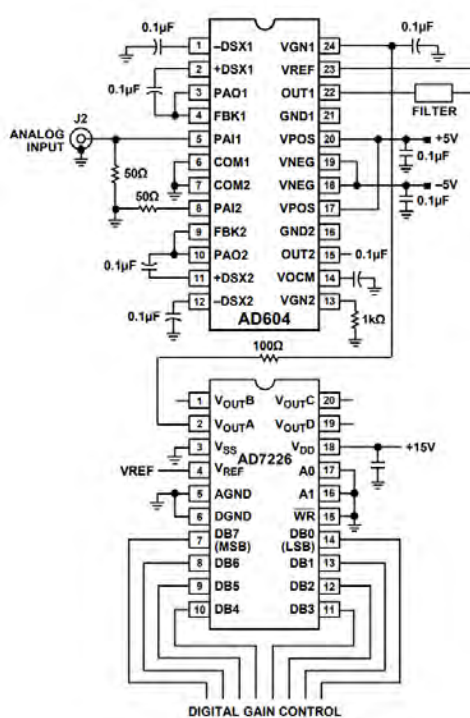


Рис. 2.18 – Схема підключення ЧРЧ разом з ЦАП

2.4.5 Розрахунок та вибір АЦП

Вибір АЦП проводимо виходячи з наступних умов:

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

Тобто при забезпеченні двох вибірок при максимальній частоті прийнятого сигналу 2.5 (МГц) необхідно обрати частоту дискретизації $f_{д} \geq 5$ (МГц).

Розрахуємо мінімальне значення сигналу на вході АЦП враховуючи коефіцієнт підсилення. $x_{min} = 8,56 \cdot 10^{-5} \text{В}$, $K_{п} = 1200$, $U_{\text{АЦП}} = 2\text{В}$:

$$X_{min} = x_{min} * K_{п} = 1200 \cdot 8,56 \cdot 10^{-5} = 0,1\text{В} \quad (2.28)$$

Розрахуємо крок квантування враховуючи похибку яка повинна не перевищувати $\delta_{xm} = 1\%$.

$$Q = \frac{\delta_{xm} * X_{min}}{100\%} = \frac{1 * 0.1}{100} = 1\text{мВ} \quad (2.29)$$

Розрахуємо максимальну розрядність АЦП:

$$q_{\text{ацп}} = \left[\log_2 \left(\frac{U_{\text{ацп}}}{Q} \right) \right] + 1 = \left[\log_2 \left(\frac{3.3}{1 \cdot 10^{-3}} \right) \right] + 1 = 10.96 + 1 = 11.96 \quad (2.30)$$

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

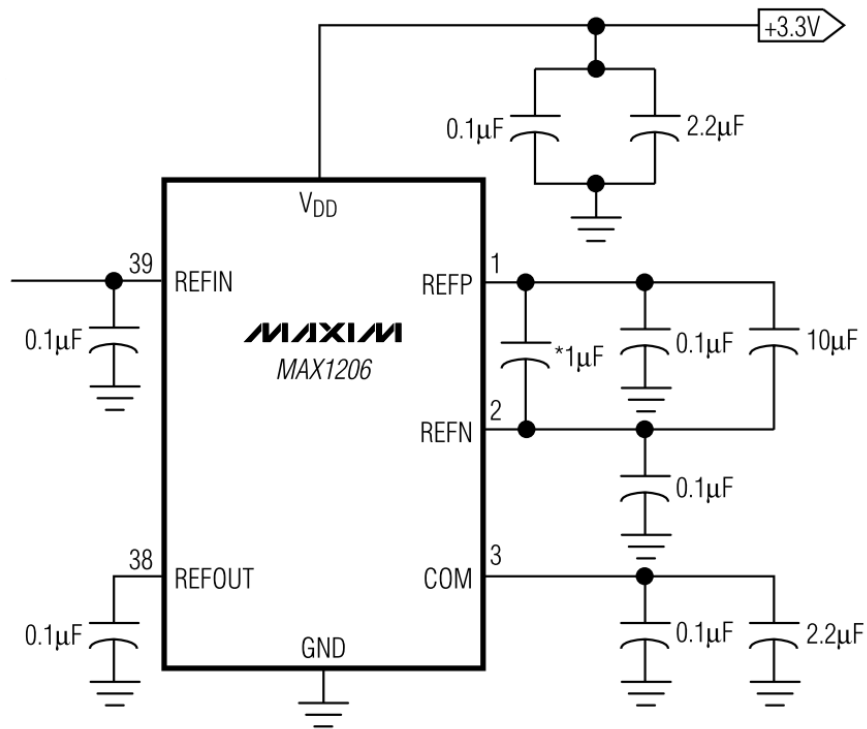


Рис. 2.19 Схема підключення MAX1206

2.4.6 Розрахунок та вибір пам'яті

Особливістю пам'яті FIFO в порівнянні зі звичайною пам'яттю RAM є відсутність адресних ліній. 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.2.13).

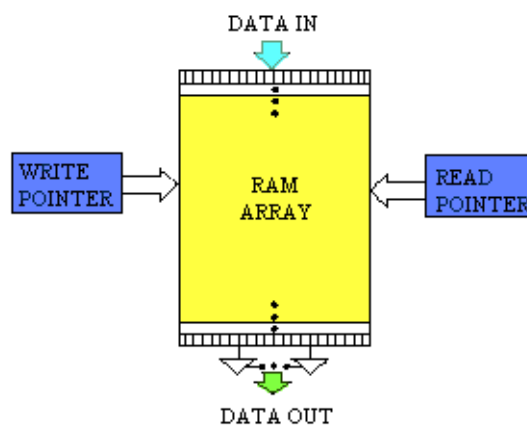


Рис. 2.20. Базова архітектура пам'яті FIFO

Ще одною властивістю пам'яті FIFO це наявність порту для читання і окремого порту для запису даних. Завдяки наявності покажчиків і двухпортової структури пам'яті FIFO, строби зчитування і запису даних можуть надходити 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.

Розрахуємо час затримки між зондувальним і донним імпульсами з формули:

$$H_{\text{заг}} = \frac{C_{\text{ок}} \cdot \tau}{2} \quad (2.31)$$

Виразимо час затримки τ :

$$\tau = \frac{2 \cdot H_{\text{заг}}}{C_{\text{ок}}} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{5900} = 20,5 \cdot 10^{-6} \text{ (с)} = 20,5 \text{ (мкс)} \quad (2.32)$$

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

$$N_{\text{в}} = \frac{\tau}{T_{\text{ацп}}} = \tau \cdot f_{\text{ацп}} = 21 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 10^6 = 840 \quad (2.33)$$

Тоді розрахуємо об'єм даних:

$$\Delta(\text{б}) = 680 \cdot 16 = 13440 \text{ біт} = 6720 \text{ байт} \quad (2.34)$$

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

Обираємо мікросхему CY7C4285V (рис.2.15)

Основні технічні характеристики мікросхеми:

1. Напруга живлення 3.3 (В);
2. Об'єм пам'яті 128 Кб;
3. Високошвидкісна, малопотужна, FIFO пам'ять;
4. 0,35-мкм CMOS для оптимальної швидкості та потужності;
5. Швидкість роботи: 100 МГц (10 нс час читання/цикл запису).

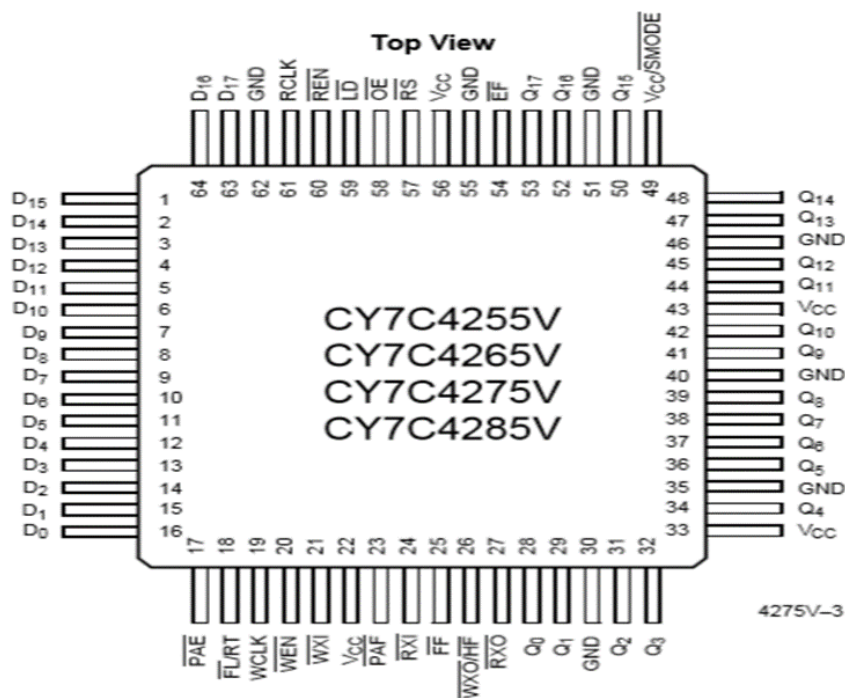


Рис. 2.15. FIFO зовнішній вигляд мікросхеми

2.4.7 Вибір мікроконтролера

Мікроконтроллер (англ. Micro Controller Unit, MCU) - мікросхема, передбачена для управління електронними пристроями. Типовий мікроконтроллер поєднує на одному кристалі функції процесора та периферійних пристроїв, що містять ОЗУ і (або) ПЗУ. По суті, це однокристальний комп'ютер, здатний виконати відносно прості завдання. Відрізняється від мікропроцесора наявністю інтегрованих у мікросхему пристроїв вводу-виводу, таймерами та іншими периферійними пристроями.

STM32F102 є 32-бітним мікроконтроллером ARM Cortex-M3 середньої площі в 48-ти виводному корпусі LQFP. Мікроконтроллер забезпечує високу виробничу потужність RISC з частотою 48 МГц, швидкість пам'яті, розширені діапазони вводу / виводу та периферії з підключенням до шини APB. STM32F102 оснащений 12-бітним АЦП, таймером, стандартним та розширеним інтерфейсом зв'язку. Режим енергозбереження дозволяє використовувати його в додатках малої потужності.

Характеристики:

- Діапазон робочого напруження від 2В до 3,6В
- Флеш-пам'ять 64КБ, 20КБ SRAM
- Два 12-битних АЦП 1мкс (до 10 каналів)
- 7-канальний контролер DMA, 3 універсальних таймера та 1 таймер з розширеним управлінням.
- 37 бистрых вводу-виводу портів.
- Інтерфейси SWD та JTAG.
- Інтерфейси: два SPI, два I2C, три USART, один USB, один CAN.
- Діапазон робочих температур від -40 ° С до 85 ° С



Рис.2.16 Зовнішній вигляд мікросхеми STM 32

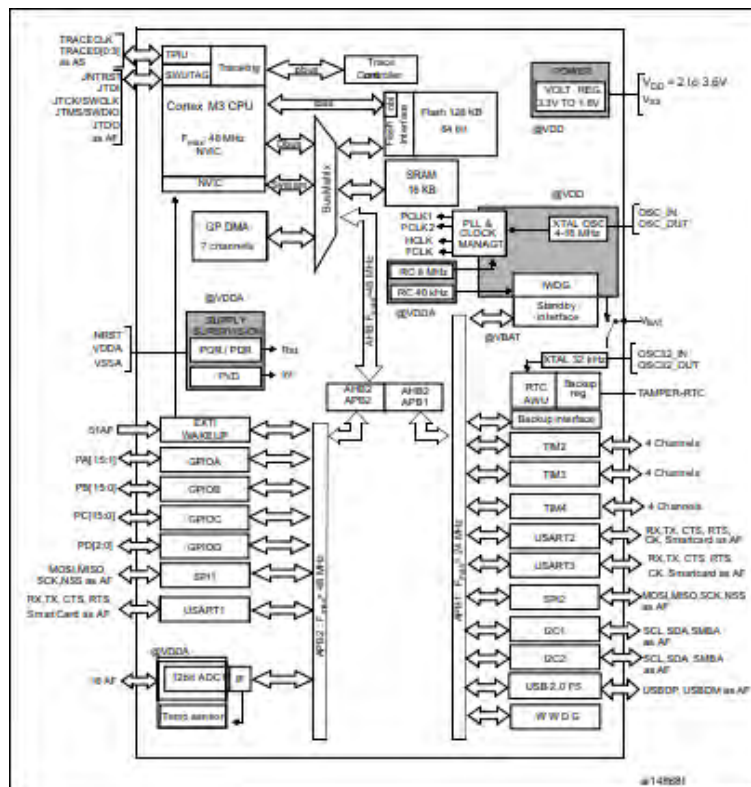


Рис. 2.17 Внутрішня структура STM32

2.4.8 Вибір дисплея

Для виведення вимірної величини потрібен дисплей, обираю рідкокристалічний дисплей TFT LCD дисплей 240x320 (Рис. 2.18)



Рис. 2.18 – Модуль LCD 1602

Характеристики:

Розміри: 96 x 130 мм

Робоча: температура 0 ~ 50 ° C

Підсвічування: кольоровий

Розмір символу: 4.35 x 2.95мм

Формат: 240x320

Розміри точки: 0.5 x 0.5мм

Інтерфейс: spi

Видима область: 64.5 x 13.8мм

2.4.9 Вибір кнопок

Для керування приладом потрібні кнопки, для цього використая матрицю з тактових кнопок 6x6x5 мм ТАСТ-65К-Ф (Рис. 2.19).



Рис. 2.19 Кнопка ТАСТ-65К-Ф

Висновки до розділу

В другому розділі магістерської дисертації були проведені основні розрахунки даної системи. Розраховано п'єзоелектричний перетворювач. Обрано кут введення згідно стандарту ISO. За законом Снеліуса розраховано кут призми, також проведені розрахунки всіх типів акустичних трактів: для підповерхневої хвилі, від верхнього краю дефекту, від нижнього краю дефекту, від донної поверхні.

Проведений розрахнок електроакустичного тракту, визначено яку напругу потрібно випромінювати, оцінена наближена прийнята напруга. Була розроблено функціональну схему. Розраховані основні вузли схеми такі як генератор зондуючих імпульсів, підсилювач, фільтр, пам'ять, АЦП. Та обрано відповідно до

розрахунків наступні вузли схеми: часове регулювання чутливості, ЦАП, АЦП, FIFO, мікроконтролер, дисплей та кнопки.

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок конструкції сканера

Для забезпечення рівномірного пересування платформи по зварному шву на якій закріплені призми з датчиками будемо використовувати кулько-гвинтову передачу (Рис. 3.1).

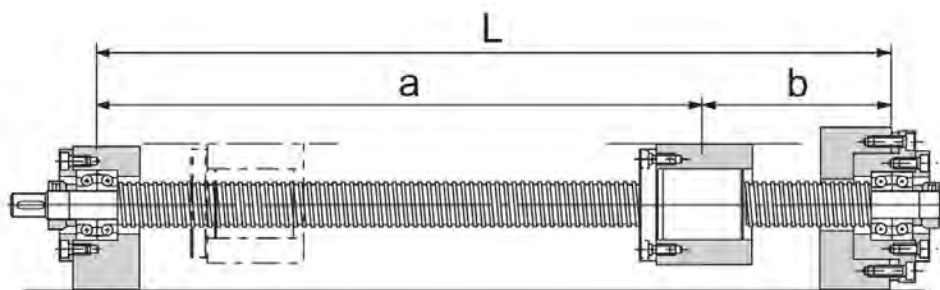


Рис. 3.1 – Кулько-гвинтова передача

Довжина контролю зварного шва 1000 мм, тож довжина гвинта повинна бути не меншою, враховуючи кріплення обираємо $L = 1400$ мм. Швидкість переміщення платформи 100 мм/с, а орієнтовна вага $P = 10$ Н. Розрахуємо мінімальний діаметр гвинта виходячи з умови міцності.

$$d_{min} = \sqrt{\frac{4 * P * \Psi}{\pi * [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 * 10 * 1.25}{3.14 * 125}} = 0,15 \text{ мм} \quad (3.1)$$

Де $\Psi = 1.25$ – коефіцієнт що враховує деформацію кручення

$[\sigma] = 125$ МПа – мінімальна допустима напруга

Обираємо діаметр гвинта $d_{гв} = 20$ мм, крок різьби $p = 5$, кількість заходів $k = 2$. Визначимо хід різьби h :

$$h = p * k = 5 * 2 = 10 \text{ мм} \quad (3.2)$$

Для забезпечення швидкості контролю 100мм/с, розрахуємо частоту обертання гвинта $n_{ГВ}$:

$$n_{ГВ} = \frac{60 * V_{ВИХ}}{h} = \frac{60 * 100}{10} = 600 \text{ об/хв} \quad (3.3)$$

Знайшовши частоту обертання можемо знайти кутову швидкість за формулою:

$$W_{ГВ} = \frac{2\pi * n_{ГВ}}{60} = \frac{2 * 3.14 * 600}{60} = 94.2 \text{ [Рад/с]}$$

Розрахуємо обертовий момент на валу гвинта.

$$T_{ГВ} = \frac{P * d_{ГВ}}{2} tg(\lambda + \rho) \quad (3.4)$$

Де λ – кут підйому, визначається за формулою:

$$\lambda = arctg \frac{h}{\pi * d_{ГВ}} = arctg \frac{10}{3.14 * 20} = 9^\circ \quad (3.5)$$

Де $\rho = 4 \dots 6^\circ$ – кут тертя

Можемо визначити обертовий момент на валу гвинта:

$$T_{ГВ} = \frac{P * d_{ГВ}}{2} tg(\lambda + \rho) = \frac{10 * 20 * 10^{-3}}{2} tg(9 + 5) = 0,025 \text{ [Н * м]}$$

Підбір двигуна. Розрахуємо потужність на виході:

$$N_{ВИХ} = T_{ГВ} * W_{ГВ} = 0,025 * 94,2 = 2,355 \text{ [Вт]} \quad (3.6)$$

Потужність на вході визначається співвідношенням:

$$N_{ВХ} \geq \frac{N_{ВИХ}}{\eta_{муф} * \eta_{підш.}^2} = \frac{2,355}{1 * 0,99^2} = 2,4 \text{ [Вт]} \quad (3.7)$$

Де η – коефіцієнт корисної дії і дорівнює:

Для муфти $\eta_{муф} = 1$, для підшипників $\eta_{підш.} = 0,99$

Остаточна потужність двигуна обирається з запасом 20% і визначається співвідношенням:

$$N_{\text{двг}} = 1,2 * N_{\text{вх}} = 1,2 * 2,4 = 2,88 \text{ [Вт]} \quad (3.8)$$

На основі розрахунків можна обрати двигун, обираю кроковий двигун SIMOSTEP 1FL3042-0AC31-0BJ0 з крутящим моментом 4 Н*м (Рис. 3,2)



Рис.3.2 – Кроковий двигун SIMOSTEP

Обираємо кроковий двигун через можливість налаштувати потрібну частоту обертання. Може управлятись широким діапазоном навантажень. Не потребує зворотного зв'язку, тривалий термін експлуатації. Чудовий крутний момент на низьких швидкостях. Двигун не може бути пошкоджений через механічну перевантаження. Відносно недорогий.

3.2 Проектування та моделювання конструкції сканера.

Для автоматизованого контролю великогабаритних об'єктів потрібно спроектувати і змодельовати автоматичний сканер який забезпечить високу швидкість і рівномірність контролю, конструкція сканера повинна бути неважкою і простою у використанні, адже контроль може проводитись на великих висотах.

Змодельуємо нашу систему в програмному середовищі SolidWorks.

Проектування розпочнемо з платформи на якій закріплені датчики і яка буде пересуватись по зварному шву. Для початку змоделюємо сам датчик, а також призму які були розраховані в 2 розділі. Використаємо конструкцію при якій датчик вкручується в призму це забезпечить багаторазовість використання. (Рис. 3.3). В призмі передбачені отвори для кріплення на платформу, а також канали для подачі контактної рідини.

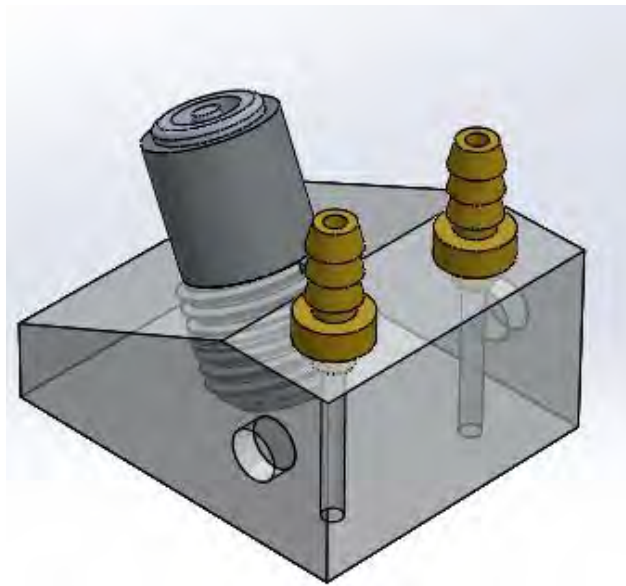


Рис. 3.3 – Датчик який вкручений в призму

Розробку платформи виконуємо з конструктивних міркувань і вимог. Вона повинна бути повністю регульована: повинна змінюватись відстань між датчиками, а також висота їх фіксації. Для основи використовуємо планку з канавками по якій будуть пересуватись основні елементи, фіксуватись будуть за допомогою фіксуючих гвинтів. Для забезпечення притискання датчиків до ОК, використовуємо розгинаючу пружину. Платформа буде базуватись на 4х колесах для забезпечення стійкості під час контролю. Посереднені платформи закріплена гайка яка буде приводити в рух платформу за допомогою гвинта(кульково-гвинтова передача).

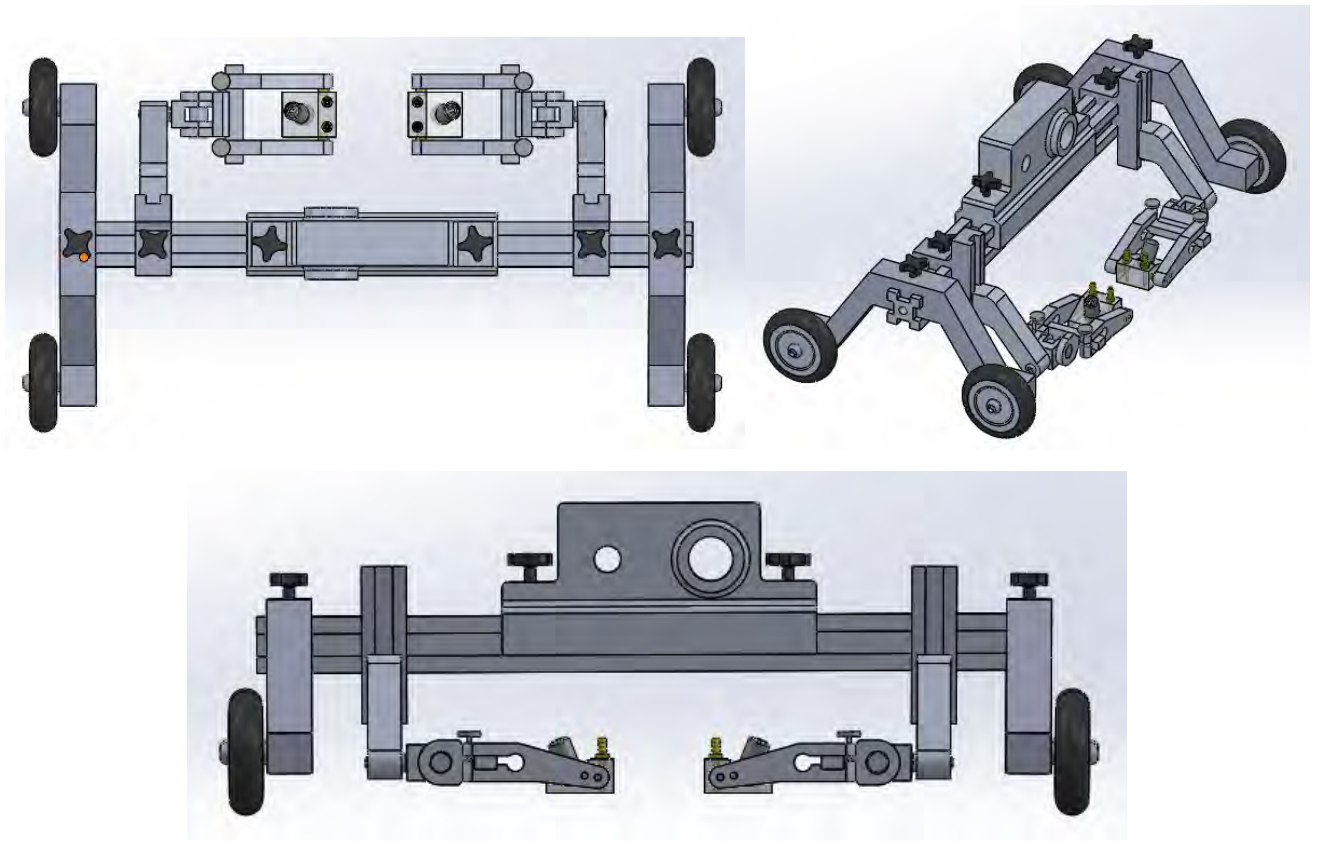


Рис. 3.4 – Зовнішній вигляд платформи

Основою системи служить рама на якій розміщуються: двигун, гвинт, направляюча, а також електромагніти які забезпечують вертикальне закріплення на ОК. Використовувати будемо електромагніт LS-P30/22(Рис.3.5) у кількості 4, живиться від напруги 5В, зусилля на відрив до 15кг. Цього буде цілком достатньо оскільки орієнтовна вага всієї системи 10-15 кг. Закріплюватись до основи рами за допомогою гвинта.



Рис. 3.5 – Електромагніт

Характеристики обраного електромагніту:

Номінальна напруга: 5 В.

Струм: до 0.5 А.

Зусилля на відрив: до 15 кг.

Габарити: Ø30x22 мм.

Кріпильний отвір: під гвинт М4.

Робоча температура: до 130 ° С.

Вага електромагніту: 85 г

Рама складається з двох основних частин: каркас і хрестовина які скручуються гвинтами, що дозволяє отримати міцну конструкцію. На хрестовині передбачені отвори для закріплення двигуна, а також направляючої і гвинта (Рис.3.6)

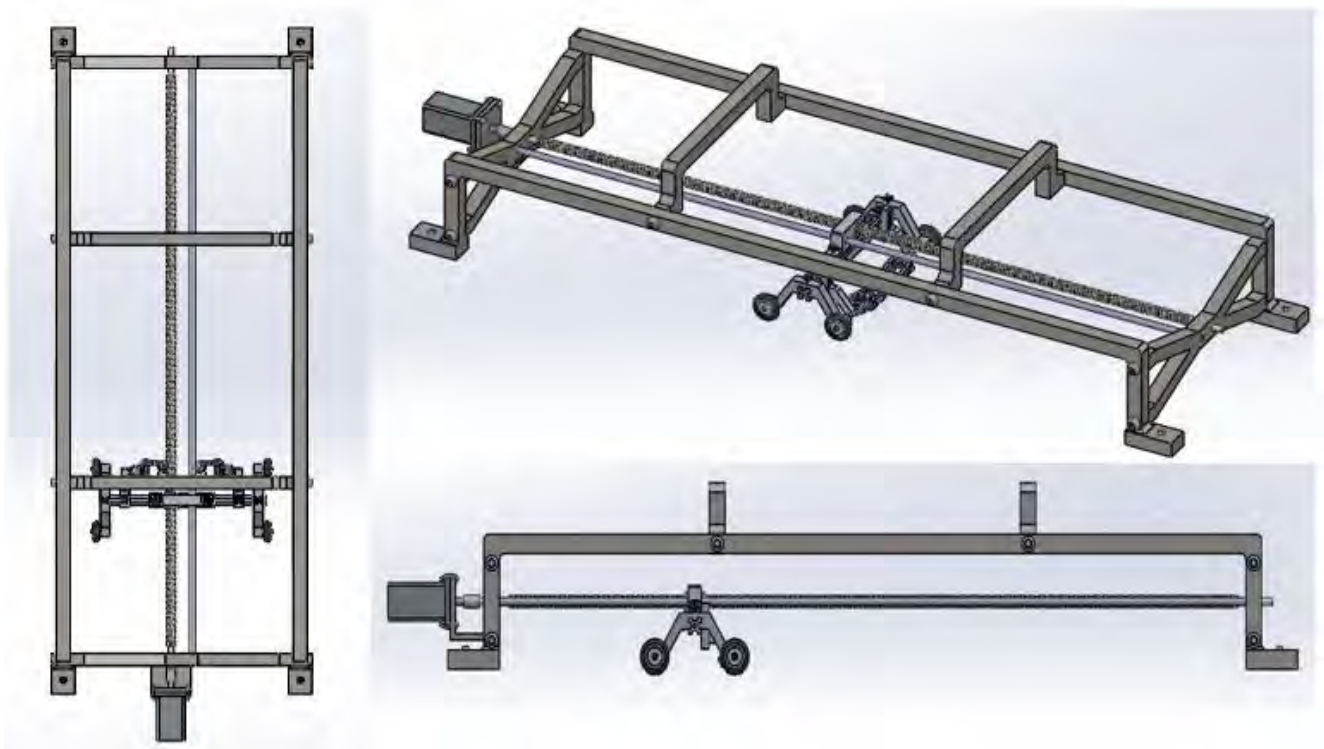


Рис. 3.6 – Конструкція автоматизованої системи

Для кращого розуміння процесу контролю змодельємо нашу систему на ОК в реальному масштабі(Рис.3.7).

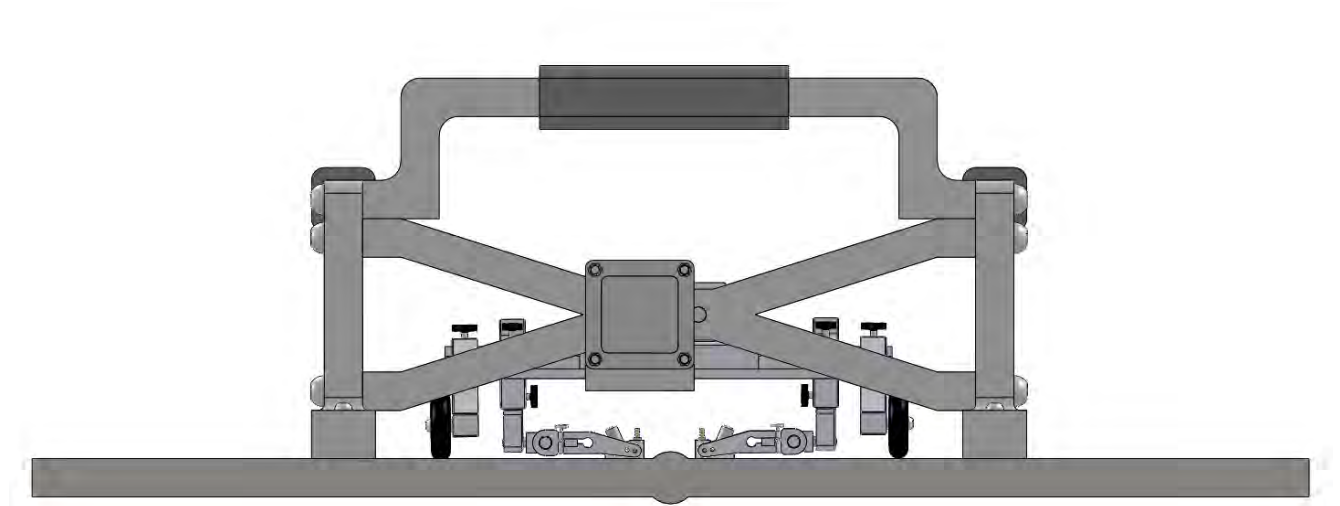


Рис. 3.7 – Модель системи на об'єкті контролю

Висновки до розділу 3

В розділі моделювання було проведено розрахунок гвинтової передачі, підібрано двигун, електромагніти. Змодельовано датчик, призму, а також платформу на якій вони закрплені. Результат моделювання показав, що окрім переваги високої швидкості контролю є і недоліки, а саме: розміщення кабелів які будуть під'єднуватись до датчиків. Аналогічна проблема це система подачі контактної рідини. Але є шляхи вирішення цих проблем: це використання безпроводного датчика і «підшви» яка буде забезпечувати акустичний контакт.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1. Опис ідеї проекту

В основу ідеї стартап-проекту покладено ультразвукову систему для автоматизованого неруйнівного контролю, яка відрізняється від наявних на ринку наявністю автоматизованої платформи, що дозволяє підвищити швидкість і вірогідність контролю, зменшити вплив людського фактору який присутній в подібних системах які базуються на методі TOFD. Ультразвукова система автоматизованого контролю зварних з'єднань призначена для контролю великогабаритних об'єктів: цистерн, газгольдерів, труб великого діаметру.

Дана система може запропонувати користувачеві вищу швидкість і вірогідність контролю, можливість автоматизованого контролю на великих висотах задяки особливості конструкції.

В даному розділі проводиться аналіз стартап проекту який дозволить оцінити можливість виходу на ринок неруйнівного контролю і бути конкурентно спроможним.

Таблиця 4.1. - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ультразвукова система автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів	Контроль великогабаритних об'єктів; цистерн, газгольдерів, труб великого діаметру.	Відносно невисака вартість
		Автоматизована система
		Висока швидкість контролю

Проведемо аналіз можливих техніко-економічних переваг нашої системи з пропозиціями від конкурентів:

- для цього визначимо перелік техніко-економічних характеристик ідеї;
- визначимо можливих конкурентів або товарів-аналогів, а також товарів-замінників, які вже присутні на ринку, проведемо огляд техніко-економічних показників для нашого проекту та проектів-конкурентів відповідно до переліку який зазначений вище;

– проведемо порівняння показників: визначено показники, які мають а) кращі значення (S); б) аналогічні (N) значення; в) гірші значення (W); порівняння наведено в (табл. 4.2).

Ринок неруйнівного контролю в Україні не є широким з 1990 року присутні три основні «гравці» це ДП «Тест», Ультракон і Olympus. Порівнюємо параметри та характеристики нашої системи з аналогами, які присутні на ринку і мають певну клієнтську базу, визначимо переваги та недоліки систем.

Конкурент 1 – Універсальний багатоканальний ультразвуковий дефектоскоп УД4-94-ОКО-01 - ДП «Тест»

Конкурент 2 – Ультразвукова система для контролю зварних з'єднань ДВМ 3.0 – «Ультракон»

Конкурент 3 – Дефектоскоп сканер ультразвуковий восьмиканальний УСД-60-8К – Olympus

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	145000	160000	210000	125000	-	-	+
2	Автоматизованість сканування	+	-	-	-	-	-	+
3	Мобільність	-	+	+	+	+	-	-
4	Швидкість контролю	+	-	-	-	-	-	+
5	Достовірність контролю	+	+	+	+	-	+	-

З табл. 4.2. видно, що наш проект не поступається аналогам за основними характеристиками, а навіть переважає, що є ознакою того що наша система буде конкурентною, кращі характеристики за меншу ціну .

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі проводемо 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	Ультразвукова система автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів	Виготовлення на замовлення підприємств	Наявна	Доступна, але дорожча
2	з'єднань великогабаритних об'єктів	3д друк + ЧПУ	Наявна	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Виготовлення деталей за допомогою 3д принтера і станка ЧПУ.

Якщо провести гуртове замовлення виготовлення по нашим кресленням і розробкам на підприємствах які надають такі послуги це може призвести до витоку технологій і втраті унікальності тому обираємо 3д принтер + ЧПУ станок які дозволять забезпечити високу якість.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному підрозділі визначаємо ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту на ринок, а також ринкові загрози, які можуть перешкоджати цьому. Визначення ринкових можливостей дозволить спланувати напрям розвитку, визначити потреби потенційних клієнтів та оцінити наявні пропозиції конкурентів. Ринок неруйнівного контролю в Україна зростає.

Основним чинником зростання ринку неруйнівного контролю є те що велика кількість об'єктів які знаходяться на території України морально застаріли і підлягають контролю, тому є доцільною розробка нашого стартапу
Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
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), %	75%

Аналіз показує , що ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому є доцільним вихід на ринок. Визначимо потенційних клієнтів, котрим будемо пропонувати нашу систему. (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	Даний прилад надає ринку автоматизованість, високу швидкість і достовірність контролю.	Великі підприємства, заводи, нафтові бази.	Орієнтація на відносно недорогі універсальні автоматизовані засоби неруйнівного контролю	- до продукції: універсальність, надійність, висока достовірність контролю - до компанії-постачальника: своєчасне виготовлення та висока якість продукції

В даній таблиці ми визначили фактори які формують поведінку клієнтів відносно нашої системи та їхні основні вимоги до продукції.

При застосуванні даної технології можуть виникнути певні загрози. Для їхнього попередження потрібне якісне обладнання, висококваліфіковані фахівці та подальше обслуговування доної системи.

Автоматизовані системи з використанням методу TOFD не є поширеними через те, що вони відносно важкі, а контроль проводиться на великих висотах, зазвичай використовують ручні сканери. Але наша система обладнання електромагнітами які дозволяють кріпити її на ОК, а також використовуємо полегшені матеріали.

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	Можливий вихід на ринок іноземних компаній конкурентів	Постійне вдосконалення системи
2	Інфляція	Зміна курсу гривні	Моніторинг економічної ситуації в країні. Закупка елементної бази в день знижок, зберігання певних коштів «подушки» в іноземній валюті
3	Наявність локального конфлікту на сході	Може вплинути на коло потенційних покупців, оскільки багато великих об'єктів розташовані там	Пошук нових клієнтів на міжнародному ринку
4	Постачання	Проблема з фірмами постачальниками	Обирати лише надійних партнерів
5	Технічний	Стирання датчиків, вихід зладу автоматизованого механізму	Постійна технічний моніторинг

В таблиці 4.6 ми визначили можливі фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також реакцію компанії на загрози і шляхи їх усунення.

Але поряд із загрозами є і можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність даного типу конструкції	На даний момент на ринку відсутні системи автоматизованого ультразвукового неруйнівного контролю для даного типу об'єкта контролю	Акцентування уваги клієнтів на наявності відмінності системи від існуючих та пов'язані з цим переваги.
2	Технічні конференції, виставки, семінари	Можливість представляти систему контролю на виставках і наукових конференціях	Підготування стенду для демонстрації системи
3	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4	Вірогідність контролю	Споживачі висувають високі вимоги до такого параметру	Акцентування уваги цільової аудиторії на можливість виявлення системою дефектів малих розмірів з високою вірогідністю

В таблиці 4.7 були визначені фактори можливостей які посприяють ринковому впровадженню нашого проекту.

4.4. Аналіз пропозицій ринку

Зважаючи на те, що ринок засобів неруйнівного контролю є конкурентним, буде доцільним провести аналіз ринку для подальшого формування стратегії (табл. 4.8).

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.	Вдосконалення продукту і пошук можливості виходу на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою – Внутрішньогалузева	Конкуренція є тільки між представниками галузі неруйнівного контролю	Акцентування уваги клієнтів на автоматизованості системи
4. Конкуренція за видом товарів	Конкуренція існує в межах кожного окремого методу контролю (ультразвуковий, вихрострумний тощо.)	Поєднання декількох методів контролю в одній комплексній системі.
5. За характером конкурентних переваг - Нецінова	Основним критерієм, який визначає системи контролю, які відносяться до однієї галузі є достовірність контролю	Вдосконалення свого продукту і при цьому невелике зменшення цін відносно конкурентів
6. За інтенсивністю	Важливими є характеристики продукту, а не конкретний виробник	Покращення характеристик системи.

З наведеної вище таблиці можна судити, що ситуація на ринку характеризується вільною конкуренцією в межах країни, тому немає факторів, які сильно обмежують входження на ринок.

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	На даний момент на ринку присутні 3 прямі конкуренти які надають подібні послуги	Потенційними конкурентами є іноземні компанії які згодом можуть вийти на наш ринок. Патенти на продукти. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Постачальниками є інтернет магазини які займаються розповсюдженням. Диференціація витрат. Концентрація постачальників. Значення розміру поставок	Основними клієнтами є підприємства нафто-газової промисловості. Розмір закупівель. Система інформації. Прибутки. Контроль якості.	Компанія володіє доволі сильною пропозицією, аналогів якій при збереженні якості практично немає
Висновки:	Проводити аналіз конкурентних пропозицій, працювати над зниженням собівартості.	Високий ризик входу нових гравців, адже входні бар'єри є не дуже високими. На даний момент потенційних конкурентів немає	Так як концентрація постачальників доволі висока вони не диктують умови роботи на ринку.	Для клієнтів все вагомим є питання ціни, вони хочуть платити менше. Для задоволення їх потреб потрібно розробляти нові пропозиції і підтримувати якість продукту.	Підтримувати хороші позиції на ринку та конкурентну перевагу, розробляти нові види товарів

Проаналізувавши таблицю 4.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також ми визначили які характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія, щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

4.5. Фактори конкурентоспроможності

На основі аналізу конкуренції (табл. 4.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 4.6-4.7) визначимо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз факторів приведений в табл. 4.10.

Таблиця 4.10. - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Вартість	Невисока вартість за рахунок виготовлення на 3д принтерах і ЧПУ станках
2	Автоматизованість	За рахунок наявності автоматизованої платформи
3	Швидкість контролю	За рахунок автоматизації процесу
4	Достовірність	За рахунок автоматизації процесу

В таблиці 4.10 на основі проведеного аналізу в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Ультразвукова система автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з («система контролю бурильних труб»)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Вартість	18						+	

2	Автоматизованість	15							+
3	Мобільність	17				+			
4	Швидкість контролю	16						+	
5	Достовірність контролю								+

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок. Основною перевагою та головним досягненням є автоматизованість системи.

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

В таблиці 4.12 був проведений перелік сильних та слабких сторін проекту. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. 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	Великі підприємства	Висока	90%	80%	Середня
2	Виробництва	Висока	75%	75%	Середня
Які цільові групи обрано: Великі підприємства					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою автоматизовану систему.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши 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 рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	Стратегія диференціації

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 сформувані 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. Швидкість контролю Автоматизованість 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	Автоматизованість	Швидкість контролю	Малогабаритна, не важка конструкція

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

Розробимо трирівневу 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 великогабаритних об'єктів Можна виділити наступні вигоди використання: Автоматизованість; Висока швидкість контролю.		
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: «Ультратон» AVT-1 УЗ система для автоматизованого контролю великогабаритних об'єктів
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, основі 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	80-350 тис. грн	~150000грн	Високий	80000/150000 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 підпункту 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.

Висновки до розділу 4

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 досить 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. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

1. Полегшити конструкцію
2. Здійснити рекламну компанію
3. Працювати над покращенням продукту

Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продажу нашого продукту в мережі інтернет.

Надалі є можливості вивести проект на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що прилад даного типу має меншу вартість ніж аналоги атоматизованість при майже однакових габаритах і високу швидкість.

ВИСНОВКИ

В даній дисертації було проведено дослідження по розробці автоматизованої системи для контролю великогабаритних об'єктів. В першому розділі дисертації було проведено огляд великогабаритних об'єктів для зберігання агресивних середовищ. Визначено основні їхні види, області застосування. Дізнались про основні проблеми в експлуатації. Розглянули основні найнебезпечніші дефекти які виникають під час експлуатації і які можуть призвести до великих аварій і навіть до катастроф якщо не проводити вчасно контроль. Також був проведений огляд методів неруйнівного контролю які застосовуються для контролю таких об'єктів. Розглянуті їхні сильні і слабкі сторони.

На основі аналізу визначено що ультразвуковий метод неруйнівного контролю є найкращим для контролю такого типу об'єктів.

Був обраний метод TOFD оскільки він є найефективнішим для контролю зварних з'єднань. Провели пошук можливих аналогів для нашої системи, на основі аналізу можна зробити висновок, що автоматизованих систем для контролю даного типу об'єктів ще немає, тому є доцільною розробка такої системи. Обрали структурну схем. В другому розділі магістерської дисертації були проведені основні розрахунки даної системи. Розраховано п'єзоелектричний перетворювач. Обрано кут введення згідно стандарту ISO. За законом Снеліуса розраховано кут призми, також проведені розрахунки всіх типів акустичних трактів: для підповерхневої хвилі, від верхнього краю дефекту, від нижнього краю дефекту, від донної поверхні.

Проведений розрахнок електроакустичного тракту, визначено яку напругу потрібно випромінювати, оцінена наближена прийнята напруга. Була розроблено функціональну схему. Розраховані основні вузли схеми такі як генератор зондуючих імпульсів, підсилювач, фільтр, пам'ять, АЦП. Та обрано відповідно до розрахунків наступні вузли схеми: часове регулювання чутливості, ЦАП, АЦП, FIFO, мікроконтроллер, дисплей та кнопки.

В розділі моделювання було проведено розрахунок гвинтової передачі, підібрано двигун, електромагніти. Змодельовано датчик, призму, а також платформу на якій вони закрплені. Результат моделювання показав, що окрім переваги високої швидкості контролю є і недоліки, а саме: розміщення кабелів які будуть під'єднуватись до датчиків. Аналогічна проблема це система подачі контактної рідини. Але є шляхи вирішення цих проблем: це використання безпроводного датчика і «підшви» яка буде забезпечувати акустичний контакт.

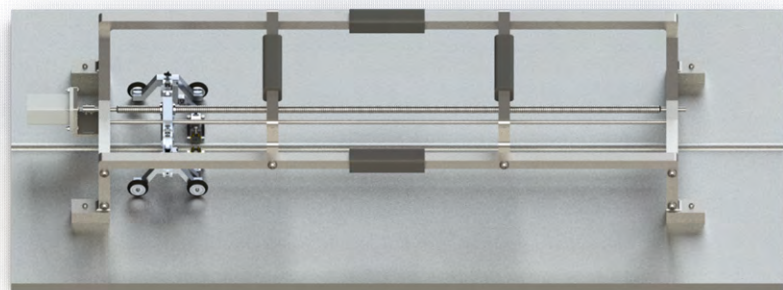
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) ГОСТ 31385-2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. – М: Стандартинформ, 2010. – 56 с.
- 2) Андреев Я. М. Обеспечение эксплуатационной надежности резервуаров севера путем повышения выявляемости плоскостных дефектов : дис. канд. техн. наук : 01.02.06. / Андреев Яков Михайлович – Якутск, 2017. – 119 с.
- 3) Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- 4) Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений / Н.П. Алешин // Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 368 с.
- 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) Овчинников В.В. Контроль качества сварных соединений : Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. — 5-е изд., стер. — М.: Академия, 2016. — 208 с. — ISBN 978-5-4468-2824-1.
- 9) ДСТУ EN ISO 17635:2015 Неруйнівний контроль зварних з'єднань.
- 10) Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ Цапенко В. К., Куц Ю. В. – К.:НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.
- 11) Цапенко В.К. Акустичні перетворювачі: Методичні вказівки / Уклад.: Цапенко В.К. – Київ, 2004.- 86с.

- 12) Ермолов И.Н. Акустические методы контроля : учеб. пособие кн.. 2 / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. – М. : Высш. шк., 1991. – 283
- 13) Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник. - М.: Металлургия, 1991. - 752 с.
- 14) Зацепин А.Ф. Введение в физику акустического контроля / А.Ф. Зацепин. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. – 88 с.
- 15) Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: Учебное пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 243 с
- 16) Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические Н44 методы контроля: Практик. Пособие / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; Под ред. В.В. Сухорукова.-- М.: Высш. шк, 1991.--'283 с
- 17) Сергеев С. С. Методы и средства акустического контроля: Учебное пособие. – Мн.: БПИ, 1989. – 64 с
- 18) Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля/ Под ред. И.Н.Ермолова.- М.: Машиностроение, 1986. – 280 с.: ил.

ДОДАТКИ

Ультразвукова система автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів



Підготував: ст. гр. ПК-81МП Ферко Р.Б.

Науковий керівник: Богдан Г.А.

Мета і задачі дослідження

Мета роботи – розробка ультразвукової системи для автоматизованого контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів.

Постановка задач дослідження:

1. Провести аналіз об'єкта контролю, визначити основні типи дефектів зварних з'єднань які виникають під час експлуатації.
2. Проаналізувати методи неруйнівного контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів
3. Обґрунтувати вибір ультразвукового методу неруйнівного контролю на базі методу TOFD.
4. Провести розрахунок приймальної частини системи: п'єзоелектричний перетворювач, призма, акустичні та електроакустичні тракти.
5. Розробити функціональну схему системи та розрахувати основні вузли, на основі розрахунків розробити схему електричну принципову.
6. Провести розрахунок основних вузлів автоматизації, створити модель системи в програмному середовищі SolidWorks

Об'єкт дослідження - процес ультразвукового контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів як на етапі їх виготовлення так і експлуатації

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення точності та швидкості контролю зварних швів великогабаритних об'єктів ультразвуковим методом TOFD шляхом автоматизації системи.

Методи дослідження базуються на використанні теоретичних основ ультразвукового неруйнівного контролю; розрахунках основних частин системи та розробці і моделюванні конструкторської автоматизованої системи в середовищі SolidWorks.

Аналіз об'єкта контролю

Об'єкт контролю

Цистерни, вертикальні резервуари – це великогабаритні об'єкти які збираються частинами (листами металу) та зварюються між собою.

Пробелема

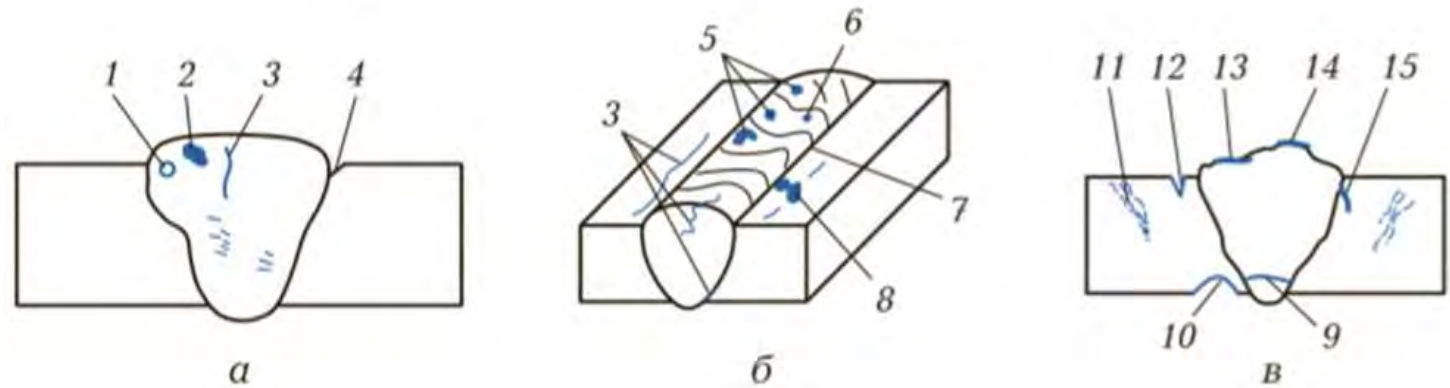
Основною проблемою таких об'єктів є їхня експлуатація під дією агресивних середовищ, фізичний та моральний знос. Вирішення цієї проблеми є актуальним тому, що експлуатація таких об'єктів які використали свій плановий ресурс може призвести до великих ризиків відмов і аварій, техногенних катастроф.

Вирішення

Регулярний контроль зварних з'єднань на наявність дефектів



Дефекти стикових зварних з'єднань резервуарів



а - в перерізі шва; б - на поверхні шва; в - види корозії при експлуатації конструкцій; 1 - пора; 2 - шлакове включення; 3 - тріщина; 4 - підріз; 5 – грубі включення на поверхні шва; 6 - поверхнева пора; 7 - кольори мінливості (окислення поверхні); 8 - розбризування; 9 - гальванічна корозія; 10 - ерозія поверхні; 11 - міжкристалічна корозія; 12 - корозія по кромці шва; 13 - виразкова корозія; 14 - прихована корозія; 15 - корозійне розтріскування

Аналіз методів неруйнівного контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів

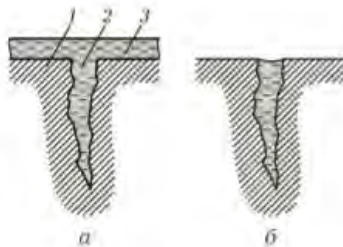
Візуальний



Переваги: простий і інформативний метод, який не потребує дорогого обладнання і спеціальних навичок, велика швидкість контролю.

Недоліки: Обмеженість контролю тільки видимої частини конструкції, можливість виявлення лише явних «грубих» дефектів.

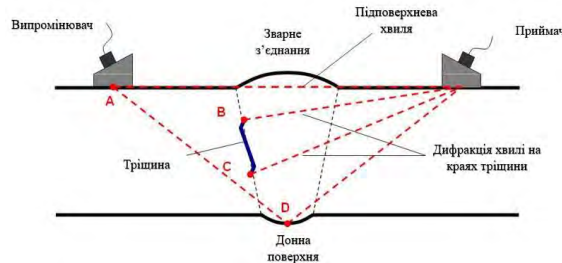
Прникаючими речовинами



Переваги: дозволяє провести точну локалізацію поверхневих дефектів, розширює область візуального контролю.

Недоліки: велика тривалість і трудомісткість контролю, неможливість автоматизувати контроль. Індикаторні рідини мають обмежений термін придатності.

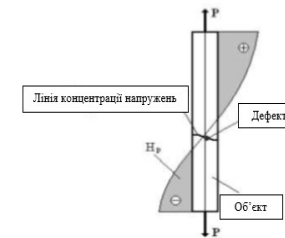
Ультразвуковий



Переваги: висока чутливість методу, мобільність апаратури, оперативність в отриманні результатів, низька вартість контролю і відсутність радіаційної небезпеки, найуніверсальніший метод.

Недоліки: наявність мертвої зони контролю, затухання у великозернистих структурах, необхідність зачищення поверхні.

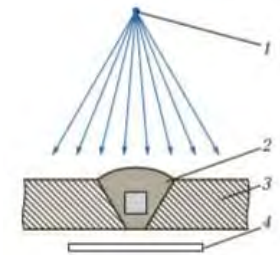
Магнітний



Переваги: висока чутливість до тонких тріщин і дрібних дефектів, мобільність.

Недоліки: неможливість виявлення дефектів на великій глибині.

Радіаційний



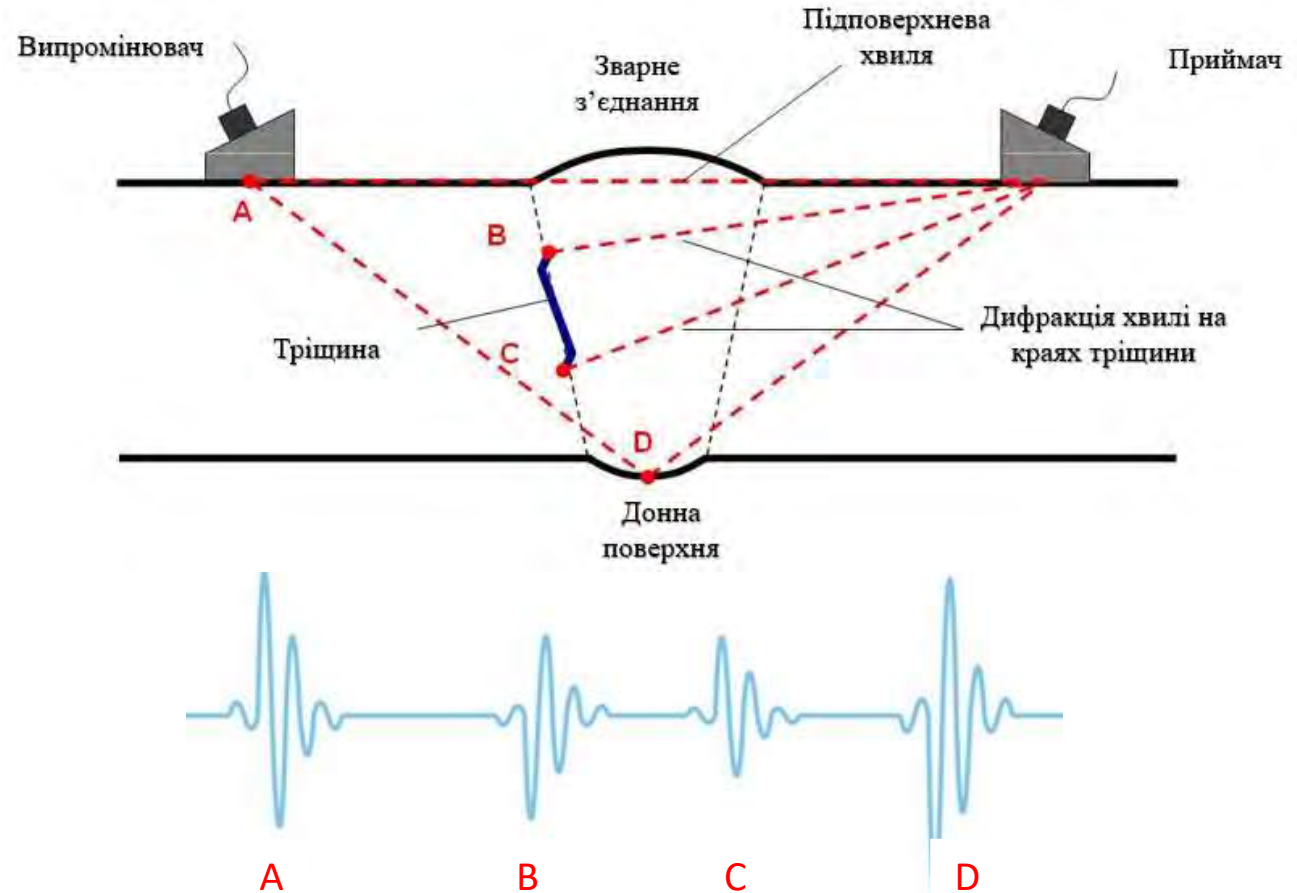
Переваги: один з найточніших методів, дозволяє виявляти приховані дефекти, розміри і точне місце розташування.

Недоліки: дуже дорогий і складний у виконанні, небезпечний для здоров'я людини.

Ультразвуковий дифракційно-часовий метод TOFD

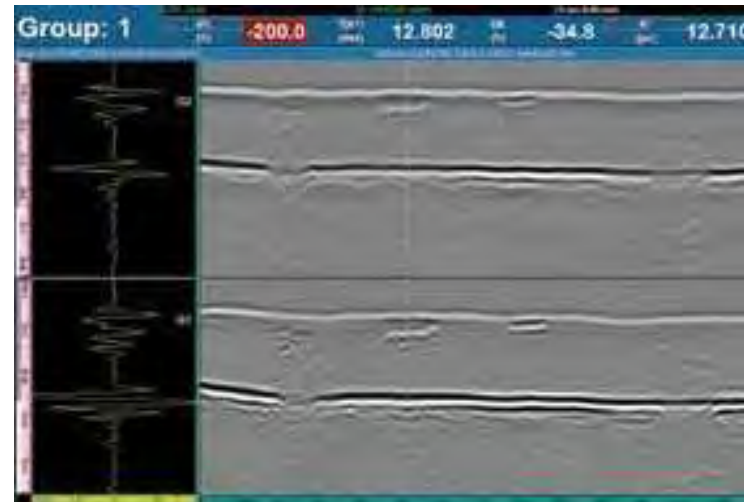
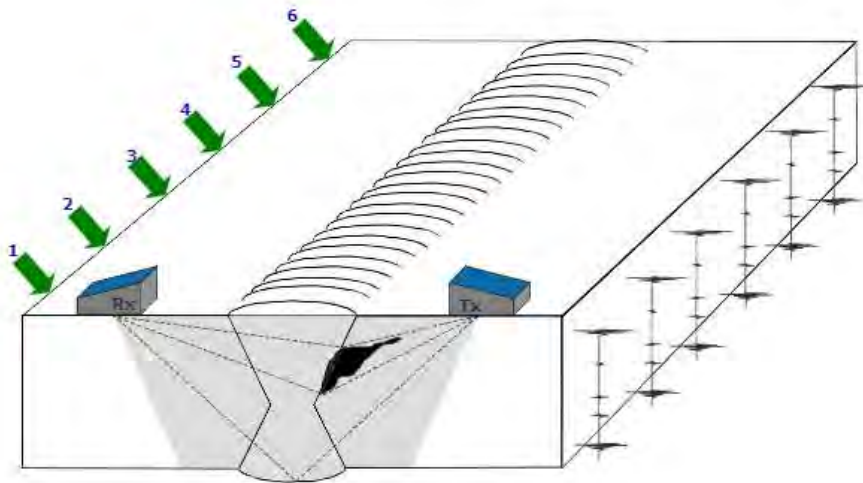
Метод TOFD заснований на взаємодії ультразвукових хвиль з краями дефектів. Ця взаємодія призводить до випромінювання дифракційних хвиль в широкому діапазоні кутів. Виявлення дифракційних хвиль дозволяє встановити наявність дефекту

Час проходження реєстрованих сигналів є критерієм оцінки висоти неоднорідності, тим самим дозволяючи виміряти дефект. Розмір дефекту завжди визначається часом проходження дифракційних сигналів. Амплітуда сигналу не використовується для визначення розміру.



Обработка результатов метода TOFD

Отримання В - скану



Переваги та недоліки методу TOFD

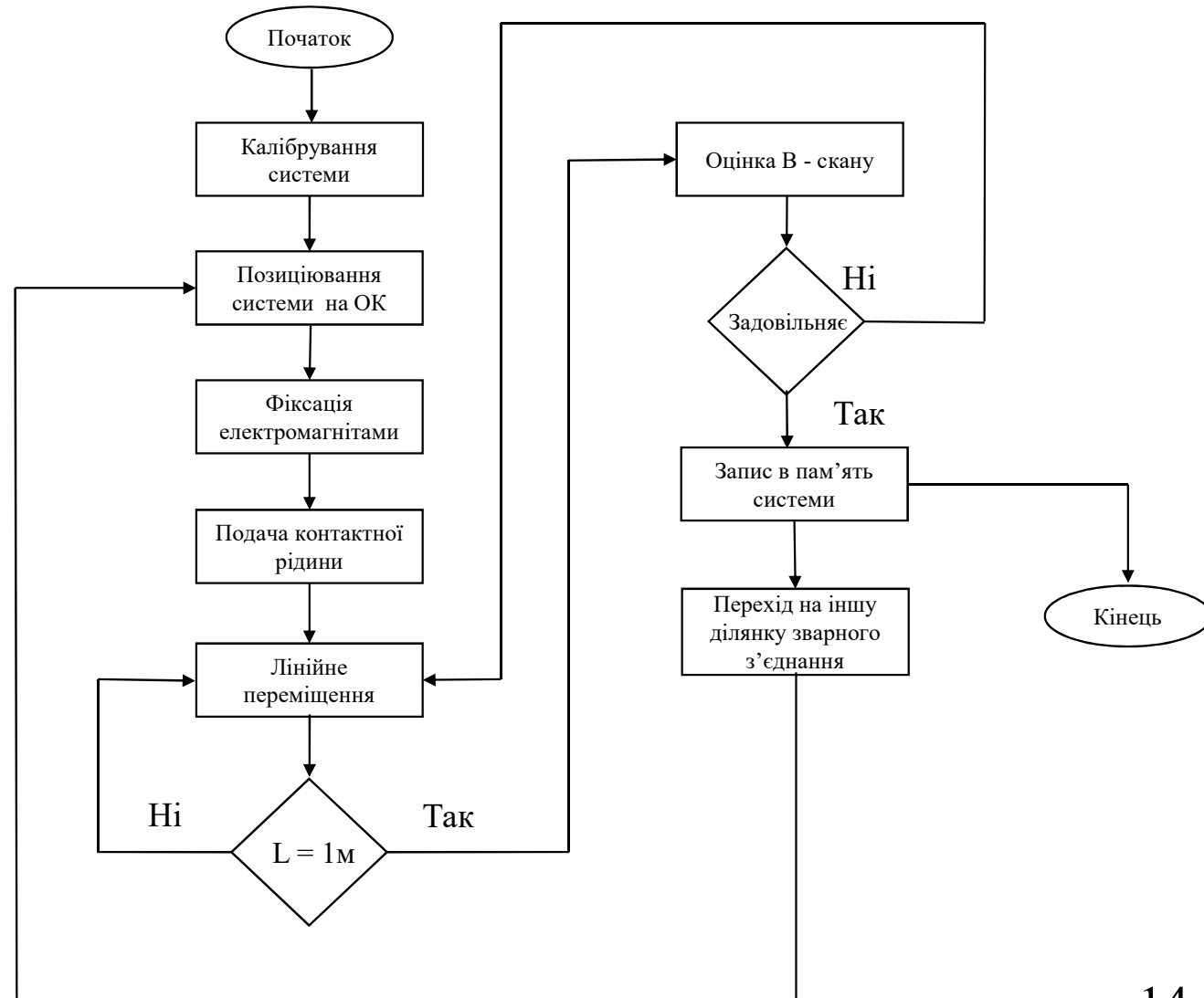
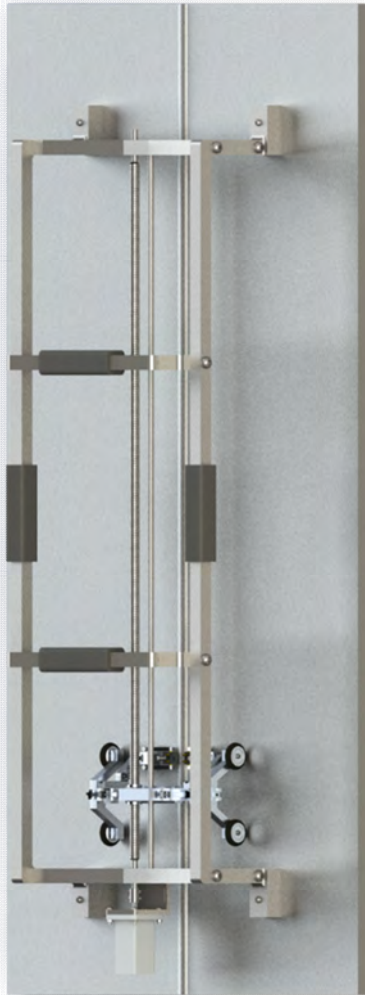
Переваги:

1. Висока чутливість до дрібних дефектів як правило, ± 1 мм, а при повторному обстеженні до $\pm 0,3$ мм;
2. Виявлення дефектів незалежно від їх орієнтації і кута оброблення кромки зварного шва. Висока чутливість до всіх типів дефектів зварних швів і одночасний контроль околшовної зони;
3. Вимірювання параметрів дефекту засноване на часі проходження дифракційних сигналів і не залежить від амплітуди сигналу;
4. Висока продуктивність контролю, швидке налаштування і виконання контролю всього об'єму шва за один прохід за рахунок широкого охоплення одним променем.
5. Документування та зберігання результатів контролю у вигляді А і В-сканів (D-сканів) з подальшою можливістю повторного їх аналізу.

Недоліки:

1. Мала амплітуда дифрагованих сигналів - на 20-30 dB нижче, ніж сигнали, одержані при контролі луна-імпульсним методом.
2. Наявність «мёртвих зон» у поверхні введення і протилежної стінки.
3. Неможливість контролювати вироби з великою зернистістю

Алгоритм роботи системи



Висновки

В даній дисертації було проведено дослідження по розробці автоматизованої системи для контролю великогабаритних об'єктів. В першому розділі дисертації було проведено огляд великогабаритних об'єктів для зберігання агресивних середовищ. Визначено основні їхні види, області застосування. Дізнались про основні проблеми в експлуатації. На основі аналізу визначено що ультразвуковий метод неруйнівного контролю є найкращим для контролю такого типу об'єктів. Був обраний метод TOFD оскільки він є найефективнішим для контролю зварних з'єднань. Провели пошук можливих аналогів для нашої системи, на основі аналізу можна зробити висновок, що автоматизованих систем для контролю даного типу об'єктів ще немає, тому є доцільною розробка такої системи. Обрали структурну схем. В другому розділі магістерської дисертації були проведені основні розрахунки даної системи. Розраховано п'єзоелектричний перетворювач. Обрано кут введення згідно стандарту ISO. За законом Снеліуса розраховано кут призми, також проведені розрахунки всіх типів акустичних трактів: для підповерхневої хвилі, від верхнього краю дефекту, від нижнього краю дефекту, від донної поверхні. Проведений розрахнок електроакустичного тракту, визначено яку напругу потрібно випромінювати, оцінена наближена прийнята напруга. Була розроблена функціональна схему. Розраховані основні вузли схеми такі як генератор зондуючих імпульсів, підсилювач, фільтр, пам'ять, АЦП. Та обрано відповідно до розрахунків наступні вузли схеми: часове регулювання чутливості, ЦАП, АЦП, FIFO, мікроконтроллер, дисплей та кнопки.

В розділі моделювання було проведено розрахунок гвинтової передачі, підібрано двигун, електромагніти. Змодельовано датчик, призму, а також платформу на якій вони закрплені. Результат моделювання показав, що окрім переваги високої швидкості контролю є і недоліки, а саме: розміщення кабелів які будуть під'єднуватись до датчиків. Аналогічна проблема це система подачі контактної рідини. Але є шляхи вирішення цих проблем: це використання безпроводного датчика і «підшви» яка буде забезпечувати акустичний контакт.