

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Роботизовані та автоматизовані
системи неруйнівного контролю і діагностики»**

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

**на тему: «Ультразвукова автоматична система контролю високої
роздільної здатності»**

Виконав:

Студент II курсу, групи ПК-01-мп

Малярів Артем Миколайович _____

Керівник:

Професор, доктор технічних наук

Маєвський Станіслав Михайлович _____

Консультант з розробки стартап-проекту:

Професор, доктор економічних наук

Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

Доцент, кандидат технічних наук

Синиця Валентин Іванович _____

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

Київ – 2021 року

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

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-професійна програма «Роботизовані та автоматизовані системи неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Маляров Артем Миколайович

1. Тема дисертації «Ультразвукова автоматична система контролю високої роздільної здатності», керівник дисертації професор кафедри АСНК Маєвський Станіслав Михайлович, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. №_____
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Об'єкт дослідження: процес ультразвукового контролю дефектності сталених матеріалів.
4. Предмет дослідження: метод підвищення роздільної здатності ультразвукової системи.
5. Вихідні дані до проєкту: матеріал об'єкта контролю – сталь. Товщина ОК – 10 мм, глибина дефектів – 10 мм, тип дефектів – кульові газоутворення.
6. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд, розрахунок системи, розробка конструкції приладу, розробка стартап-проєкту.

7. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): структурна схема(А3), функціональна схема(А1), схема електрично-принципова(А0), складальне креслення(А3).

8. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Бояринова К.О., д.е.н., професор; професор кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання: _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Формування завдання магістерської дисертації	11.10.2020	Виконано
2	Аналітичний огляд систем ультразвукового контролю	20.11.2020	Виконано
3	Розрахунок акустичних і електроакустичних трактів	18.03.2021	Виконано
4	Розрахунок електрично-принципової схеми	25.05.2021	Виконано
5	Розробка конструкції приладу	20.07.2021	Виконано
6	Розробка стартап-проєкту	30.09.2021	Виконано
7	Формулювання висновків	15.11.2021	Виконано

Студент

Артем МАЛЯРОВ

Науковий керівник дисертації

Станіслав МАЄВСЬКИЙ

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 4 розділів, 75 сторінок, містить 18 ілюстрацій, 29 таблиць, було опрацьовано 28 джерел.

Актуальність теми: Основною задачею розвитку ультразвукової дефектоскопії є підвищення її просторової роздільної здатності, яка є залежною від ряду характеристик дефектоскопу та довжини хвилі використаних для контролю коливань. Вирішення такої задачі можливе двома шляхами: використання ультразвукових коливань більш високих частот (зменшення довжини хвилі) та використання фокусування коливань, що приводить до збільшення роздільної здатності за рахунок росту акустичного тиску в фокусній зоні.

Мета дослідження: розробка ультразвукової автоматичної системи контролю високої роздільної здатності. На основі літературного огляду проведено аналіз сучасних систем ультразвукового контролю, їхнього застосування та принципу дії. Виявлено проблематику невисокої роздільної здатності в твердотільних матеріалах.

Об'єкт дослідження: процес ультразвукового контролю дефектності сталених матеріалів.

Предмет дослідження: метод підвищення роздільної здатності ультразвукової системи.

Практична цінність: розрахунок геометричних розмірів – радіусів концентричних елементів фазокерованої системи перетворювача.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of 4 sections, 75 pages, contains 18 illustrations, 29 tables, was processed 28 sources.

Relevance of the topic: The main task of the development of ultrasonic flaw detection is to increase its spatial resolution, which depends on a number of characteristics of the flaw detector and the wavelength used to control oscillations. This problem can be solved in two ways: the use of ultrasonic oscillations of higher frequencies (decrease in wavelength) and the use of focusing oscillations, which leads to an increase in resolution due to the increase in acoustic pressure in the focal zone.

The purpose of the study: the development of an ultrasonic automatic high-resolution control system. On the basis of the literature review the analysis of modern systems of ultrasonic control, their application and the principle of action is carried out. The problem of low resolution in solid materials is revealed.

Object of research: the process of ultrasonic control of defects in steel materials.

Subject of research: a method of increasing the resolution of the ultrasonic system.

Scientific novelty: increase of spatial resolution due to phase selectivity of echo signals reception

Practical value: calculation of geometric dimensions - radii of concentric elements of the phase-controlled converter system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	10
1.1. Основні методи ультразвукового контролю	11
1.1.1. Луноімпульсний метод.....	12
1.1.2. Дзеркальний метод	13
1.2. Класифікація ультразвукових перетворювачів.....	13
1.2.1. Теоретичні відомості про фокусуючі перетворювачі	14
1.3. Вибір та обґрунтування методу контролю та виду ультразвукового перетворювача.....	15
Висновки до розділу	17
2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ	19
2.1. Розрахунок параметрів п'єзоперетворювача.....	19
2.2. Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту	26
2.3. Розрахунок електроакустичного тракту	29
2.4. Опис функціональної схеми.....	29
2.5. Розрахунок електричної-принципової схеми.....	31
Висновки до розділу	42
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ	44
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «УЛЬТРАЗВУКОВА АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ».....	49
4.1. Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту.....	49
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	52

4.3. Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми стартап-проекту	59
4.4. Організація реалізації стартап-проекту	64
Висновки до розділу	71
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОК	Об'єкт контролю
НК	Неруйнівний контроль
АЦП	Аналого-цифровий перетворювач
ФІ	Формувач імпульсів
ОП	Операційний підсилювач
МК	Мікроконтролер
УЗ	Ультразвук
УЗК	Ультразвуковий контроль
ПЕП	П'єзоелектричний перетворювач
ЛЗ	Лінія затримки

ВСТУП

Основним завданням розробки ультразвукової дефектоскопії є підвищення її просторової роздільної здатності, яка залежить від ряду характеристик дефектоскопа та довжини хвилі, що використовується для контролю ультразвукових коливань. Цю проблему можна вирішити двома шляхами: використанням ультразвукових коливань більш високої частоти (зменшення довжини хвилі) і використанням фокусних коливань, що призводять до підвищення роздільної здатності за рахунок збільшення звукового тиску в фокальній області.

Фокусування ультразвукових коливань на твердому тілі контрольованого об'єкта за допомогою акустичних концентратних лінз неможливе через неминучу трансформацію хвиль на межі розділу контрольованого матеріалу та рідини, яка використовується для акустичного контакту.

Фокусування коливань на твердому тілі об'єкта може бути досягнуто за допомогою фазокерованої решітки контролю, яка використовує принцип побудови зональної пластини Френеля.

Використання такого перетворювача дозволяє сформувати сферичну форму фронту коливань, що входить в задану область матеріалу об'єкта управління з розмірами, що не перевищують довжину хвилі, і реалізувати прийом коливань, відбитих неоднорідностями в цій області.

У цій роботі розглядається можливість збільшення просторової роздільної здатності за рахунок фазової вибіркості луносигналів, що генеруються в заданій зоні контрольованого матеріалу, розташованому на осі ультразвукового аналога зональної пластини Френеля.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Методи ультразвукового контролю засновані на властивостях ультразвукових хвиль відбиватися від однорідностей в середовищі, через яке вони поширюються або поглинаються цим середовищем[1]. Перевагами ультразвукових методів є можливість контролю внутрішньої та закритої зони виробів, можливість автоматизації інтерпретації результатів контролю та їх недоліками – необхідність «акустичного контакту» керованого перетворювача та складність його використання для тестових виробів з шорсткими, брудними поверхнями та неоднорідною структурою.

Методи ультразвукового неруйнівного контролю знаходять широке застосування в різних галузях промисловості та в медицині: в авіаційному та машинобудуванні, приладобудуванні, залізниці та інших видах транспорту, енергетиці, нафтогазовій промисловості, медицині, мистецтві та ін. За допомогою ультразвуку виявляють дефекти і пошкодження в різних матеріалах, визначають характеристики і механіку, вимірюють геометричні параметри об'єктів, діагностують різні захворювання внутрішніх органів людини.

Акустичний метод також використовується для кількісної оцінки ряду фізичних параметрів матеріалу незалежно від агрегатного стану. Тому, використовуючи вимірювання швидкість поширення ультразвукових коливань, вони контролюють геометричні параметрами і стан матеріалів, визначають концентрацію розчинів і матеріалу.

Коли акустичні хвилі проходять між середовищами з різними конкретними акустичними середовищами, заломлення відбувається на межі розділу середовищ, а при поширенні в матеріалі звукові хвилі не змінюють напрямку поширення. Чим більше відрізняються акустичні імпеданси середовищ, тим більший кут заломлення звукових хвиль. Коли в металі є пори, заповнені повітрям, то він має акустичний опір, який вищий, ніж у металів, у цьому випадку він створює повне внутрішнє відбиття.

Роздільна здатність акустичного приладу безпосередньо залежить від частоти збудженої хвилі. Вона має пряму залежність, тобто якщо частота збудження ультразвукової хвилі більше, то тим більша роздільна здатність. Роздільна здатність відноситься до здатності відокремлювати два точкові об'єкти від однієї точки. Роздільна здатність геометрично залежить від чверті виміру хвилі. Якщо розмір дефекту менше поздовжньої хвилі, хвиля проходить через перешкоду, не відбиваючись. Цей фактор призводить до використання високочастотних коливань як методу пошуку дефектів. На іншій частоті, зі збільшенням частоти збудження частоти коливань, глибини контролю деталі, високої частоти виникає контроль рівня частоти загасання та контроль глибини обмеження.

1.1. Основні методи ультразвукового контролю

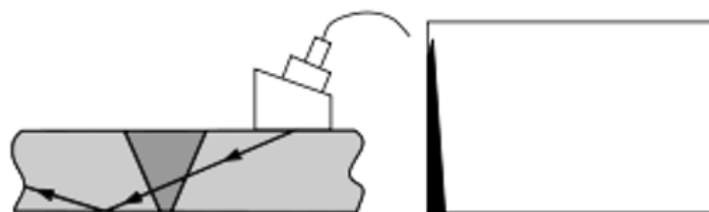
Прохідні методи передбачають моніторинг змін параметрів ультразвукових коливань, що пройшли через досліджуваний об'єкт. Спочатку для контролю використовувалося безперервне випромінювання, а зміною амплітуди перехідних коливань вважається наявність дефекту в контрольованому об'єкті, так званий тіньовий метод. З часом безперервне випромінювання замінили імпульсним, а до параметрів фіксації, крім амплітуди, додали фазу, спектр і час приходу імпульсу, з'явилися інші методи передачі. Термін тіньовий метод втратив свій початковий зміст і став означати один із методів проходження.

Метод відбитого опромінення, який часто називають методом луноімпульсів, на відміну від методу проникаючого опромінення, заснований на відображенні ультразвукових хвиль від границь виробу або поверхні дефекту.

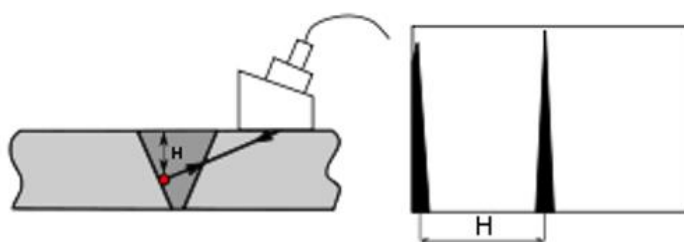
Найпоширенішим методом моніторингу є луноімпульсний метод. Працює як передавач ультразвукових коливань і реєстратор-приймач.

Метод відбитого випромінювання має ряд переваг перед методом проникаючого випромінювання. По-перше, таким чином можна контролювати

вироби, деталі, матеріали з одностороннім доступом до них; по-друге, чутливість методу луноімпультів значно вища, ніж тіньового методу.



а



б

Рисунок 1.1. Луноімпультний метод контролю зварного з'єднання без дефекту (а) і з дефектом (б).

У правій частині (рис. 1.1) представлений екран дефектоскопа із зображенням на ньому зондуєчим імпультсом (а) і імпультсом від дефекту (б).

1.1.1. Луноімпультний метод

Перетворювач генерує коливання (тобто діє як генератор), а також приймає луноімпультні сигнали, відбиті від дефектів (приймач). Цей метод став дуже популярним завдяки своїй простоті, оскільки для здійснення контролю потрібен лише один перетворювач, тому при ручному управлінні не потрібні спеціальні пристрої для його фіксації і вирівнювання акустичної осі при використанні двох перетворювачів. Крім того, це один з небагатьох методів ультразвукової дефектоскопії, який дозволяє точно визначити координати дефекту, такі як глибина та положення на об'єкті, що досліджується за допомогою перетворювача.

1.1.2. Дзеркальний метод

На одній стороні деталі використовуються два перетворювачі: створювані вібрації відбиваються дефектом у бік приймача. На практиці його використовують для пошуку дефектів, розташованих перпендикулярно досліджуваній поверхні, наприклад, тріщин.

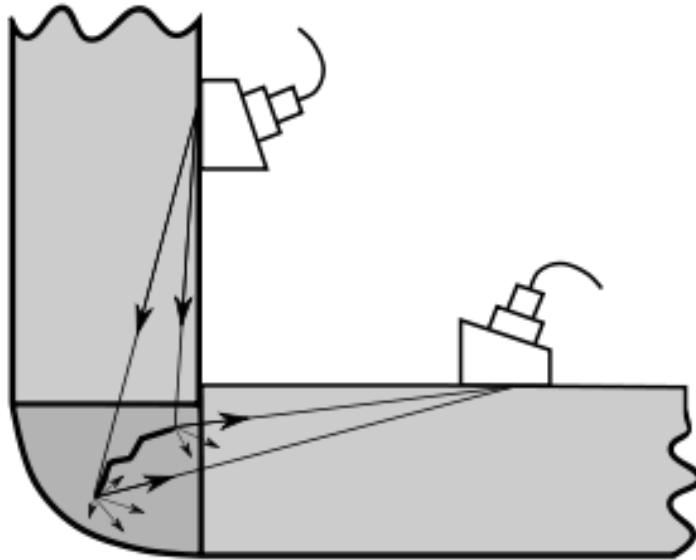


Рисунок 1.2. Схема встановлення датчиків при дзеркальному методі

1.2. Класифікація ультразвукових перетворювачів

Перетворювачі для приладів неруйнівного контролю за методом ультразвукового контролю поділяються на:

- контактні перетворювачі, які притиснуті на поверхні виробу, попередньо змащену рідиною (маслом, гліцерином тощо); в деяких випадках рідкий шар замінюється еластичним матеріалом (еластичним протектором);
- імерсійні перетворювачі, між поверхнею яких і виробом знаходиться товстий шар рідини (товщина цього шару у багато разів перевищує довжину хвилі); поки виріб повністю або частково занурено в занурювальну ванну;

- щілинні перетворювачі (меніскові), між поверхнею яких і виробом створюється простір у порядку довжини хвилі ультразвуку; рідина в просторі утримується силами поверхневого натягу;

- перетворювачі з сухим точковим контактом, зі сферичною поверхнею, щільно контактують з виробом, площа контакту $0,01 \div 0,5$;

- безконтактні перетворювачі, що збуджують акустичні коливання у виробі через повітряний шар (повітряно-акустичні з'єднання).

Залежно від форми і типу п'єзоелемента перетворювачі поділяються на:

- монолітні плоскі п'єзоелектричні пластинчасті перетворювачі;

- фокусуючі перетворювачі, що забезпечують звуження акустичного поля у визначеній ділянці ОК;

- лінійні або опуклі розподілені перетворювачі, що складаються з групи окремих елементів.

1.2.1. Теоретичні відомості про фокусуючі перетворювачі

Ультразвукові системи фокусування знаходять широке застосування, зокрема: для технологічних цілей, тобто для концентрації енергії акустичних хвиль, при виявленні дефектів для отримання зображень об'єктів.

Підхід пружної хвилі в цілому схожий на підхід оптичних хвиль. Однак є відмінності між фокусом пружних і оптичних хвиль.

Існує чотири основних типи систем фокусування: активні концентратори (зігнуті випромінювачі), рефрактори (акустичні заломлюючі лінзи), рефлектори (пасивні відбивачі) і дефлектори (зональні пластини) (Рис. 1.3).

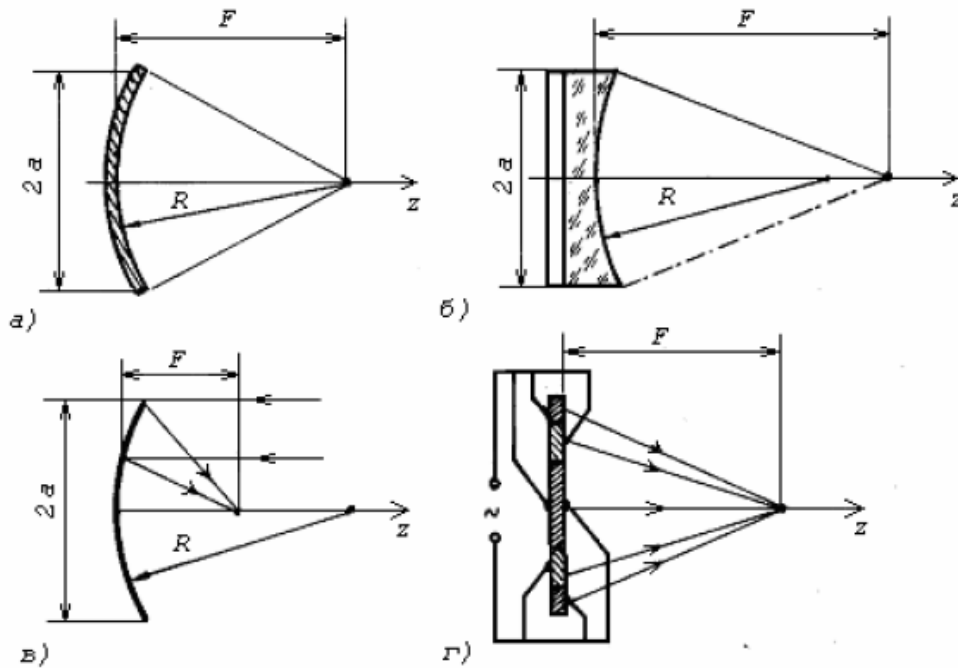


Рисунок 1.3. Основні типи фокусуєчих систем: а) активний концентратор; б) рефрактор; в) рефлектор; г) дефлектор.

У перших двох типах випромінювальна або заломлююча поверхня є тілом обертання кривих навколо акустичної осі. Найчастіше переріз поверхні є частиною кола, гіперболи або еліпса відповідно, а системи фокусування називають круговою, гіперболічною та еліптичною.

1.3. Вибір та обґрунтування методу контролю та виду ультразвукового перетворювача

Тонкий кільцеподібний п'єзоелектричний перетворювач, коливання якого поширюються в однорідному середовищі, наприклад у воді або твердому тілі, забезпечує фокусування ультразвукового випромінювання вздовж його осі [2].

Сферичні або циліндричні хвильові фронти можна синтезувати за допомогою розподілених перетворювачів, але для цього необхідно ввести фазові зсуви або часові затримки в сигнали випромінювання окремих елементів перетворювача, створюючи фронт випромінювання необхідної форми [3]. Фокусуєчий перетворювач зосереджує енергію акустичного поля в заданій

області, фокальна зона, яка при сферичному фокусі має форму кола, а з циліндричним фокусом – смугу. Перетворювачі фокусування забезпечують кращу роздільну здатність, тоді як циліндричні фокусні перетворювачі використовуються для перевірки трубок і стрижнів.

П'єзоелектричні перетворювачі, що складаються з кількох кільцевих перетворювачів різного радіусу, показаних на рисунку 1.4, мають ряд переваг, головна з яких: відсутність великого загасання коливань, присутніх при перетині меж середовища, наприклад: концентратор - вода і вода - ОК. Це пов'язано з відсутністю концентруючої лінзи, що значно спотворює гасіння вібрацій.

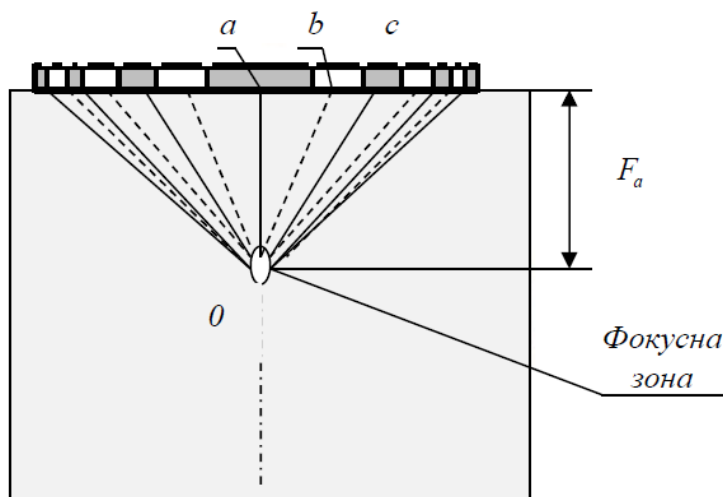


Рисунок 1.4. Ультразвуковий фокусувальний перетворювач на основі набору перетворювачів кільцевої форми.

F_a – фокусна відстань, a, b, c – умовні центри кілець, O – фокальна «пляма»

Перетворювач має n-у кількість кілець. Кожне кільце має збуджуватися з певною затримкою від першого кільця. Відстань між кожним сусіднім кільцем може бути мінімальним, наприклад 1 мм. Ширина кілець може бути однаковою, наприклад 1 мм для огляду сталевих предметів з частотою вібрації 1 МГц.

Фокусувальний перетворювач, побудований із серії кілець, не має обмежень по глибині фокусної відстані, на відміну від того ж перетворювача, побудованого на основі концентратора [4].

Основним недоліком перетворювача, побудованого з кільце, є складність реалізації такої системи. При отриманні сигналу необхідно відрегулювати зсув фази. Основна перевага полягає в тому, що ми можемо контролювати моменти збудження кожного кільця і таким чином змінювати фокусну відстань.

Розрахунок радіусів круглих п'єзоелектричних перетворювачів можна проводити з урахуванням того, що радіус R в центрі фокальної зони від центру кожного кільця повинен відрізнятися на ціле число від довжини хвилі вібрації, що забезпечить збіг фази. коливання, збуджені в даній фокальній зоні на глибині F .

Висновки до розділу

Методи ультразвукового неруйнівного контролю знаходять широке застосування в різних галузях промисловості та в медицині: в авіаційному та машинобудуванні, приладобудуванні, залізниці та інших видах транспорту, енергетиці, легкій промисловості, хімічній, нафтогазовій, медицині, мистецтві та ін. За допомогою УЗ виявляють дефекти та пошкодження в різних матеріалах, визначають фізико-механічні характеристики, вимірюють геометричні параметри об'єктів, діагностують різні захворювання внутрішніх органів людини.

Розглянуто основні види ультразвукових методів контролю. Проаналізувавши основні методи контролю можна виділити, що луноімпульсний метод застосовується для вирішення багатьох задач.

Також розглянуто класифікацію ультразвукових перетворювачів, серед яких слід виділити фокусуючі перетворювачі.

Ультразвукові фокусуючі системи широко застосовуються, зокрема: в технологічних цілях – для концентрації енергії акустичних хвиль, в дефектоскопії – з метою отримання зображень об'єктів.

Тонкий кільцеподібний п'єзоелектричний перетворювач, коливання якого поширюються в однорідному середовищі, наприклад у воді або твердому тілі, забезпечує фокусування ультразвукового випромінювання вздовж його осі.

2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ

2.1. Розрахунок параметрів п'єзоперетворювача

В якості матеріалу п'єзоелементу обираємо ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю), дуже поширеного матеріалу із якого виготовляють подібні п'єзопластини[5].

Розрахуємо довжину хвилі в п'єзоперетворювачі за формулою (2.1):

$$\lambda_{\text{цтс}} = \frac{C_{\text{цтс}}}{f} \quad (2.1)$$

де $C_{\text{цтс}} = 3500$ (м/с) – швидкість ультразвукових хвиль в ЦТС-19, $f = 2.5$ (МГц) – робоча частота;

$$\lambda_{\text{цтс}} = \frac{3500}{2.5 \cdot 10^6} = 1.4 \cdot 10^{-3} (\text{м})$$

Далі розрахуємо товщину п'єзоперетворювача за формулою (2.2):

$$h = \frac{\lambda_{\text{цтс}}}{2} \quad (2.2)$$
$$h = \frac{1.4 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.7 \cdot 10^{-3} (\text{м})$$

Отже, товщина перетворювача становить 0.7 мм.

Далі необхідно розрахувати кількість кілець і діаметр кожного з них.

Призначимо фокусну відстань: $F = 10$ (мм)

Розрахуємо довжину хвилі в сталі за формулою (2.3):

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{C_{\text{ст}}}{f} \quad (2.3)$$

де $C_{\text{ст}} = 5500$ (м/с) – швидкість ультразвукових хвиль в сталі;

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{5500}{2.5 \cdot 10^6} = 2.2 \cdot 10^{-3} (\text{м})$$

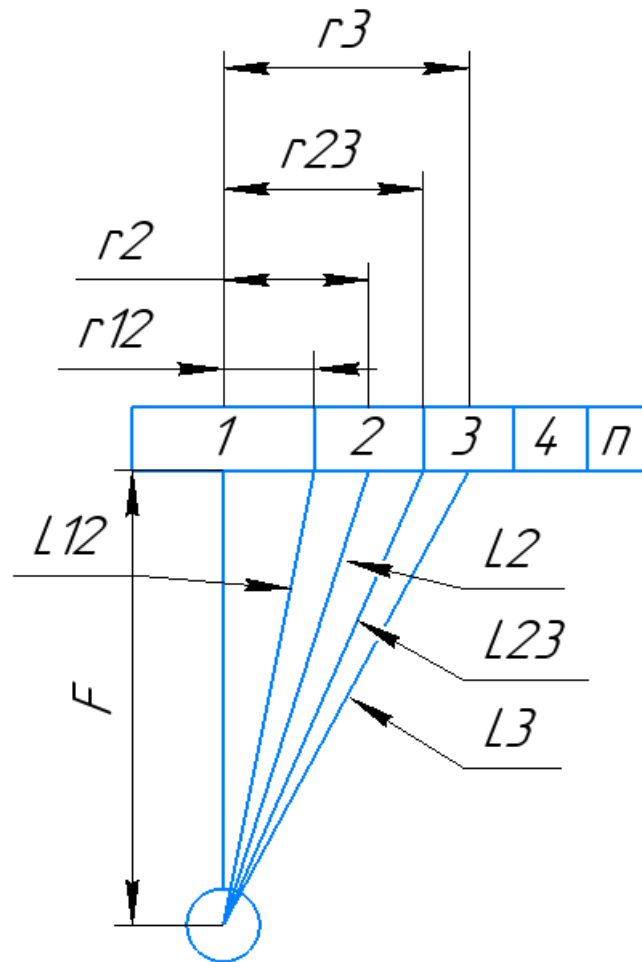


Рисунок 2.1. Схематичне зображення ультразвукового фокуруючого перетворювача.

З центральної точки до фокусної зони йде ультразвук, на рисунку 2.1 зображений у вигляді вектора OF . Кожна точка, яка знаходиться далі від центру, тобто $r_{12}, r_2, r_{23}, \dots, r_n$ має затримку із-за більшої відстані від центру. Нам необхідно, щоб сумарний сигнал був максимальний. Це можливо тоді, коли із країв вектора O випромінюється ультразвук з затримкою, яка еквівалентна фазовому зсуву в 45° . Далі ці вектори складуються і дають прибавку до вектора OF .

Якщо зробити кут ширше, то випромінювання ультразвуку буде спрямовано убік і не дає можливості отримати сигнал відбитий від фокусної зони. Тому обмежувемося приростом довжини хвилі в значення $\frac{\lambda_{ст}}{8}$.

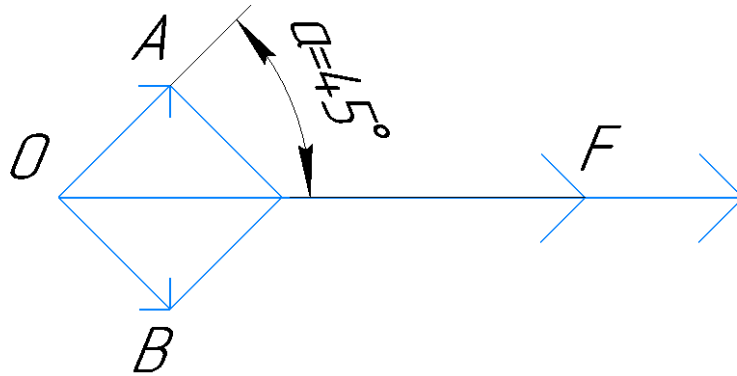


Рисунок 2.2. Схематичне зображення векторної діаграми

Відстань від центра до середини кожного кільця розрахуємо за формулою (2.4):

$$r_i = \sqrt{\left(F + \frac{(2 \cdot i - 2) \cdot \lambda_{\text{ст}}}{8}\right)^2 - F^2} \quad (2.4)$$

Відстань від центра до грані кожного кільця розрахуємо за формулою (2.5):

$$r_{i,i+1} = \sqrt{\left(F + \frac{(2 \cdot i - 1) \cdot \lambda_{\text{ст}}}{8}\right)^2 - F^2} \quad (2.4)$$

Кількість кілець визначається з умови: $r_n \leq F = 10$ (мм)

Розрахуємо відстані від центра до середини та відстані від центра до грані кожного кільця за формулою (2.4) та (2.5):

Відстань від центра до грані першого кільця:

$$r_{12} = \sqrt{\left(10 + \frac{1 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 2.361 \text{ (мм)}$$

Відстань від центра до середини другого кільця:

$$r_2 = \sqrt{\left(10 + \frac{2 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 3.362 \text{ (мм)}$$

Відстань від центра до грані другого кільця:

$$r_{23} = \sqrt{\left(10 + \frac{3 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 4.145(\text{мм})$$

Відстань від центра до середини третього кільця:

$$r_3 = \sqrt{\left(10 + \frac{4 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 4.818(\text{мм})$$

Відстань від центра до грані третього кільця:

$$r_{34} = \sqrt{\left(10 + \frac{5 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 5.421(\text{мм})$$

Відстань від центра до середини четвертого кільця:

$$r_4 = \sqrt{\left(10 + \frac{6 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 5.977(\text{мм})$$

Відстань від центра до грані четвертого кільця:

$$r_{45} = \sqrt{\left(10 + \frac{7 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 6.497(\text{мм})$$

Відстань від центра до середини п'ятого кільця:

$$r_5 = \sqrt{\left(10 + \frac{8 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 6.989(\text{мм})$$

Відстань від центра до грані п'ятого кільця:

$$r_{56} = \sqrt{\left(10 + \frac{9 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 7.458(\text{мм})$$

Відстань від центра до середини шостого кільця:

$$r_6 = \sqrt{\left(10 + \frac{10 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 7.91(\text{мм})$$

Відстань від центра до грані шостого кільця:

$$r_{67} = \sqrt{\left(10 + \frac{11 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 8.346(\text{мм})$$

Відстань від центра до середини сьомого кільця:

$$r_7 = \sqrt{\left(10 + \frac{12 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 8.769(\text{мм})$$

Відстань від центра до грані сьомого кільця:

$$r_{78} = \sqrt{\left(10 + \frac{13 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 9.18(\text{мм})$$

Відстань від центра до середини восьмого кільця:

$$r_8 = \sqrt{\left(10 + \frac{14 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 9.582(\text{мм})$$

Відстань від центра до грані восьмого кільця:

$$r_{89} = \sqrt{\left(10 + \frac{15 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 9.976(\text{мм})$$

Відстань від центра до середини дев'ятого кільця:

$$r_9 = \sqrt{\left(10 + \frac{16 \cdot 2.2}{8}\right)^2 - 10^2} = 10.361(\text{мм})$$

Так як $r_9 = 10.361 \geq F$, то наш перетворювач буде мати 8 кілець.

Далі необхідно розрахувати затримку часу, за який луносигнал пройде від умовного центру кожного кільця до фокусної зони.

$$\tau_j = \frac{2 \cdot L_j}{C_{\text{ст}}} \quad (2.5)$$

де L_j – це відстань від кожного умовного центру кільця до фокусної зони.

$$L_j = F + \frac{(2 \cdot j - 2) \cdot \lambda_{\text{ст}}}{8} \quad (2.6)$$

Розрахуємо затримку часу для кожного кільця:

Затримка часу для першого кільця:

$$\tau_2 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{0 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 3.636 \text{ (мкс)}$$

Затримка часу для другого кільця:

$$\tau_2 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{2 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 3.836 \text{ (мкс)}$$

Затримка часу для третього кільця:

$$\tau_3 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{4 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 4.036 \text{ (мкс)}$$

Затримка часу для четвертого кільця:

$$\tau_4 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{6 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 4.236 \text{ (мкс)}$$

Затримка часу для п'ятого кільця:

$$\tau_5 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{8 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 4.436 \text{ (мкс)}$$

Затримка часу для шостого кільця:

$$\tau_6 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{10 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 4.636 \text{ (мкс)}$$

Затримка часу для сьомого кільця:

$$\tau_7 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{12 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 4.836 \text{ (мкс)}$$

Затримка часу для восьмого кільця:

$$\tau_8 = \frac{2 \cdot (10 + \frac{14 \cdot 2.2}{8})}{5.5 \cdot 10^6} = 5.036 \text{ (мкс)}$$

Таблиця 2.1. Затримки часу для формувача імпульсів та АЦП

$\tau_{\text{ацп, МКС}}$ / $\tau_{\text{ф.і, МКС}}$	1	2	3	4	5	6	7	8
8	5.036							
7		4.836						
6			4.636					
5				4.436				
4					4.236			
3						4.036		
2							3.836	
1								3.636

Для того, щоб використовувати такий перетворювач для іншого значення фокусної відстані F , адже геометричні розміри елементів пов'язані з цією відстанню, то необхідно змінювати часові затримки при збудженні та часові затримки синхронізації спрацювань АЦП.

2.2. Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту

Коефіцієнт акустичного тракту – це числове значення, яке визначається за допомогою формули акустичного тракту. Коефіцієнт акустичного тракту враховує діаграму променів, характеристики спрямованості приймаючого випромінювання та структурну схему акустичного тракту (акустичні характеристики та розміри середовища, яке проходить акустичний промінь).

На амплітуду прийнятого сигналу впливають кілька факторів: форма дефекту, його розміри, орієнтація дефекту в об'єкті контролю. Розрахунок акустичного тракту означає визначення амплітуди корисного сигналу на основі форми, розміру дефекту, розміру перетворювача, глибини дефекту, акустичних властивостей матеріалу та частоти вібрації [6].

Розрахуємо коефіцієнт акустичного тракту за формулою (2.7):

$$K_{a.t.} = K_{пер}^2 \cdot K_{прох}^2 \cdot K_{затух}^2 \cdot K_{відб} \quad (2.7)$$

де $K_{пер}$ – це коефіцієнт електромеханічного перетворення;

$K_{прох}$ – це коефіцієнт проходження між керамікою і металом;

$K_{затух}$ – це коефіцієнт затухання;

$K_{відб}$ – це коефіцієнт відбиття.

Розрахуємо $K_{пер}$ за формулою (2.8):

$$K_{пер} = K_{пр} \cdot K_{зв} \quad (2.8)$$

де $K_{пр}$ – це коефіцієнт прямого електромеханічного перетворення;

$K_{зв}$ – це коефіцієнт зворотного електромеханічного перетворення;

$K_{пр}$ і $K_{зв}$ приймаємо по 0.2, тому можемо розрахувати коефіцієнт електромеханічного перетворення:

$$K_{пер} = 0.2 \cdot 0.2 = 0.04$$

Наступним кроком розрахуємо $K_{\text{прох}}$ за формулою (3.3):

$$K_{\text{прох}} = \frac{4 \cdot z_{\text{цтс}} \cdot z_{\text{ст}}}{(z_{\text{цтс}} + z_{\text{ст}})^2} \quad (2.9)$$

де, $z_{\text{цтс}}$ – імпеданс ЦТС-19;

$z_{\text{ст}}$ – імпеданс сталі;

$$z_{\text{цтс}} = \rho_{\text{цтс}} \cdot C_{\text{цтс}} \quad (2.10)$$

$$z_{\text{ст}} = \rho_{\text{ст}} \cdot C_{\text{ст}} \quad (2.11)$$

де, $\rho_{\text{цтс}} = 7400 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$ – густина в ЦТС-19;

$\rho_{\text{ст}} = 7700 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$ – густина в сталі;

$C_{\text{цтс}} = 3500 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$ – швидкість ультразвукових хвиль в ЦТС-19;

$C_{\text{ст}} = 5500 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$ – швидкість ультразвукових хвиль в сталі;

$$z_{\text{цтс}} = 7400 \cdot 3500 = 2590 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right)$$

$$z_{\text{ст}} = 7700 \cdot 5500 = 4235 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right)$$

$$K_{\text{прох}} = \frac{4 \cdot 2590 \cdot 10^4 \cdot 4235 \cdot 10^4}{(2590 \cdot 10^4 + 4235 \cdot 10^4)^2} = 0.942$$

Коефіцієнт затухання $K_{\text{затух}}$ – це таблична величина, тому приймаємо $0.27 \left(\frac{\text{Нп}}{\text{м}}\right)$

Далі розрахуємо коефіцієнт відбиття $K_{\text{відб}}$ за формулою (2.12):

$$K_{\text{відб}} = \frac{S_{\text{бр}} \cdot k_0}{S_0} \quad (2.12)$$

де $S_{\text{бр}}$ – це площа бракувального дефекта, яка розраховується за формулою (2.13):

$$S_{\text{бр}} = \frac{\pi \cdot \Delta^2}{4} \quad (2.13)$$

де $\Delta = 0.4$ (мм) – заданий бракувальний рівень;

$$S_{бр} = \frac{\pi \cdot 0.4^2}{4} = 0.126 \text{ (мм}^2\text{)}$$

$k_0 = 1$ – коефіцієнт відбиття від «плями» фокусної зони;

S_0 – це площа «плями» фокусної зони, яка розраховується за формулою (2.14)

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \quad (2.14)$$

де d_0 – це діаметр «плями» фокусної зони, який розраховується за формулою (2.15):

$$d_0 = 1.2 \cdot \lambda_{ст} \quad (2.15)$$

Знаючи $\lambda_{ст}$ можемо розрахувати:

- Діаметр «плями» фокусної зони:

$$d_0 = 1.2 \cdot 2.2 = 2.64 \text{ (мм)}$$

- Площу «плями» фокусної зони:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot 2.64^2}{4} = 5.474 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Розрахувавши усі значення, можемо визначити коефіцієнт відбиття за формулою (2.12):

$$K_{відб} = \frac{0.126 \cdot 1}{5.474} = 0.023$$

Знаючи усі величини, розрахуємо коефіцієнт акустичного тракту за формулою (2.7):

$$K_{а.т.} = 0.04^2 \cdot 0.942^2 \cdot 0.27^2 \cdot 0.023 = 2.376 \cdot 10^{-6}$$

2.3. Розрахунок електроакустичного тракту

Електроакустичний тракт є частиною електричного кола, що включає електричну сторону перетворювача, де відбувається електромеханічне перетворення (пряме чи зворотнє). Електроакустичний тракт в основному визначає робочу частоту випромінювання, форму зондуючого імпульсу та коефіцієнт перетворення електричної енергії в акустичну і навпаки. [7]

Задаємо амплітудою напруги луносигнала відбитого від дефекта бракувального рівня в фокальній зоні: $U_{\text{пбр}} = 10^{-4}$ (В)

Далі необхідно визначити напругу збудження. Цю напругу будемо подавати на всі канали з різною фазою збудження.

$$U_{\text{зб}} = \frac{U_{\text{пбр}}}{K_{\text{а.т.}}} \quad (2.16)$$
$$U_{\text{зб}} = \frac{10^{-4}}{2.376 \cdot 10^{-6}} = 42.094 \text{ (В)}$$

Приймаємо напругу збудження $U_{\text{зб}} = 50$ (В)

2.4. Опис функціональної схеми

На рисунку 2.3 представлено функціональну схему на основі фокусуєчого перетворювача, побудованого з декількох кільцевих п'єзоперетворювачів.

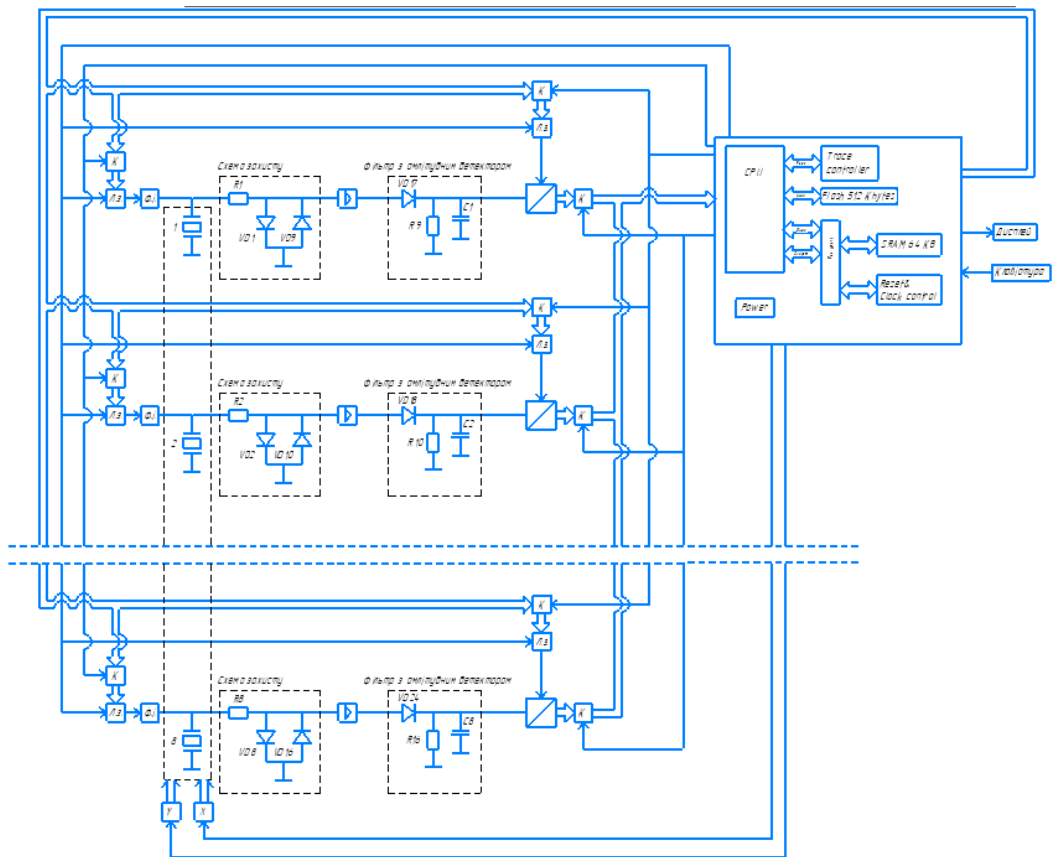


Рисунок 2.3. Функціональна схема фокуруючого перетворювача, побудованого з кільцевих п'єзоперетворювачів.

Ф.і. – формувач імпульсу; Л.з. – керована лінія затримки; 1, 2, ..., 8 – елемент ґратки; К – багатоканальний ключ.

Збудження кожного елемента здійснюється за рахунок того, що ми подаємо короткий імпульс з мікроконтролера на формувач імпульсів, потім сигнал надходить на елемент решітки 1, де формується радіоімпульс коливаний, а з нього сигнал виходить до схеми захисту, щоб великий сигнал не проходив далі до тракту.

На наступному кроці сигнал направляєється на підсилювач. З необхідної роздільно здатності робиться розрахунок коефіцієнта підсилення. Детектор і фільтр виділяють відеоімпульс, огинаючи радіосигналу, розраховану за формулою:

$$A(t) = A_m \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi f}{3} t\right) \right] \cos(2\pi f t) \quad (2.17)$$

$$0 \leq t \leq \frac{3}{f}$$

де f – частота ультразвукових коливань.

Прийом коливань фокальної зони кожним елементом перетворювача і його перетворення в тракт і подальше кодування в АЦП здійснюється таким чином, щоб луносигнал відповідав фокальній зоні. Для цього момент синхронізації формується затримкою синхронізаційного імпульсу роботи системи відповідно до затримки коливань на шляху їх розповсюдження в ОК. При цьому АЦП кожного елемента синхронізується з вихідним сигналом окремих ліній затримки. Встановлення коду затримки кожної лінії затримки здійснюється за допомогою програмно керованого мікроконтролера перед виконанням операції керування[8].

2.5. Розрахунок електричної-принципової схеми

Формувач імпульсів(рис. 2.4) – це ключ, розрахований на те, щоб комутувати напругу достатньо високого рівня. Ключ побудований на польовому транзисторі 2N7000(VTI).

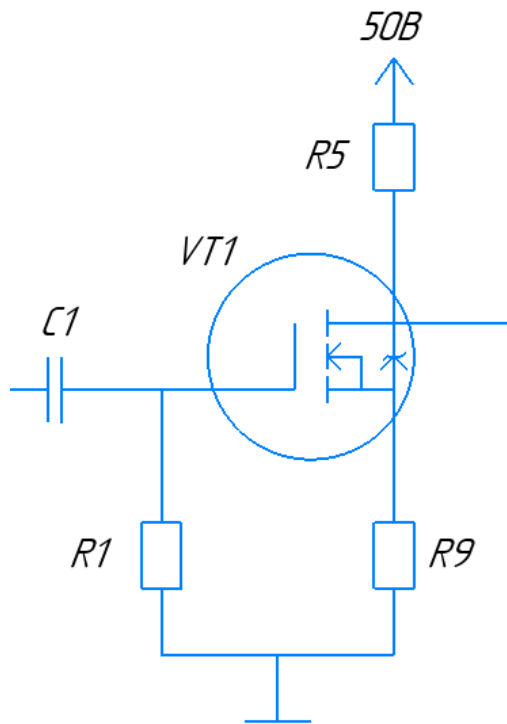


Рисунок 2.4. Формувач імпульсів

Транзистор 2N7000 польовий N-канальний 60V 0.2A корпус TO-92 виконаний на основі пластини напівпровідника N-типу.

Оскільки транзистор є польовим, то він керується електричним полем, а не струмом бази, що дозволяє не витратити додаткову енергію.

Вхід польового транзистора має значний опір, що дозволяє підключати високоомне джерело електричних коливань.

Основні характеристики транзистора:

- Тип транзистора: N-канальний;
- Максимальний струм "drain"- "source": 0.2A;
- Максимальна напруга "drain"- "source": 60V;
- Тип корпусу: TO-92.

Призначаємо конденсатору *C1* значення в 1 нФ.

Призначимо резистору *R1* значення в 100 кОм.

Резистор $R5$ розраховується за наступною формулою:

$$R5 = \frac{U_{зб}}{I_{тр}} \quad (2.18)$$

де $I_{тр}$ – це максимальний струм в транзисторі.

$$R5 = \frac{50}{0.2} = 250 \text{ (Ом)}$$

Так як резистора з номіналом в 250 Ом не існує, тому беремо резистор з номіналом в 270 Ом.

Резистору $R9$ призначаємо значення в 51 Ом.

Оскільки напруга живлення є високою і прикладається також до транзистора у процесі збудження п'єзоелементу, то останній повинен витримувати таку напругу.

До того ж струми, які протікають через транзистор під час процесу збудження, також досягають значних рівнів.

Тому в якості ключа використаємо польовий транзистор 2N7000. Зазвичай такі транзистори керуються низьковольтними логічними сигналами. Проте потужності таких сигналів недостатньо для керування затворами силових транзисторів, оскільки їх затвори мають велику електричну ємність, для зарядки яких на високій частоті потрібен великий струм.

Тому для узгодження низьковольтних логічних керуючих сигналів з рівням управління затвора польового транзистора потрібні проміжні узгодження – високовольтні драйвери.

Драйвер забезпечує великий струм для швидкої зарядки затвора транзистора для його відкриття, а також швидко розряджає затвор, коли транзистор потрібно закрити. Використаємо драйвер IR2117(Рис. 2.5).

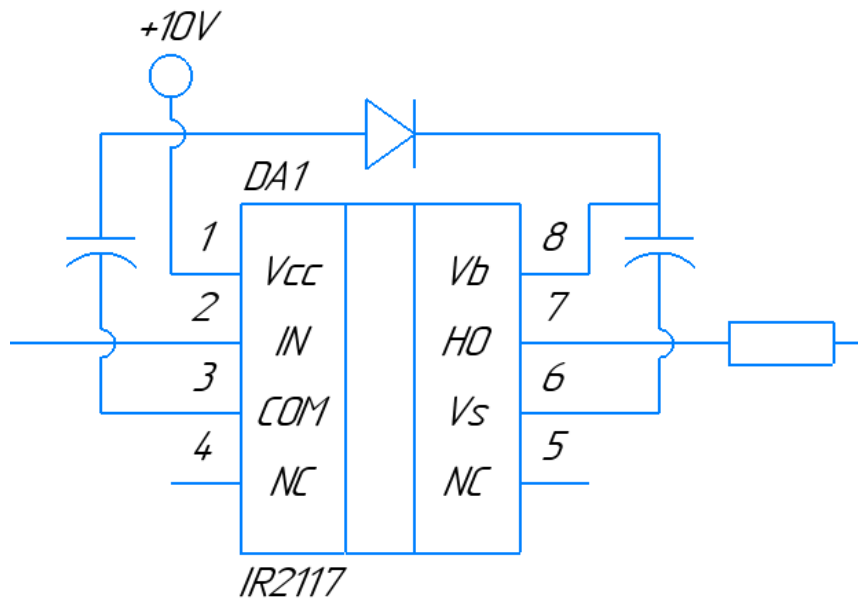


Рисунок 2.5. Драйвер IR2117 для керування польового транзистора

Схема захисту використовується для обмеження до безпечного рівня амплітуди високовольтного імпульсу, що потрапляє на вхід підсилювача.

Найпростішою схемою захисту є зустрічно-паралельне включення двох діодів між сигнальним проводом і землею.

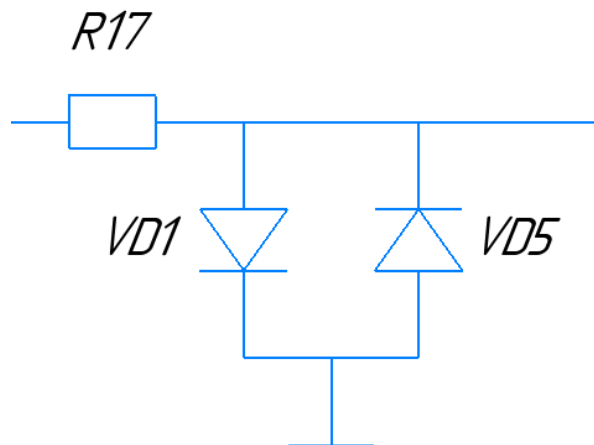


Рисунок 2.6. Схема захисту

Обмежувальні діоди включені зустрічно для того, щоб шунтувати як додатній, так і від'ємний півперіоди зондувального імпульсу.

Для того, щоб діоди не вийшли з ладу при різкому збільшенні струму, послідовно з ними включають обмежувальний резистор $R17$, опір якого вибирають значно більшим, ніж прямий опір відкритих діодів.

В якості діодів будемо використовувати діоди $1N4936$. Для того щоб розрахувати резистор $R17$, необхідно у довідникових матеріалах знайти значення максимального прямого струму діода. Далі, знаючи максимальну напругу імпульсу, що подається на діоди, можемо знайти опір $R17$.

$$R17 = \frac{U_{зб}}{I_{max}} \quad (2.19)$$

де I_{max} – це максимальний струм, яку можуть пропустити діоди.

$$R17 = \frac{50}{1} = 50 \text{ (Ом)}$$

Для підсилення сигналу будемо використовувати операційний підсилювач AD8055 (Рис. 2.7). Нам необхідно підсилити прийняту напругу так, щоб вона не перевищувала 5В.

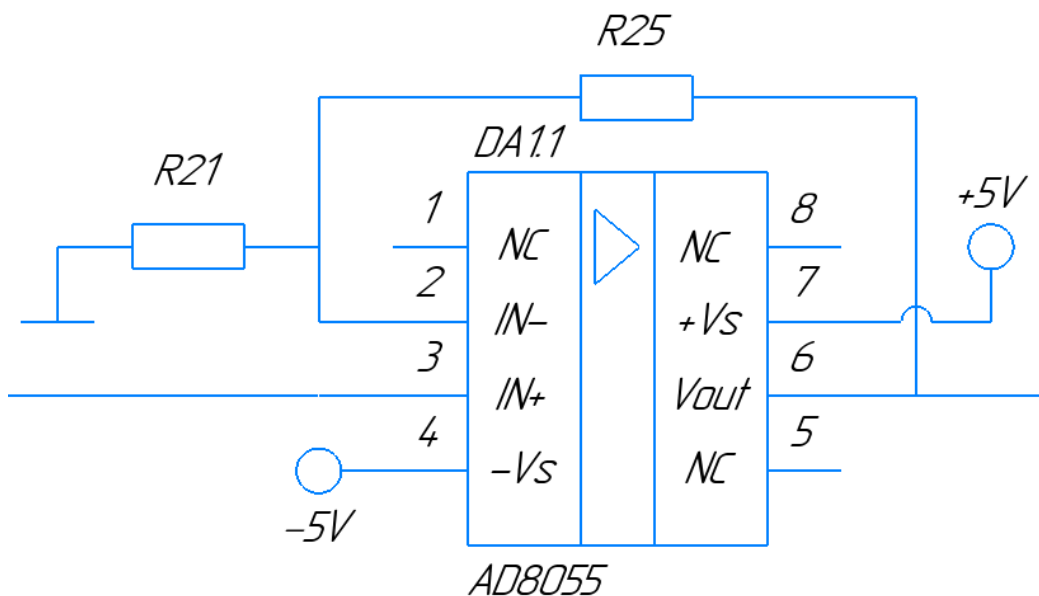


Рисунок 2.7. Операційний підсилювач AD8055

Далі можемо розрахувати коефіцієнт підсилення такого операційного підсилювача:

$$K_{\text{під}} = \frac{R_{25}}{R_{21}} + 1 \quad (2.20)$$

Задаємося напругою, яка потрапляє на АЦП: $U_k = 0.2(\text{В})$

Знаючи напругу перед підсилювачем $U_{\text{пбр}}$, можемо визначити загальний коефіцієнт підсилення:

$$K_{\text{заг}} = \frac{U_k}{U_{\text{пбр}}} \quad (2.21)$$

$$K_{\text{заг}} = \frac{0.2}{10^{-4}} = 2000$$

Коефіцієнт підсилення на амплітудному детекторі становить $K_{\text{ад}} = 0.3$

Тому можемо визначити який коефіцієнт підсилення потрібен на операційному підсилювачі:

$$K_{\text{під}} = \frac{K_{\text{заг}}}{K_{\text{ад}}} \quad (2.22)$$

Прирівняємо праві частини коефіцієнта підсилення $K_{\text{під}}$ і отримаємо:

$$\frac{R_{25}}{R_{21}} + 1 = \frac{K_{\text{заг}}}{K_{\text{ад}}}$$

Звідси можна визначити номінали резисторів R_{25} та R_{21} :

$$\frac{R_{25}}{R_{21}} = \frac{2000}{0.3} - 1 = 6665$$

Призначаємо $R_{21} = 100 (\text{Ом})$, а $R_{25} = 680 (\text{кОм})$

Амплітудний детектор і фільтр(рис. 2.8) виділяють відео-імпульс – огибающую радіосигналу.

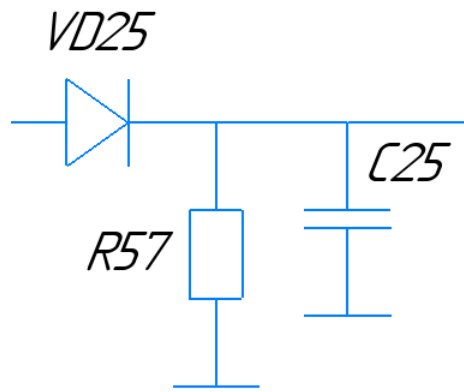


Рисунок 2.8. Амплітудний детектор з фільтром нижніх частот

Якщо на фільтр прийде імпульс, то конденсатор зарядиться, а шлях розряду конденсатору буде тільки на вхід АЦП, де є високоомний вхід, тому напруга не буде змінюватися, щоб не допустити цього використовуємо резистор $R57$ з номіналом в 1кОм .

Розрахуємо опір конденсатора $C25$. Для того, щоб отримати коефіцієнт передачі по несучій частоті 0.3 , то потрібно, щоб виконувалась умова (2.23):

$$R_c \leq \frac{R_d}{10} \quad (2.23)$$

Опір конденсатора повинен бути менше, ніж опір діода в 10 разів. Опір діода становить $R_d = 100$ (Ом), тому можемо розрахувати опір конденсатора за формулою (2.24):

$$R_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (2.24)$$

Призначимо ємність конденсатора рівною 10 нФ.

$$R_c = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5 \cdot 10^6 \cdot 10^{-8}} = 6.37 \text{ (Ом)}$$

Так як $R_c \leq \frac{R_d}{10}$, то умова (2.23) виконується.

Розрахунок АЦП проводимо виходячи з умови того, що частота дискретизації повинна бути як мінімум у 2 рази більше максимальної частоти вхідного сигнал, тобто:

$$f_{\text{ацп}} > f_{\text{д}} \cdot 2 \quad (2.25)$$

де $f_{\text{д}} = 2.5$ (МГц) – частота дискретизації;

$$f_{\text{ацп}} = 2.5 \cdot 2 = 5 \text{ (МГц)}$$

Мінімальна частота, яку ми повинні обрати, це 5 МГц. Призначимо $f_{\text{ацп}} = 20$ (МГц).

Далі розрахуємо розрядність АЦП за формулою (2.26):

$$q_{\text{ацп}} = \left[\log_2 \left(\frac{U_{\text{ацп}}}{Q} \right) \right] + 1 \quad (2.26)$$

де $U_{\text{ацп}} = 5$ (В) – напруга АЦП;

$Q = 0.1$ (В) – крок квантування АЦП;

$$q_{\text{ацп}} = \left[\log_2 \left(\frac{5}{0.1} \right) \right] + 1 = [5.644] + 1 = 5 + 1 = 6$$

Обираємо розрядність АЦП рівною 8.

Обираємо АЦП AD7278 (рис. 2.9).

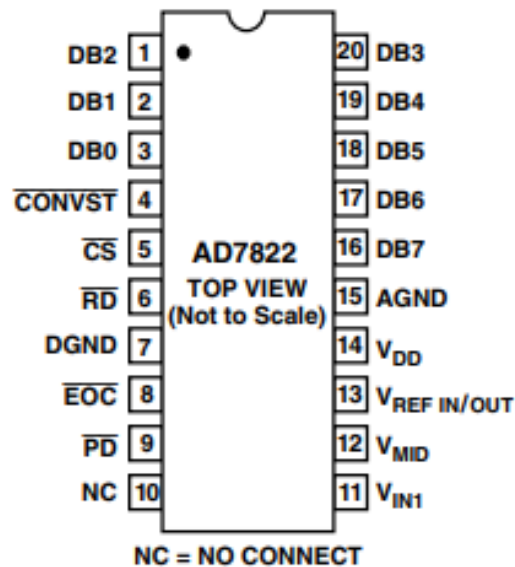


Рисунок 2.9. Конфігурація пінов АЦП AD7822

AD7822 – це 8-розрядний, високошвидкісний аналого-цифровий перетворювач з максимальною пропускнуою здатністю 2.5 MSPS. AD7822 містить опорний сигнал на чіпі 2,5 В (допуск 2%) та підсилювач. АЦП має високошвидкісний паралельний інтерфейс. Перетворювач може працювати від одного джерела живлення $3\text{ В} \pm 10\%$ і $5\text{ В} \pm 10\%$.

Основні переваги АЦП:

- Швидкий час перетворення

AD7822 має час перетворення 420 нс. Швидший час перетворення максимізує час обробки DSP в системі реального часу.

- Регулювання діапазону аналогового входу.

Вивід VMID дозволяє користувачеві зміщувати вхідний діапазон. Ця функція може зменшити вимоги до операційних підсилювачів з одним живленням і врахувати будь-які зсуви системи.

- FPBW (повна пропускна здатність) відстеження й утримання.

Підсилювач має чудові високочастотні характеристики. AD7822 здатен перетворювати повномасштабні вхідні сигнали до частоти 10 МГц. Це робить деталі ідеально придатними для застосування підвибірки.

- Вибір каналу

Вибір каналу здійснюється без необхідності запису до частини.

В якості мікроконтролера була обрана мікросхема STM32F103V8T6RC (Рис. 2.10) з корпусом LQFP100.

Сімейство лінійних характеристик STM32F103x C / D / E включає в себе високоефективне 32-бітне ядро RISC Arm Cortex-M3, що працює на частоті 72 МГц, вбудовану швидкісну пам'ять (флеш-пам'ять до 512 Кбайт і SRAM до 64 Кбайт), а також широкий спектр розширених вводів-виводів та периферійних пристроїв, підключених до двох шин APB. Усі пристрої пропонують три 12-бітні АЦП та два 12-бітні ЦАП, чотири 16-бітові таймери загального призначення плюс два таймери ШІМ, а також стандартний та розширений інтерфейс зв'язку: до двох I2C, три SPI, два I2S, один SDIO, п'ять USART, USB і CAN.

Сімейство високопродуктивних ліній високої щільності STM32F103X C / D / E працює в діапазоні температур від -40 до $+105$ °C, від джерела живлення від 2,0 до 3,6 В. Комплексний набір енергозберігаючого режиму дозволяє розробляти додатки з малою потужністю.

Ці функції роблять сімейство мікроконтролерів лінійних мікроконтролерів високої щільності STM32F103x C / D / E, придатних для широкого спектру застосувань.

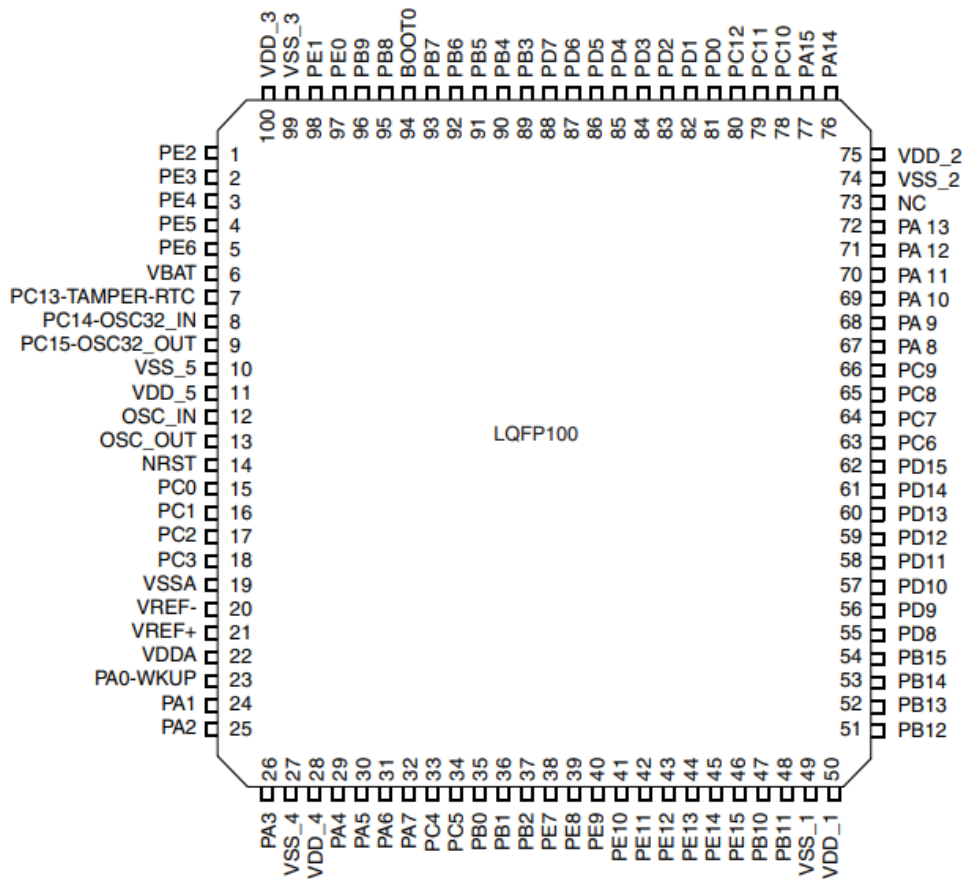


Рисунок 2.10. Конфігурація пінов мікроконтролера STM32F103V8T6RC

Під час пошуку дефектів в ОК, необхідно, щоб результат вимірювання приладу був показаний на екрані для зручності користувача. Було обрано дисплей LCD-128H064A (Рис. 2.11).

Основні технічні характеристики:

- Геометричні розміри: 93 x 70 x 13.6 мм ;
- Розмір екрана: 128 x 64;
- Напруга: 5 В .



Рисунок 2.11. Зовнішній вигляд дисплея LCD-128H064A

При проведенні контролю нам також необхідно керувати процесом, тому було обрано ряд кнопок KLS7-TS6604-5.0-180 (Рис. 2.12).



Рисунок 2.12. Зовнішній вигляд кнопки KLS7-TS6604-5.0-180

Висновки до розділу

В даному розділі було виконано розрахунки параметрів п'єзоперетворювача. Було розраховано довжину хвилі в сталі та ЦТС-19, розраховано відстань від центру фокусуєчого перетворювача до середини та краю кожного кільця. Розраховані затримки часу для формувача імпульсів та АЦП, а також створена таблиця затримок часу.

Також було виконано розрахунок коефіцієнта акустичного тракту. Коефіцієнт акустичного тракту – числова величина, що розкривається через формулу акустичного тракту.

На основі коефіцієнта акустичного тракту було розраховано електроакустичний тракт, а саме: напругу збудження.

В наступному підрозділі було представлено функціональну схему на основі фокуруючого перетворювача, побудованого з декількох кільцевих п'єзоперетворювачів. Наведено опис кожного блоку функціональної схеми.

Наведено розрахунки електрично-принципової схеми. Було розраховано формувач імпульсів, схему захисту, коефіцієнт операційного підсилювача, амплітудний детектор та фільтр, також розраховано АЦП та підібрані необхідний мікроконтролер, дисплей та клавіатура.

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ

З конструктивних міркувань було розроблено прямокутний перетворювач. Розрахунки перетворювача проводились в розділі 2.1, а розміри корпусу вибирались з конструктивних міркувань. Конструкція перетворювача наведена на рис. 3.1.

Конструкція датчика передбачає наявність декількох обов'язкових елементів: п'єзопластина, захисна накладка, коаксіальний кабель, корпус та кришка. Тому технологія виготовлення таких перетворювачів містить у собі технологію одержання кожного елемента та їхнє сполучення між собою.

Корпус виступає в ролі захисної деталі конструкції. При зборці конструкції перш за все необхідно припаяти дроти до п'єзопластини, після чого приклеюємо п'єзопластину до корпусу. Після чого заливаємо епоксидною смолою простір в середині конструкції на $\frac{2}{3}$ від всього об'єму. Дроти, що з'єднані з п'єзопластиною проходять через отвір в корпусі до плати. Останнім етапом приклеюємо кришку до верхньої частини корпусу, а захисну накладку до нижньої частини корпусу.

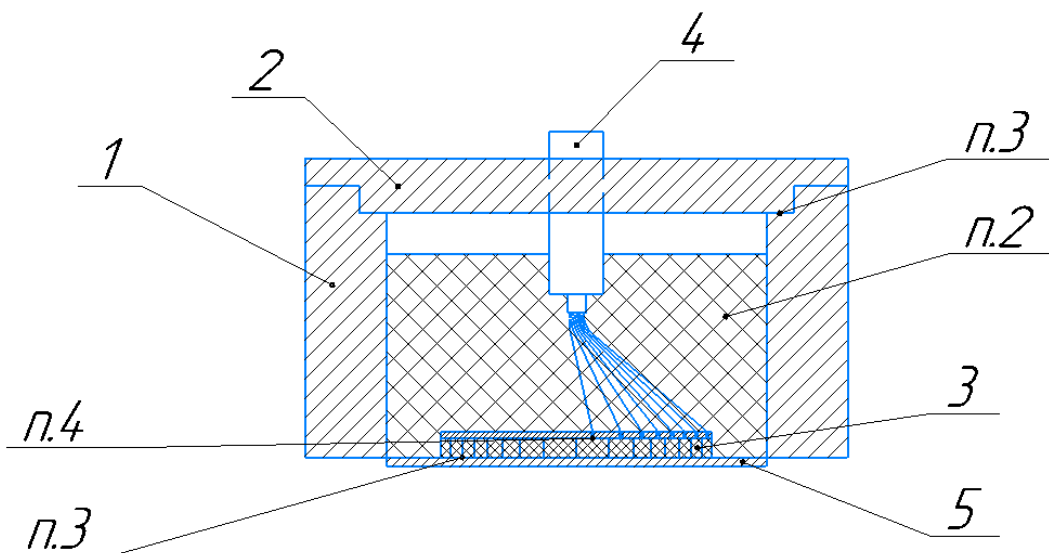


Рисунок 3.1. Конструкція п'єзоелектричного перетворювача

Матеріал захисної накладки повинен бути хорошим провідником акустичних коливань, а його товщина, виходячи з умови мінімальних втрат енергії вібрації, повинна становити чверть довжини вібраційної хвилі.

Матеріалом ультразвукового поглинача коливань може бути пористий матеріал, розміри повітряних включень, випадково розташованих в об'ємі цього матеріалу, повинні бути трохи менше довжини хвилі коливань. Як правило, такі матеріали отримують методами порошкової металургії або використовують епоксидні смоли, які в стані рідини добре насичуються повітрям при перемішуванні.

Збудження коливань пластини п'єзоелектричного перетворювача здійснюється коротким імпульсом напруги, формування якого здійснюється перемиканням постійної напруги джерела живлення.

Важливим компонентом автоматизованої системи ультразвукового контролю є сканер з двома ступенями свободи. Варіант кінематичної конструкції зазначеного сканера наведено на рисунку 3.2. Для забезпечення акустичного контакту п'єзоелектричного перетворювача з контрольованим матеріалом рекомендується запустити автоматичну систему сканування, підігнавши її до відповідного розміру резервуара, наповненого водою. Помістивши зразок матеріалу та вимірювальний перетворювач із системи дефектоскопії у воду, ви отримаєте гарантований акустичний контакт, необхідний для тестування. При цьому стінки резервуара, виготовлені, наприклад, з оргскла, можуть бути використані системою сканера як напрямні 4 для переміщення рухомої частини, закріпленої на підшипниках ковзання 10.

Платформа 8 з пристроєм для встановлення необхідного вертикального положення вимірювального перетворювача (у напрямку осі Oz) кроковим двигуном 2 і підшипниками ковзання 3 або підшипниками, розташованими в направляючих 3, рухається по цих напрямних у напрямку умовної осі Ox . Паралельні напрямні 3 утворюють єдиний рухомий вузол сканера, який за

допомогою крокового двигуна 1 і підшипників ковзання (кочення 4), розташованих у напрямних підшипниках 4, рухається в напрямку відносно напрямної 3 в напрямку осі Oy . При цьому платформа 8 з розміщеним на ній вимірювальним перетворювачем 7 в межах, що залежать від розмірів сканерної системи, має два кроки свободи і може рухатися як по осі Ox , так і по осі Oy .

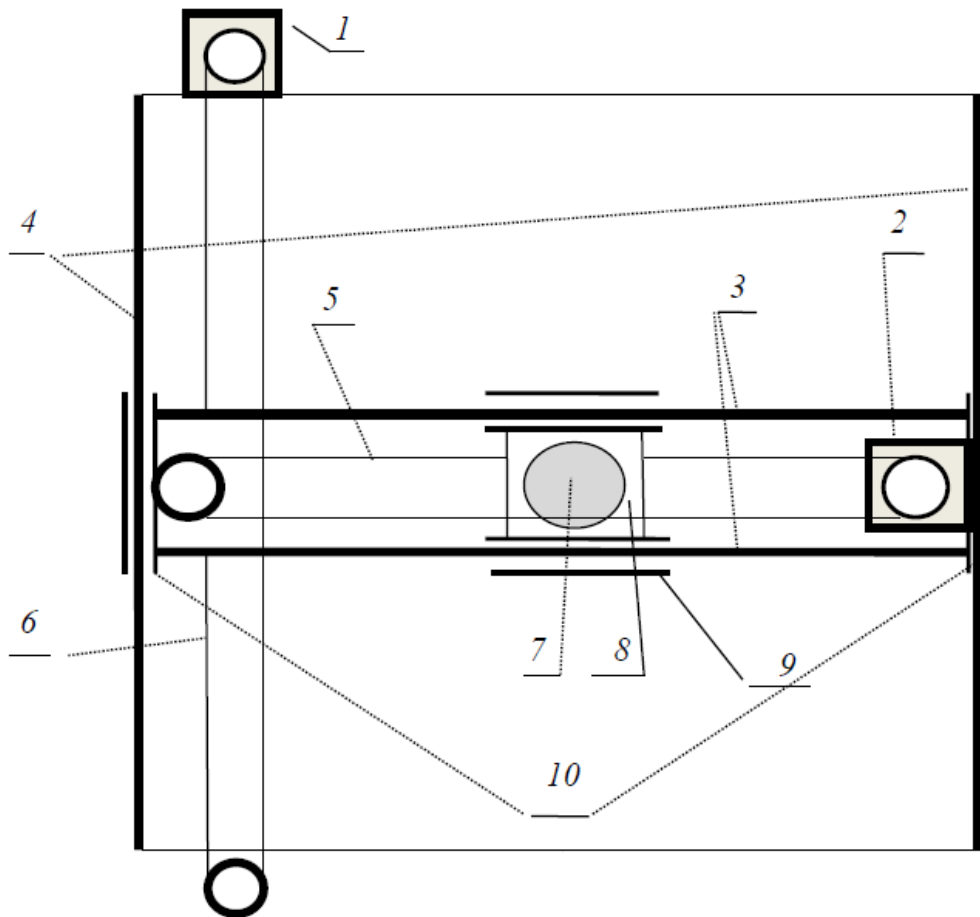


Рисунок 3.2. Схема сканера ультразвукової автоматичної системи контролю

1,2 – реверсивні крокові двигуни; 3 - пара паралельних направляючих Ox ; 4 – пара паралельних направляючих Oy ; 5 ,6 – тросикові системи переміщення каретки вздовж осей Ox та Oy ; 7 – вимірювальний перетворювач; 8 – рухома платформа сканера; 9,10 – підшипники ковзання.

Вибір кроку сканування поверхні досліджуваного об'єкта залежить від діаметра ультразвукового перетворювача, тобто в кінцевому вимірі від частоти ультразвукових коливань, які будуть використані в цій системі.

Згідно з рис. 3.2 переміщення платформи з вимірювальним перетворювачем здійснюється кроковими двигунами 1 і 2, тип і марку яких

необхідно вибирати виходячи з їх ціни, швидкості та необхідної потужності. При такому виборі необхідно враховувати масу пересувної платформи з вимірювальним перетворювачем на ній, а також необхідну швидкість процесу сканування поверхні об'єкта, керовану перетворювачем через проміжний шар води як контактне середовище.

Відповідно до принципу роботи системи керування, кожен i -й крок сканування вздовж умовної осі Ox і j -й крок уздовж осі Oy відповідає значенню координат k -го дискретного зразка А-скану, записаному в цифрову пам'ять мікроконтролер.

Подібну ультразвукову систему контролю можна використовувати для огляду об'єктів з плоскими або циліндричними поверхнями.

Час вимірювання визначається розміром області сканування при фіксованій швидкості сканування. Інформація, отримана в результаті перевірки розподілу градієнтів щільності в об'ємі матеріалу, дозволяє двовимірно візуалізувати цей розподіл у вигляді В-скану або С-скану будь-якої просторової орієнтації.

Якщо необхідно реалізувати систему керування об'єктами зі складною (розвиненою) поверхнею, необхідно використовувати сканер з великою кількістю ступенів свободи та скласти програму керування для цього сканера, адаптувавши її до поверхні сканера. контрольований об'єкт. Зазначений сканер, по суті, є програмованим роботом, характеристикою якого є, перш за все, висока швидкість і точність позиціонування мобільної платформи з розміщеним на ній вимірювальним перетворювачем з кількістю ступенів свободи її переміщення рівною мінімум п'ять.

Згідно з алгоритмом ультразвукової системи результатом перевірки є набір дискретних даних про рівень луносигналів, результат вимірювання кожного з яких записується в цифрову пам'ять мікроконтролера разом з трьома його координатами - i , j , k . Слід зазначити, що координати вибірок луносигналу не

обов'язково відповідають безпосередньо геометричним координатам об'єктів керування.

Для того щоб координати i , j , k відповідали геометричним координатам контрольованого об'єкта, необхідно визначити координати положення осей сканера в системі координат контрольованого об'єкта та виконати необхідні розрахунки. Якщо осі координат сканера паралельні осям координат контрольованого об'єкта, то перетворення координат полягає у заповненні отриманих координат сканування координатами положення осей сканера в системі координат об'єкта.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «УЛЬТРАЗВУКОВА АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ»

4.1. Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту

Цей розділ присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії.

Метою даного розділу є проведення маркетингового аналізу стартап-проекту для визначення можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

Ідея проекту полягає в розробці ультразвукової автоматичної системи контролю високої роздільної здатності за допомогою використання фокуруючих перетворювачів. Використання такого перетворювача дозволяє формувати сферичну форму фронту коливань, що надходять в задану зону матеріалу об'єкту контролю з розмірами, що не перевищують довжину хвилі та реалізувати прийом коливань відбитих від неоднорідностей в цій зоні[28].

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка ультразвукової автоматичної системи контролю високої роздільної здатності	Контроль листового металу	Підвищена роздільна здатність
		Прискорення процесу контролю

Основним напрямком застосування є контроль листового металу. Вигодою для користувача є підвищена роздільна здатність та прискорений процес контролю.

Проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї. Тобто чим відрізняється від вже існуючих аналогів. Визначимо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї, визначимо попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проведемо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку. Проведемо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

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

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W(слабка сторона)	N(нейтральна сторона)	S(сильна сторона)
	Мій проект	«DIO 1000 PA»	«УСД6 0ФР»	«Sonos on Focus»			
Вартість	50 тис.	150 тис.	300 тис.	200 тис.	-	-	+
Збереження результатів контролю	+	+	+	+	-	+	-
Роздільна здатність	0.1 мм	0.2 мм	0.15 мм	0.25 мм	-	-	+
Точність вимірювання	98	98	98	99	-	+	-

В цій таблиці вказано основні техніко-економічні характеристики ідеї проекту. Було визначено характеристики приладів-аналогів, що вже є на ринку, та визначено слабкі, нейтральні та сильні сторони стартап-проекту. Сильною стороною є вартість та роздільна здатність.

В цьому підрозділі буде проведено аудит ідеї проекту, за допомогою чого можна реалізувати ідею стартап-проекту. Для цього було передбачено аналіз складових, які наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
Розробка ультразвукової автоматичної системи контролю високої роздільної здатності	Виготовлення фокусуючого перетворювача	Наявна у виробників ультразвукових приладів	Доступна
	Замовлення електричних компонентів та плат	Електричні компоненти та плати доступні в інтернет-магазинах	Доступна
	Виготовлення приладу на замовлення у підприємствах	Необхідно створити лінію виробництва	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: фокусуючий перетворювач закуповується у виробників ультразвукових приладів, замовлення електричних компонентів та плат у інтернет-магазинах, збірка системи реалізується на замовлення у підприємствах.			

Аналізуючи таблицю, можна сказати, що ідею можна повністю реалізувати. Основним недоліком є ціна за виготовлення приладу на підприємствах. Можливе створення приладу самостійно, але якість приладу та вартість буде нижчою.

4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному підрозділі визначимо ринкові можливості, які будемо використовувати під час ринкового впровадження стартап-проекту, а також ринкові загрози, які можуть перешкоджати реалізації проекту. Аналізуючи це, можна планувати напрями розвитку стартап-проекту враховуючи стан ринкового середовища, основних потреб клієнтів та пропозицій проектів-аналогів.

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)	Без обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарти ISO та EN
6	Середня норм рентабельності в галузі (або по ринку), %	75 %

Аналіз таблиці дозволяє зробити висновок, що кількість конкурентів достатньо мала, загальний обсяг продаж невідомий, що свідчить про те, що ринок зростає і існує стабільний ринок для цієї продукції. Але є деякі недоліки з сертифікацією, так як це довготривалий процес.

В наступній таблиці визначимо потенційні групи людей та їх основні характеристики та вимоги до продукту, що дасть можливість сформулювати певні вимоги від кожного клієнту і здобути клієнтську базу.

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	Якість продукту та процес автоматизації його контролю	Підприємства, які використовують або виготовляють листовий метал	Нові вимоги до стандартизації продукції	Висока вірогідність контролю, автоматизованість, надійність, ефективність

Проаналізувавши таблицю, можемо зробити висновок, що потенційними клієнтами є підприємства, які використовують або виготовляють листовий метал. Врахувавши ці вимоги можна значно розширити клієнтську базу.

Після визначення основних груп клієнтів проведемо аналіз ринкового середовища. Складемо таблицю факторів, що перешкоджають стартап-проекту. Спираючись на ці загрози сплануємо шляхи вирішення цих проблем на початковому етапі.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Складний вихід нового продукту на ринок	Реклама товару та моніторинг ринку товару
2	Сертифікація	Довготривалий процес отримання сертифікатів	Отримання сертифікатів на початковому етапі

Продовження таблиці 4.6

3	Брак	Можливість поломки	Більше тестування приладу
4	Нестача компонентів	Можливість нестачі електричних компонентів та плат	Закупівля компонентів заздалегідь та у великій кількості

В цій таблиці наведено зміст основних загроз, які будуть негативно впливати на вихід продукту на ринок та можливу реакцію на їх виникнення, яку необхідно вводити у відповідь на основні загрози.

Основним фактором виходу товару на ринок є потенційні можливості, які наведені в наступній таблиці.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Економічний	Більш дешевий продукт з приладами-аналогами	Збільшення продажів і прибутку компанії
2	Ринок збуту	Можливість виходу на міжнародний ринок	Створення конкуренції на міжнародному ринку
3	Технічний	Використання нових, більш удосконалених фокуруючих перетворювачів	Впровадження нової технології для виготовлення приладу

Фактори можливостей сприяють на необхідність цього приладу на ринку. Орієнтуючись на ці фактори можна покращити прибуток компанії.

Проведемо аналіз пропозицій та визначимо основні характеристики конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції: олігополія	Існує декілька фірм, які виробляють цей товар	Якість товару, спланована цінова політика
Рівень конкурентної боротьби: міжнародний	Конкуренція на міжнародному рівні	Вихід на міжнародний ринок за рахунок низької ціни товару
Галузева ознака: одногалузєва	Використання продукту на підприємстві з однією галуззю	Додавання нових функцій в приладі для клієнтів
Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Конкуренція між технологіями та продуктами, що мають схожі функції	Нові технології, пропозиція товару за більш низькою ціною
Характер конкурентних переваг: нецінова	Здійснюється покращення якості, патентування та умови продажу	Потреба в постійному вдосконаленні приладу
Інтенсивність: не марочна	Купівля приладу не залежить від бренду, а від завдань, які він вирішує	Активна реклама компанії

Проаналізувавши таблицю, можна зробити висновок, що важливими характеристиками конкуренції є потреба у постійному покращенню технологічного процесу в локальних масштабах.

Детальний аналіз конкуренції в галузі наведено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
------------------	---------------------------	-----------------------	---------------	---------	------------------

Продовження таблиці 4.9

	«DIO 1000 PA», «УСД60ФР», «Sonoson Focus»	Якість товару, ціна, реклама	Значення розміру поставок для постачальників	Клієнти оцінюють роботу продавців та якість продукції	Неякісні товари
Висновки:	Мають велику клієнтську базу на національному у та міжнародному у рівні	Є можливість входу в ринок, також є потенційні конкуренти	Постачальники не впливають на умови роботи на ринку	Клієнти встановлю ють вимоги до ціни товару	Більш відомі товари мають великий попит на ринку

Аналіз дозволяє зробити висновок, що ситуація на ринку передбачає впровадження якісного товару з необхідними перевагами над конкурентами або товару зі зниженою ціною для того, щоб зайняти частину ринку. Подальший розвиток дає можливість виходу на міжнародний рівень.

На основі аналізу конкуренції (табл. 4.9) та врахувавши характеристики ідеї стартап-проекту (табл. 4.2), очікувань клієнтів від товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6 – 4.7) визначимо перелік факторів конкурентоспроможності. Цей аналіз проведемо в таблиці 10.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування(наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Вартість	Використання сучасних технологій виготовлення фокусуєчих перетворювачів
2	Простота в експлуатації	Зручний та зрозумілий інтерфейс приладу
3	Якість продукту	Прилад зроблено для довготривалої експлуатації
4	Економічний	Залучення нового фінансування

Провівши аналіз можемо зробити висновок, що основними факторами конкурентоспроможності є вартість та якість продукту.

Визначивши основні фактори конкурентоспроможності (табл. 10) виділимо сильні та слабкі сторони проекту в таблиці 11.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «УСД-60ФР»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з УСД-60ФР						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Вартість	16						+	
2	Простота в експлуатації	11					+		
3	Якість продукту	18					+		
4	Економічний	19			+				

Виділивши сильні та слабкі сторони стартап-проекту можемо зробити висновок, що за факторами конкурентоспроможності продукт має більше переваг, ніж недоліків. Це дозволяє стати стартап-проекту досить конкурентоспроможним на ринку товарів.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі факторів ринкових загроз та можливостей, а також сильних та слабких сторін (табл. 11) складемо SWOT-аналіз стартап проекту в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: використання сучасних електронних компонентів, вартість, якість продукту	Слабкі сторони: товар ще не зарекомендував себе на ринку, довгий процес пошуку клієнтської бази
Можливості: вихід на міжнародний рівень, використання нових фокусуєчих перетворювачів, залучення нових інвесторів	Загрози: конкуренти, брак при постачанні товару, політико-економічний ризик

В таблиці SWOT-аналізу описано сильні та слабкі сторони, а також приведено основні можливості та загрози для стартап-проекту. Це слід враховувати при входженні на ринок продукту. Але основні загрози мають імовірнісний характер і не є остаточними.

На основі сильних та слабких сторін, та основних можливостей і загроз необхідно розробити альтернативи ринкової поведінки, які будуть основними для виведення проекту на ринок, врахувавши основні потреби клієнтів та сильні сторони конкурентів.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Пошук нових інвесторів	Висока	1 рік
2	Стратегій нейтралізації ринкових загроз за рахунок сильних сторін стартап-проекту	Висока	1.5 роки

Провівши аналіз основних альтернатив ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що в якості альтернативи використовуємо ту, яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів та менший час реалізації. Отже, обираємо пошук нових інвесторів для покращення технології та реклами

проекту. Також можна обрати стратегію нейтралізації ринкових загроз за рахунок сильних сторін стартап-проекту.

4.3. Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми стартап-проекту

Розробка ринкової стратегії стартап-проекту в першу чергу передбачає визначення основних груп потенційних клієнтів.

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	Підприємства, що використовують листовий метал	Готові	Середній попит	Висока	Середня
2	Підприємства, що виготовляють листовий метал	Готові	Високий попит	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: підприємства, що виготовляють листовий метал					

Проаналізувавши потенційних груп споживачів було обрано підприємства, що виготовляють листовий метал, аніж, підприємства що використовують листовий метал, так як вони мають більш низьку конкуренцію, високий попит в межах цільової групи, середню інтенсивність конкуренції та середню простоту входу. Також обрано стратегію охоплення ринку: компаній буде зосереджуватися на одному сегменті, тобто обираємо стратегію концентрованого маркетингу.

Далі необхідно скласти базову стратегію розвитку для подальшої роботи в обраному сегменті.

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	Покращення власних технічних рішень для задоволення потреб основних груп клієнтів	Диференційований маркетинг	Виготовлення товару в термін, точність вимірювання, якість виготовлення	Стратегія диференціації
2	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Передбачає надання товару важливого з точки зору споживача властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	Найкращі задіяні робочі центри, нижча ціна	Стратегія диференціації

Основною стратегією розвитку було обрано стратегію диференціації, тому що вона є найбільш оптимальною, якщо врахувати обраний напрям розвитку стартап-проекту. Основною метою є покращення власних технічних рішень для задоволення потреб основних груп клієнтів. Ця стратегія допоможе ефективно та швидко зайняти певну частину ринку.

Наступний етап полягає у виборі базової стратегії конкурентної поведінки.

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

Продовження таблиці 4.16

1	Ні	Планується пошук нових клієнтів, а також залучення вже існуючих у конкурентів	Методи розрахунку та концепція схем	Зайняття конкурентної ніші
---	----	---	-------------------------------------	----------------------------

Основною стратегією обрано зайняття конкурентної ніші, так як компанія має малий розмір сегменту. Це є оптимальною стратегією, враховуючи унікальні особливості проекту.

Основною частиною стратегії розвитку проекту є визначення стратегії позиціонування. Вона формує основні ринкові позиції, за допомогою яких клієнти мають визначити стартап-проект.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Ціна, якість, підвищена роздільна здатність	Стратегія диференціації	Використання нових та сучасних методів, висока якість за низьку ціну	Зручність, технологічність, надійність, якість

Проаналізувавши дану таблицю, можемо зробити висновок, що формування основних бажаних ознак для споживачів продукту забезпечить успіх в виході на ринок даного стартап-проекту.

Наступним етапом є складання маркетингової програми. Першим пунктом є визначення основних переваг потенційного продукту.

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	Точність	Зменшення похибки при виявленні дефектів малих розмірів	Застосування фокусуєчого перетворювача на основі фазових антенних решіток
2	Швидкість	Збільшення швидкості обробки даних	Використання більш нових електронних компонентів
3	Оновлення	Додавання нових функцій в прилад	Оновлення ПО для товару
4	Раціональність	Збільшення швидкості контролю дефектів	Застосування багатоканальної системи

Зробивши аналіз, можна зазначити основні переваги, які збільшать ефективність продажу даної продукції.

Наступним пунктом буде розробка трирівневої моделі товару, де більш детально описується ідея продукту та основні фізичні складові.

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1) Товар за задумом	Ультразвукова автоматична система контролю високої роздільної здатності, що дозволяє проводити контроль листового металу при наявності в ньому дефектів		
2) Товар у реальному виконанні	Властивості / характеристики	М / Нм	Вр / Тх / Тл / Е / Оп
	Використання фокусуєчих перетворювачів	Нм	Тх
	Низька вартість товару	Нм	Вр

Продовження таблиці 4.19

	Довговічність	Нм	Е
	Висока швидкість контролю	Нм	Тл
	Якість: відповідає основним нормам		
	Пакування: картонна коробка з назвою продукту і основними технічними характеристиками		
	Марка: UltraS		
3) Товар із підкріпленням	До продажу: рекламування		
	Після продажу: вдосконалення приладу з урахування потреб споживачів		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: продукт буде патентно захищений			

В таблиці 4.19 вказано три рівні моделі товару, в яких виділено основні властивості створеного продукту, а також можливості його вдосконалення.

Наступним пунктом є створення цінових меж, якими будемо користуватися при встановленні ціни на наш продукт. Для цього спочатку зробимо аналіз ціни на товари конкурентів, а також проаналізуємо рівень доходів основної групи клієнтів.

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 ціна на товар / послугу
1	300 тис.	200 тис.	Середній	80 – 120 тис.

В цій таблиці було проаналізовано рівень цін на товари-замінники, а також рівень цін на товари конкурентів, визначено рівень доходів клієнтів і обрано оптимальну верхню та нижню межу ціни на продукт виходячи з цін конкурентів.

Наступним пунктом є формування оптимальної системи збуту, що відповідатиме поставленим задачам.

4.4. Організація реалізації стартап-проекту

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Продаж в роздріб, одиночні замовлення	Продаж клієнтам, доставка та налаштування приладу	Висока	Власна система збуту. Продаж в інтернет-магазинах

Оптимальним рішенням при продажу даного товару є власна система збуту, а саме: продаж в інтернет-магазинах.

Останнім етапом маркетингової програми є формування концепції маркетингових комунікацій, де основою обрана стратегія позиціонування.

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	Заклучення договорів, зацікавленість у товарі	Спеціалізовані виставки, інтернет-магазини, електронна пошта	Доступність інформації про товар	Донесення основних переваг до клієнтів, надання інформації про товар	Надання інформації, комунікація

Зроблена концепція маркетингових комунікацій сформує оптимальний результат для загальної маркетингової програми. Для покращення зворотнього зв'язку з клієнтами буде створено сервіси, де потенційні клієнти зможуть отримати відповіді на поставлені питання.

Одним з важливих факторів є наявність знань та навичок для потенційних працівників стартап-проекту. Для цього складемо таблицю команди стартап-проекту.

Таблиця 4.23. Команда стартап-проекту

Стадія стартапу	Завдання учасників	Учасники команди	Освіта	Досвід роботи	Спеціалізовані знання	Витрати, тис. грн
Pre-seed	Згенерувати ідею продукту, на основі комп'ютерного моделювання; сформувати модель прототипу	Спартапер	Вища технічна	У стартапуванні відсутній, інженера конструктора 2 роки	Інженерні	10
Seed	Проаналізувати ідею та доробити її якомога ідеальною	Стартапер	Вища технічна	У стартапуванні відсутній, інженера конструктора 2 роки	Інженерні	10
Startup stage	Проаналізувати ринок, вивчити клієнта, довести попит на продукт	Бізнес-аналітик	Вища економічна	У стартапуванні присутній, бізнес-аналітика 1.5 роки	Бізнес-аналітика	25

Продовження таблиці 4.23

MVP	Сформулювати технічне завдання, вибрати найбільш перспективні напрямки, розробити MVP стартапу, стартувати та аналізувати результати запуску проєкту	Стартапер	Вища технічна	Інженера-конструктора 3 роки	Конструювання приладів	30
Product-market fit	Опрацювати маркетинговою стратегію, виявити вузьку нішу на ринку, Зрозуміле пояснення	Маркетолог, тестувальник	Вища	Маркетолог – 1 рік, тестувальник - 2 роки	Маркетолог – просування приладів, тестувальник – робота програмістом	60

Проаналізувавши таблицю, можна зробити висновок, що вимоги до працівників є стандартними і не потребують особливих вимог, що зменшить витрати на розробку стартапу. Основною вимогою для працівників є люди, які вміють працювати з технікою, програмуванням та бізнес-аналітикою.

Також важливою складовою стартап-проєкту є добре організований календарний план.

Таблиця 4.24. Календарний план-графік підготовки стартап-проєкту

Стадія стартапу	Період запуску (за місяцями з початку підготовки проєкту)					Вартість стадії, грн
	1	2	3	...	8	
Pre-seed	15 тис.					15 тис.
Seed		20 тис.				20 тис.
MVP			30 тис.			30 тис.

Продовження таблиці 4.24

Product-market fit				40 тис.		40 тис.
Death of Valley				35 тис.		35 тис.
Стадія запуску				25 тис.		25 тис.
Стадія зростання та розширення				45 тис.	80 тис.	125 тис.
Стадія ведення бізнесу				50 тис.	150 тис.	200 тис.
Разом						490 тис.

Склавши календарний план-графік підготовки стартап-проекту, можна зазначити, що такий проект реалізується за 8 місяців з відносно невеликою кількістю затрат.

Наступним кроком визначаємо ціну на сировину, матеріали та комплектуючі виробу, а також визначимо необхідних постачальників та умови поставок.

Таблиця 4.25. Сировина, матеріали та комплектуючі виробу

Найменування видів сировини, матеріалів та комплектуючих виробів	Постачальники	Ціна за одиницю	Примітки (місцезнаходження постачальників, умови поставок тощо)
П'єзоелектричний елемент	Фірми з виробництва акустичних датчиків	500	Постачальники знаходяться в Україні; поставки виконуються за замовленням
Корпус для приладу	Майстерня для виробництва корпусів приладів	2500	

Продовження таблиці 4.25

Дроти	Фірми з виробництва дротів	200	Постачальники знаходяться в Китаї; поставки виконуються за замовленням
Плата	Фірми з виробництва плат	1200	
Супутні комплектуючі	Інтернет-магазин електроніки	600	
Разом		5000	

В цій таблиці наведені основні найменування видів сировини, матеріалів та комплектуючих виробів, які необхідні для розробки даного стартап-проекту. Також слід врахувати те, що в таблиці наведені дані роздрібної ціни. Тож при масовому виробництві необхідні комплектуючі будуть постачатись за оптовою ціною, що зменшить затрати на виробництво приладу.

Наступним етапом складемо таблицю в якій буде описана потреба в промислово-виробничому персоналі. Це є мінімум, при якому стартап-проект буде успішно працювати.

Таблиця 4.26. Потреба в промислово-виробничому персоналі

№	Посада/виконувани завдання	Чисельність	Витрати на персонал, тис. грн.
1.	Керівник	1	35
2.	Бухгалтер	1	12
3.	Інженер	1	18
4.	Маркетолог	1	15

Продовження таблиці 4.26

5.	Робітники на виробництво	3	13
	Разом:	7	114

Проаналізував таблицю, можна зазначити те, що на початку виробництва кількість людей є маленькою. Деякі посади можуть виконуватись однією людиною, але в подальшому, при розвитку стартап-проекту обов'язково слід розширяти персонал.

Наступним кроком є визначення початкових витрат на розробку стартапу.

Таблиця 4.27. Зведений план витрат на запуск виробництва продукції

Найменування	Пояснення	Вартість, тис. грн.
Витрати на придбання обладнання та устаткування	Витрати на придбання обладнання	30
Сировина, основні матеріали	Вартість сировини та матеріалів для забезпечення технологічного процесу	5
Комплектуючі	Витрати на комплектуючі продукту	2.5
Паливо та електроенергія на технологічні цілі	Витрати на електроенергію, а також на паливо, необхідні для запуску проектної потужності виробництва	12
Оплата праці промислово-виробничого персоналу	Витрати на заробітну плату та соціальні відрахування	114

Продовження таблиці 4.27

Освоєння та запуск виробництва	Витрати на пусконаладжувальні роботи, запуск виробництва	60
Разом:		223.5

В цій таблиці було визначено початкові витрати, які необхідні для розробки стартап-проекту. Слід зазначити, що ця сума необхідна тільки для початку виробництва. Далі ця сума буде змінюватися в залежності від необхідних потреб.

Також важливою частиною є визначення початкових вкладень у стартап-проект.

Таблиця 4.28. Початкові вкладення у стартап-проект

№	Вид інвестицій	Сума, тис. грн
1	Закупівля сировини та матеріалів	7.5
2	Оренда приміщення	25
3	Просування	60
4	Витрати на команду	114
5	Закупівля обладнання	30
6	Створення сайту стартапу	35
Разом:		271.5

В цій таблиці було визначено початкові вкладення, які необхідні для стартап-проекту. Слід зазначити, що ця сума необхідна тільки для початку виробництва. Далі ця сума буде змінюватися в залежності від необхідних потреб.

Висновки до розділу

В результаті аналізу стартапу визначено ряд основних факторів, що впливають на успішність даного проекту. Визначено що на цільовому ринку є потреба в оптимізації контролю листового металу та покращення роздільної здатності. Цей факт дозволяє говорити про те, що існує підґрунтя для комерціалізації даної ідеї.

Є також ряд факторів при впровадженні проекту. Ці фактори пов'язані з конкуренцією на ринку збуту. Тому основними факторами конкурентоспроможності є низька вартість, новизна, технологічність. Це виділяє даний проект серед інших компаній, що дає змогу успішно просувати цей продукт на ринок.

Конкурентна ціна на продукт, адаптивність під виробничі умови робить товар більш привабливим та збільшує кількість груп потенційних клієнтів. Варто враховувати те, що даний продукт являється новим та не викликає довіри зі сторони великих підприємств. Також варто враховувати можливу конкуренцію зі сторони товарів замінників. Тому основний акцент при розгляді конкурентоспроможності варто приділяти на технологічну новизну та якість проведеного контролю, що виділяє даний продукт серед інших виробників.

Альтернативними варіантами реалізації проекту полягають у створенні можливостей для задоволення потреб потенційних клієнтів. Також альтернативним варіантом є залучення нових інвесторів. Такий варіант дозволить набрати основну базу клієнтів за допомогою реклами. Також зменшить кількість браку за рахунок нових інвестицій.

Можливість подальшого імплементування стартап-проекту залежить від якості продукту та реалізації ідеї, а також надходження нових інвестицій.

Підсумовуючи вище викладений опис проекту можна стверджувати про його доцільність та можливістю його подальшого імплементування.

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено ультразвукову автоматичну багатоканальну систему. Як показав аналіз систем автоматичного ультразвукового контролю є декілька рішень і можливостей реалізації процесу контролю. Одним з таких рішень було використання фокуруючого перетворювача, побудованого з кільцевих п'єзоперетворювачів.

Фокусний перетворювач, побудований з набору кілець, не має обмежень щодо глибини фокусної відстані, на відміну від того ж перетворювача, побудованого на основі концентратора.

Основним недоліком перетворювача, побудованого з набору кілець, є складність реалізації такої системи. При отриманні сигналу потрібно відрегулювати зсув фази. Основна перевага полягає в тому, що ми можемо контролювати моменти збудження кожного кільця і таким чином змінювати фокусну відстань.

Було розраховано параметри п'єзоперетворювача. Також розраховано акустичний та електроакустичний тракти. Наведено функціональну схему та її опис. Було наведено розрахунки електрично-принципової схеми та підбір її компонентів.

Розроблено стартап-проект, що відповідає темі магістерської дисертації. В ньому було проаналізовано основні перспективи для впровадження такої системи на ринок. Також передбачено альтернативні рішення для реалізації стартапу. Виходячи з огляду на новизну цього проекту, можна стверджувати про можливість його подальшого використання у ринкову економіку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ключев В.В. Неруйнівний контроль і діагностика / Соснін Ф.Р. /Довідник під редакцією Ключева В.В. - Машинобудування 1995 р.
2. И. Н. Каневский. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. М. «Наука»1977 336 с.
3. Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В. К. Цапенко, Ю. В. Куц; – Київ: НТУУ “КПІ”.- 2009. - 431 с.
4. Маєвський С.М. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю: навч. посіб. / С. М. Маєвський – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 288 с.
5. Методичні вказівки «Акустичні перетворювачі» / Уклад.: Цапенко В. К.- Київ, 2004.- 86с.
6. Малярів А. М. Ультразвукова система контролю дефектності матеріалів підвищеної роздільної здатності / А. М. Малярів / XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 18-19 травня 2021 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 339 с.
7. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
8. Зацепин А.Ф. Акустический контроль. В 2 ч. Ч.2. Физические основы ультразвуковой дефектометрии: учебное пособие / А.Ф. Зацепин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 117 с.
9. «Методы и средства ультразвукового контроля проката с применением электромагнитно-акустических преобразователей» Кириков А.В. № 3 март 1999.
10. Коротков.М.М Ультразвуковая толщинометрия: учебное пособие / М.М. Коротков. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 94 с.

11. Куц Ю.В. Ультразвуковое измерение толщины многослойных материалов и изделий / Ю.В. Куц, О.В. Монченко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. - №1. С. 35-38.
12. ГОСТ 26266-90 «Преобразователь ультразвуковые. Общие технические требования». – Взамен ГОСТ 26266-84; введ. 01.01.91. – М. : Стандартиформ, 2010. – 18 с.
13. Ультразвуковой контроль сварных соединений / В.А. Троицкий, В.Ю. Попов. — К.: Феникс, 2010. — 224 с. ISBN 978-966-651-804-3.
14. Куц Ю.В. Підвищення достовірності виявлення сигналів ультразвукової лунаїмпульсної товщинометрії за їх значного загасання / Ю.В. Куц, О.Д. Близнюк, О.В. Монченко, Ю.А. Олійник // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2019. – №2.– С.13–17.
15. Маєвський С.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі / С.М. Маєвський, В.П. Бабак, Л.М. Щербак. – К.: Либідь, 1993. – 200 с.
16. Маєвський С.М. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний / С.М. Маевский, В.Г. Баженов, Е.К. Батуревич, Ю.В. Куц. – К.: Вища школа, Изд-во при Киев. ун-те, 1983.
17. Маєвський С. М., Сірий К. М. Автоматизація визначення координат для документування результатів неруйнівного контролю при ручному скануванні / Маєвський С. М., Сірий К. М. – К.: НТУУ “Київський політехнічний інститут”, 2002.
18. Куц Ю.В. Фазовий метод ультразвукової лунаїмпульсної товщинометрії виробів з конструкційних матеріалів: Монографія / Ю.В. Куц, О.В. Монченко, І. М. Бистра, О.В. Олійник. – К.: Інтерсервіс, 2019. – 192 с.
19. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд. Й Крауткремер, Г. Крауткремер; Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с.
20. Тихонов В.Н. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

21. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практик. пособие / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
22. Качанов В.К. Особенности применения сложномодулированных сигналов в ультразвуковой дефектоскопии / В.К. Качанов, И.В. Соколов // Дефектоскопия. – 2007. – № 12. – С. 18-42.
23. V. I. Borisov, S. S. Sergeev, N. I. Kazachenko, E. N. Prokopenko. Acoustic radiation field of piezoelectric transducers in the form of a rectangular fresnel zone plate.
24. Milligan, Thomas A. (2005). Modern Antenna Design, 2nd Ed. John Wiley & Sons. ISBN 0471720607.
25. Balanis, Constantine A. (2015). Antenna Theory: Analysis and Design, 4th Ed. John Wiley & Sons. pp. 302–303. ISBN 978-1119178989.
26. Visser, Hubregt J. (2006). Array and Phased Array Antenna Basics. John Wiley & Sons. pp. xi. ISBN 0470871180.
27. Stutzman, Warren L.; Thiele, Gary A. (2012). Antenna Theory and Design. John Wiley & Sons. p. 315. ISBN 978-0470576649.
28. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.