

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**приладобудівний факультет**

**кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.Г.  
Протасов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра зі спеціальності**

**151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

**на тему: «Автоматизована ультразвукова система для контролю бурильних  
труб»**

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ПК-81мп  
Клепач Сергій Євгенійович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:  
Доцент, кандидат технічних наук  
Баженов В.Г. \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап-проектів:  
Доцент, доктор економічних наук  
Бояринова К.О. \_\_\_\_\_

Консультант з розробки 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**  
**Клепача Сергія Євгенійовича**

1. Тема дисертації «Автоматизована ультразвукова система для контролю бурильних труб», науковий керівник дисертації Баженов Віктор Григорович к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
№ \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження: процес автоматизованої ультразвукової дефектоскопії бурильних труб.
4. Вихідні дані: мінімальний розмір дефекту, який можливо виявити – 1мм, об'єкт контролю – різьбове з'єднання бурильних труб.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити можливості побудови ультразвукової системи та порівняти її з існуючими аналогом, зробити аналіз проведення контролю бурильних труб за допомогою фазованої решітки, дослідити методи підвищення роздільної здатності перетворювачів на базі фазованої решітки.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1 – назва, предмет, об'єкт, наукова новизна, завдання дослідження; 2 – схематичні зображення методів побудови ультразвукової системи; 3 – дослідження

діаграм направленості у середовищі MatLab; 4 – схема електрична принципова; 5 – схема функціональна.

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	10.11.2018	Виконав
2.	Проведення аналітичного огляду актуальності теми дослідження	01.03.2019	Виконав
3.	Вибір та обґрунтування методу контролю об'єкта контролю	12.04.2019	Виконав
4.	Аналіз проведення контролю бурильної труби	25.05.2019	Виконав
5.	Розробка функціональної схеми	10.09.2019	Виконав
6.	Розробка та розрахунок електричної принципової схеми	30.09.2019	Виконав
7.	Моделювання ДН перетворювачів на базі фазованої решітки	15.10.2019	Виконав
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	01.12.2019	Виконав
9.	Підготовка, проекту до захисту ( підписання проекту, одержання відгуку та рецензії)	09.12.2019	Виконав

Студент  
Науковий керівник дисертації

Клепач С.Є.  
Баженов В.Г.

## РЕФЕРАТ

Дана магістерська дисертація складається з 81 сторінок, 40 ілюстрацій, 23 таблиць та 17 літературних посилань.

В магістерській дисертації було проведено дослідження можливостей побудови ультразвукової системи для контролю різьбового з'єднання бурильних труб. Було запропоновано систему, яка включає в себе набір

Досліджені можливі схеми прозвучування в системі. Запропонований режим роботи системи це визначення наявності тріщини. В результаті дослідження було виявлено, що найбільш ефективним є ехо метод, який потребує початкового налаштування. Проаналізована сучасна елемента база, яка задовольняє поставленим вимогам системи за допомогою фазованої решітки.

Мета роботи полягає у створенні автоматизованої системи виявлення дефектів бурильних труб, яка будується на використанні групи ультразвукових первинних перетворювачів.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованої ультразвукової дефектоскопії бурильних труб.

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення чутливості та швидкодії автоматизованої ультразвукової дефектоскопії бурильних труб.

Ключові слова: ультразвукова система, фазована антенна решітка, як використовуються як фазовий дитрина напрямленості.

## **Abstract**

This master's thesis consists of 90 pages, 40 illustrations, 23 tables and 17 literary references.

In the master's thesis the possibility of building an ultrasonic system for controlling the threaded connection of drill pipes was conducted. A system was proposed that includes a set of transducers used as a phased array antenna.

Possible schemes of sounding in the system are investigated. The proposed mode of operation of the system is to determine the presence of cracks. The study found that the most effective is the echo method, which requires initial setup. The modern element base is analyzed, which satisfies the set requirements of the system by means of a phased lattice

The purpose of the work is to create an automated system for detecting defects in drill pipes, which is based on the use of a group of ultrasonic primary transducers.

Analysis of the modes of doing phased array, the detection of side effects of phased array in the implementation of control, and the development of methods of their oppression.

The object of study is the process of automated ultrasonic flaw detection of drill pipes.

The subject of research - methods and means of increasing the sensitivity and speed of automated ultrasonic flaw detection of drill pipes.

Key words: ultrasonic system, phased array, automatic system, ultrasound, radiation pattern.

## Зміст

Перелік умовних позначень.....	8
Вступ.....	9
1. Аналіз проведення контролю різьбових з'єднань бурильних труб за допомогою ФР.....	11
1.1. Аналітичний огляд.....	11
1.2. Аналіз ОК і його можливих дефектів.....	16
1.3. Схема прозвучування.....	21
1.4. Основні відомості та принципи роботи фазованої решітки.....	22
1.5. Висновки до розділу .....	30
2. Розрахункова частина.....	31
2.1. Розрахунок акустичного тракту.....	31
2.2. Згасання ультразвуку в ОК та вибір робочої частоти.....	32
2.3. Розрахунок кута вводу.....	34
2.4. Розрахунок характеристики спрямованості.....	37
2.5. Розрахунок геометричних розмірів ФАР.....	38
2.6. Розрахунок коефіцієнта послаблення акустичного тракту.....	39
2.7. Розрахунок вхідної напруги, яка подається на пластину.....	41
2.4. Висновки до розділу.....	42
3. Моделювання.....	43
3.1. Розрахунок ліній затримок.....	43
3.2. Моделювання роботи фазованої решітки.....	48
3.3. Розрахунок діаграми спрямованості.....	52
3.4. Висновки до розділу .....	52
4. Розрахунок вузлів принципової схеми.....	54
4.1 Розрахунок функціональної схеми.....	54
4.2 Розрахунок вузлів принципової схеми.....	55
4.2.1 Пульсер.....	55
4.2.2. Схема захисту.....	55
4.2.3. Огляд AD9271.....	58

4.2.4. Диференційний підсилювач.....	60
4.2.5. Цифро-аналоговий перетворювач.....	61
4.2.6. Програмована логічна інтегральна схема.....	55
4.2.7. Висновки до розділу.....	58
5. Розроблення стартап-проекту.....	64
5.1 Опис ідеї проекту.....	64
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	65
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	66
5.4 Аналіз пропозицій ринку.....	68
5.5 Фактори конкурентоспроможності .....	70
5.6 Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту .....	71
5.7 SWOT-аналіз стартап-проекту.....	71
5.8 Альтернативи ринкової поведінки.....	72
5.9 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	73
5.10 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	74
5.11 Висновки до розділу .....	77
Висновки.....	79
Список використаної літератури.....	81

## **Перелік умовних позначень**

УЗ	Ультразвук
НК	Неруйнівний контроль
ОК	Об'єкт контролю
ФАР	Фазована антенна решітка
ФР	Фазована решітка
ПЕП	П'єзоелектричний перетворювач
ДН	Діаграма направленості
ЧРЧ	Часове регулювання чутливості
ЦАП	Цифро-аналоговий перетворювач
АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач



## ВСТУП

Металеve обладнання та конструкції на нафтових, газових та нафтопереробних заводах контактують із сировою нафтою, природним газом, нафтопродуктами та паливом, розчинниками, водою, атмосферою та ґрунтом. Всі процеси за участю агресивних речовин відбуваються в металевому обладнанні при температурі від  $-196^{\circ}\text{C}$  до  $+1400^{\circ}\text{C}$  і тиску від вакууму до 1000 бар. Нафтові, газові та нафтопереробні установки являють собою галузь підвищеної небезпеки, яка має середовище, що є легкозаймистими, вибухонебезпечними, токсичними для здоров'я людини або шкідливими для навколишнього середовища. Поєднання численних факторів робить нафту, газ та обладнання для переробки нафти дуже вразливими до різноманітних явищ корозії та виникнення дефектів, які можуть призвести до серйозних аварій.

З одного боку, нафтова, газова та нафтопереробна промисловість накопичили великий досвід. З іншого боку, розробка та виробництво нових глибоких свердловин у суворих умовах, впровадження нових технологій, матеріалів, суворі вимоги до якості газу та палива, а також зменшення забруднення навколишнього середовища створюють нові проблеми безпечного функціонування обладнання та споруди[1].

Незважаючи на використання труб нових типів, аварійність газових та нафтових свердловин показує, що розподіл відмов за видами аварійності не змінився. Основними причинами аварій газових та нафтових трубних колон є негерметичність нарізного сполучення муфти і труби, які складають 50% від усіх відмов, 12% - руйнування тіла труби, 11% - руйнування тіла муфти, 27% - інші несправності.

У багатьох галузях є потреба у контролі технічного стану вузлів та об'єктів на різних стадіях експлуатації та виробництва. Технічна діагностика та контроль об'єктів дають змогу оцінити реальний технічний стан об'єктів. Стимулювання розвитку технологічних процесів виготовлення цих об'єктів,

дозволяє використовувати оптимальні режими експлуатації, дає змогу оцінити екологічну безпеку систем та економічну ефективність[2].

Серед значної кількості неруйнівних методів контролю металевих виробів, особливе місце займає ультразвуковий неруйнівний метод. Сучасна ультразвукова дефектоскопія та товщинометрія застосовують різноманітні серійні прилади. Але в кожному окремому випадку контролю має своє місце специфіка – конструкція та форма, структура та властивості об'єкта, які потребують розробку спеціалізованих засобів та додаткових досліджень на додаток до традиційних методів. Особливо, якщо це стосується виробів, як мають складну геометричну форму та поверхню.

# РОЗДІЛ 1

## Аналіз проведення контролю різьби бурильних труб за допомогою ФР

В даному розділі представлені основні відомості про ФР, класифікація ФР, принцип роботи, які вимоги пред'явлені до ФР для проведення контролю. Показано основна класифікація побічних ефектів які присутні в ФР, та основні методи пригнічення побічних ефектів. Приведено процес контролю різьби за допомогою ФР. Запропоновані схеми прозвучування на базі ФР . Показано які задачі та складнощі викають при проведенні контролю за допомогою монолітних перетворювачів та ФР.

### 1.1 Аналітичний огляд

Бурильна труба - це трубопровідна труба зі сталі, яка оснащена спеціально виготовленими різьбовими кінцями, відомими як з'єднання інструментів. Свердло, яке оснащено трубою, забезпечує ефективне з'єднання обладнання або накладки з долотом і вузлом нижнього отвору з метою перекачування бурової рідини до долота. Труба також допомагає з'єднати обладнання для установки верстата для підйому, обертання, а також опускання долота нижнього отвору та складання. Дриль - це порожнисті і товсті стінові труби, виготовлені зі сталі з різним використанням.

Труба для буріння передбачає буріння свердловини і випускається в декількох розмірах. Бурові труби також забезпечують міцність і вагу і зазвичай мають довжину від 2 до 5 метрів. Бурова труба також має порожнистий отвір, оскільки допомагає рідині проходити через трубу, вниз по отвору і назад до заднього кільця[1].

Труба також використовує обертальну потужність за допомогою керлі або верхнього приводу до долота. Термін використовується в технології буріння для позначення колекції труб, комірив та інструментів та свердла. Бурові труби зменшують збої втомлюваності ВНА і додають додаткову вагу

долоту свердла. Бурові труби містять більшість бурових струн і мають довжину 15 метрів для нафтових або газових свердловин, пробурених вертикально[3].

Кілька стержнів свердла часто приєднуються разом, щоб досягти нижньої точки проекту буріння, яка може вимірювати кілька кілометрів в глибину. Ця практика з'єднання є важливою для бурових труб, щоб бути корисними та довготривалими. По-перше, метал повинен бути достатньо міцним, щоб витримувати як внутрішні, так і зовнішні перепади тиску, передавати крутний момент свердла, не впливаючи на трубу. В ідеалі бурові труби повторно використовуються, особливо більш дорогі типи.

Після використання на одній буровій роботі свердло для труб транспортується на інший майданчик і проходить повну перевірку. Основна мета - визначити, чи вона ще достатньо міцна для використання на майбутніх робочих місцях, перш ніж її запропонувати в якості бурової труби для повторного використання. Експерти використовують різні інструменти, такі як модифіковані сферометри та ультразвукові прилади для випробування металів, щоб перевірити на наявність дефектів. Результати цих випробувань дають буровій трубі її класифікацію.

Оскільки бурова труба є лише частиною повного апарату, необхідного для виконання таких видів бурових робіт, збірку нижнього отвору також потрібно перевірити.

Через умови праці, в яких вони працюють, бурові труби, як правило, повинні бути ретельно перевірені та перевірені на предмет зносу. З цією метою їх оцінюють за допомогою сферометрів, інструментів, які дозволяють точно і швидко виміряти радіус кулі. Після перевірки сферометра бурові труби класифікуються в одну з трьох категорій:

Труба N класу, або нова труба. Найсильніша, найновіша труба. Зазвичай у незайманому (або близькому до нього) стані.

Труба класу P або преміум-труба. Відступивши від труби класу N, преміум-труба перенесла деякий знос, але все ще може працювати дуже добре.

Труба класу С, з якої є три класи (С-1, С-2 і С-3). Залежно від їхньої оцінки, труби класу С є або добре зношеними трубами, або наближаються до кінця терміну їх експлуатації.



Рис.1.1 Конструкція легкосплавних бурільних труб підвищеної надійності з алюмінію (ЛБТПН)

Після того, як в труби закінчиться термін її експлуатаційного терміну, вони будуть класифіковані для брухту, позначеного нанесенням червоних смуг. Через високу вартість бурових труб пам'ятайте, що їх часто використовують повторно, оскільки багато компаній продають як нові, так і вживані труби (класифіковані за критеріями, зазначеними вище) часто до самого кінця[5].

Тепер, коли основи бурових труб охоплені, давайте розглянемо кілька наявних типів.

Бурова струна. Бурова струна відноситься до всієї колони інструментів, по суті, до бурової труби, комірця валу, інструментів та самого бурового долота. Як правило, бурова труба, яка використовується для бурової колони, виготовляється із загартованої сталі. З міркувань витрат і транспорту секції бурових труб рідко перевищують діапазони від 2 до 5 метрів. Як результат, зважаючи на надзвичайну глибину буріння, яка може досягати майже 5 кілометрів, різні секції зазвичай з'єднуються з інструментальними стиками;

одна секція труби матиме чоловіче з'єднання, яке потім з'єднується з жіночим з'єднанням[6].

Бурові труби, що застосовуються у верхніх частинах бурової колони, відрізняються як по товщині, так і по конструкції від важкої вантажної бурової труби (HWDP), що використовується для переходу між буровими комірами і звичайною, тоншою буровою трубою. HWDP буде обговорено нижче.

Бурова труба для важкої ваги (HWDP). Як говорилося раніше, бурові труби для важкої ваги набагато міцніші, ніж звичайні бурові труби, оскільки вони розроблені для вирішення додаткових тисків і напружень, що виникають внаслідок переходів між буровими комірами та звичайними, тоншими буровими трубами.

Як правило, HWDP є кращими для переходів, оскільки вони більш гнучкі, ніж альтернативні, суцільні з'єднання.

Зауважте, що такі трубопроводи товстіші, діаметр від 90 міліметрів до 150 міліметрів, ніж звичайна бурова труба, і часто її оцінюють із міцністю на розрив.

Цікаво, що бурові труби часто обладнані товстими зношеними колодками, які запобігають шліфуванню зовнішньої сторони бурової труби проти грубої основи стінок отвору. Як правило, центральні розлади є бажаним доповненням до свердлильних труб великої ваги, тим більше, що за рахунок зменшення зносу, розриву та тертя вони можуть продовжити термін експлуатації бурових труб[4].

Бурова труба - це промислова трубчаста трубка, яка використовується для свердління в землю. Три основні галузі, які використовують бурильні труби - це нафтогазова промисловість (найпоширеніша), підземне будівництво, а точніше горизонтальне спрямоване буріння та буріння свердловин для води.



Рис.1.1.2 Бурова труба

Бурова труба найбільше використовується у нафтогазовій промисловості. У 1987 році E&M Supply Group розпочала роботу як постачальник бурових труб для підрядників з буріння нафти та газу. Кожна бурильна труба довжиною 10 метрів з'єднується одна за одною і спільно їх називають буровою струною. Свердлові коміри та свердлильна бурова труба також є частинами бурової колони. У нижній частині бурової колони - бурове долото, яка робить фактично свердління в землю. Спочатку бурові труби бурять свердловини у землю вертикально. Потім, залежно від запропонованого місця розташування та орієнтації нафтової свердловини, напрям буріння іноді змінюється на горизонтальний. У порівнянні з іншими галузями, які використовують бурильні труби, нафтові бурові труби виготовляються таким чином, щоб витримувати найважчі умови праці. В основному це пов'язано з надзвичайними глибинами та екстремальними умовами землі на цих глибинах. Наприклад, деякі довжини свердлильних рядків перевищують 9 кілометрів.

Друга галузь - це підземна конструкція, а точніше - горизонтальне напрямне буріння (HDD). Ця галузь використовує бурильну трубу для пробивання тунелів під водними шляхами, основними проїжджими дорогами та, як правило, у будь-якому місці, де траншея неприйнятна. Отриманий отвір використовується для різних комунальних трубопроводів, таких як оптоволокно, вода, електрика та нафта і газ. Бурові установки ТВД дуже

відрізняються від бурових установок на нафтових родовищах тим, що вони майже повністю прокладаються плоскими або горизонтальними.

Третя галузь - буріння свердловин для води. Водні свердловини дуже дрібні в порівнянні з нафтовими свердловинами, тому бурова труба і бурові установки - більш легкий обов'язок.

## 1.2 Аналіз ОК і його можливих дефектів

Бурова труба складається з трубчастої заготовки та з'єднувальних кінців (стопорна втулка та фіксуєчий ніпель). Останні з'єднуються з трубною заготовкою або за допомогою трубної різьби (профіль за ГОСТ 631) і являють собою бурильну трубу збірної конструкції, або зварюванням. Для вкручування в свічки на з'єднувальних кінцях обрізають стопорну нитку за ГОСТ 5286 (на зовнішньому ніпелі, на внутрішній муфті). Для збільшення міцності стиків кінці трубчастих заготовок «висаджують», тобто збільшують товщину стінок.

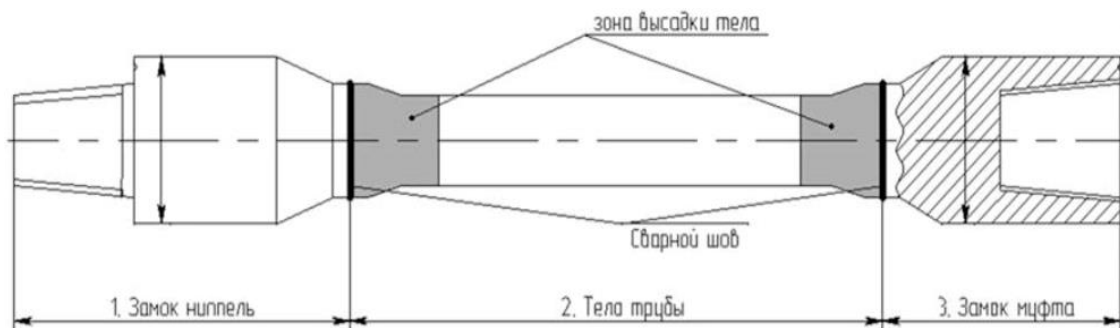


Рис.1.2.1 Конструкція бурильної труби

У сучасних умовах при бурінні свердловин зі складними траєкторіями та великою просторовою інтенсивністю, труби піддаються складним навантаженням.

Навантаження бурових труб, що перевищують межу текучості, спричиняють постійну пластичну деформацію деталей труб і призводять до аварії. Змінні навантаження, які нижче межі міцності, але вище межі витривалості, однаково несуть велику небезпека. Такі навантаження



викликають втому в металі. Ці навантаження не викликають жодної макродеформації, згідно з розрахунками на міцність не повинні впливати на роботу[4].

Під час роботи в металі корпусу бурової труби накопичуються мікропошкодження, які утворюються в вузлах кристалічної решітки зливаються і перетворюються на макротріщини, що можуть зламати інструмент. Розвиток дефектів можна прискорити за наявності концентраторів напруги на корпусі бурової труби (пошкодження від клинів ПКР, корозія стінки бурової труби тощо).

**Різьбове з'єднання** (thread connection): розбірне нерухоме з'єднання деталей за допомогою нарізі, у якому одна з деталей має зовнішню нарізь, а інша — внутрішню, включає в себе крім різьблення інші елементи - торець, фаску, уступ, розточення, проточку, в залежності від конструкції нарізного сполучення[2].

**Недосконалість** (Imperfectstion, Нрк. Допустимий дефект): несучільні або неоднорідність поверхні, що має вигляд, розташування і (або) розмір, допустимі встановленими вимогами до якості поверхні нарізного сполучення[2].

**Дефект** ( defect, Нрк. Неприпустимий дефект): несучільність або неоднорідність поверхні, що має вигляд, розташування і (або) розмір, неприпустимі встановленими вимогами до якості поверхні нарізного сполучення[2].

**Витки з чорновини** ( black-crested threads, Нрк. Чорні вершини, чорновини, чорні витки): Витки різьблення з вершинами, на яких збереглися поверхні вихідної заготовки (див. Рис 1.2.2).

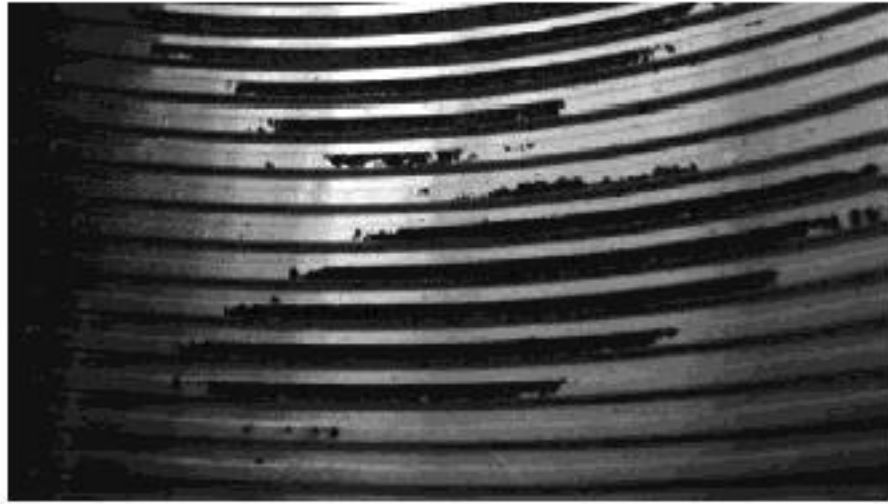


Рис.1.2.2 Чорновини

**Вм'ятина** (dent, dinge, mashe, Нрк. Западина, виїмка, забоїн, Надав, відбиток, раковина, убоїни): Нелінійне поглиблення з пологими стінками і плоским дном (див. Рис.1.2.3).

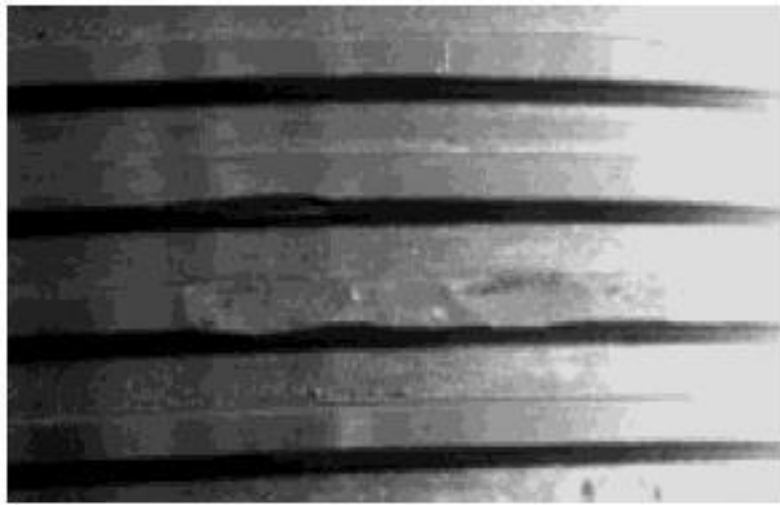


Рис. 1.2.3 Вм'ятина

**Забоїни** ( dent, dinge, mashe, Нрк. Вм'ятина, западина, виїмка, Надав, відбиток, раковина): Нелінійне поглиблення з непологими стінками і неплоским (гострим) дном (див. Рис.1.2.4).

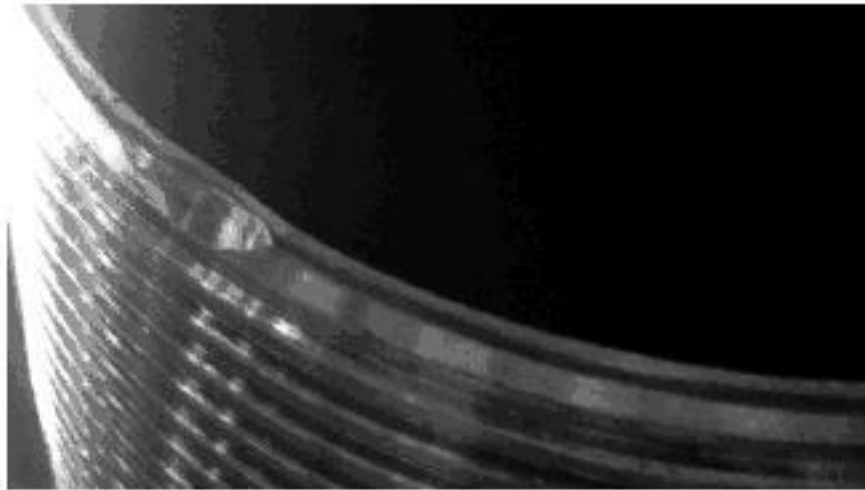


Рис. 1.2.4 Забоїни

**Задир** ( gall, Нрк. Рванина, подряпина): Лінійне ушкодження із залишками здертого металу (див. Рис. 1.2.5).

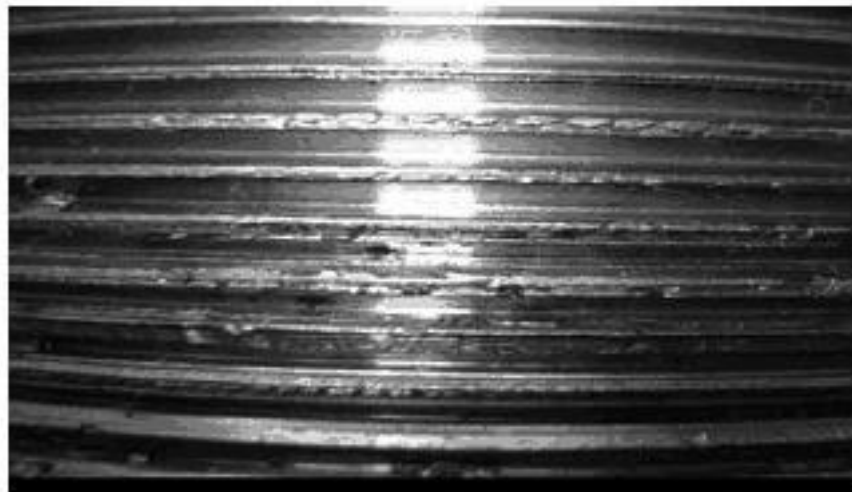


Рис. 1.2.5 Задир

Перебіг крутного моменту є частою причиною проблем з нитками. Одним із способів запобігти цьому є затягування з'єднань із призначеним крутним моментом. Компенсація крутного моменту - це кількість крутного моменту, необхідного для правильного затягування з'єднань, щоб вони виступали як одне ціле.

Більшість перекручування не відбувається на стенді. Найчастіше це відбувається, коли бурова труба пропускається по отвору, вільним, тобто коли

на стенд подається недостатній крутний момент. При затиснутих з'єднаннях, як правило, продовжують затягувати отвір і можуть надто затягуватися.

Пожовтіння може відбуватися з різних причин. Пожовтіння викликається тертям металу між штифтовими та коробчастими нитками. Хороше з'єднання запобіжить появу жовчі - якщо його підтримувати в чистоті та застосовувати при кожному з'єднанні.

Іноді жовч викликається колючим ударом. Забивання - це термін, який використовується для опису надмірних ударів підключень під час з'єднання. Це може призвести до того, що гребінь різьби трохи «перекинеться».

З'єднання бурових труб можна вкрутити вручну. Іноді може бути невеликий зазор - менше  $1/8$  ", що вимагає більше крутного моменту, ніж це можна зробити вручну.

Складаючи бурильну трубу, слідкуйте за утримуючим ключем. Коли з'єднання починають зв'язуватися, зазвичай це помічається, коли утримуючий гайковий ключ або ковзання переміщуються в одну сторону[2].

Розмір з'єднання є дуже важливим. Як правило, бланкове з'єднання (це коли з'єднання готове до фактичного крокування) вимірюється, щоб гарантувати правильність розміру. Після обробки різьблення з'єднання вимірюється за допомогою затвердженого стандарту.

Вимірювання з'єднань, як правило, гарантує правильність обробки з'єднань до тих пір, поки форма конуса та різьби є правильною. Є й інші виробничі проблеми, які можуть призвести до проблем з нитками. До них можна віднести обробку з'єднань, щоб виконати правильне суміщення з трубою. З'єднання можна зробити правильно, але пошкодити під час виробничих процедур[3].

Помилка оператора - це, мабуть, найпоширеніша причина. Багато проблем можуть виникнути при забиванні, недостатньому обертанні, перехресті різьби, відсутності використання з'єднання інструменту хорошого класу та нечистому з'єднанні. З карусельними установками існує не тільки з'єднання за стендом, але і з'єднання вгорі щогли - такого, якого ви не бачите.

Не помічаючи проблемних з'єднань та видалення пошкодженої бурової труби з бурової установки, може призвести до повного руйнування бурової колони. Невиконання верхньої частини також може призвести до проблем.

Один з найбільш критичних моментів для оператора - це додавання нової бурової труби. Слід дотримуватися перерви в процедурі, щоб допомогти цим новим потокам пережити свої перші кілька з'єднань.

Інший критичний час - це запуск нової бурової установки з новою буровою трубою. Мало того, що за буровою трубою потрібно доглядати, як зазначено вище, але нова установка, ймовірно, не працюватиме як ваша стара.

### 1.3Схема прозвучування

Методика контролю звичайним похилим перетворювачем полягає у виборі кута введення і відстані від різьблення при яких досягається мінімальний рівень хибних сигналів при отриманні чималого ехосигнала від тріщини, імітованої пропилом глибиною 1 мм. Встановлено, що в якості оптимального кута плексигласу призми кут  $55-56^\circ$  (кут введення  $75 \dots 80^\circ$ ), а відстань від різьблення  $180 \dots 200$ мм. Оптимальна частота-5МГц. Цей метод дозволяє виявляти тріщини глибиною 0.3мм і більш. Це надійно запобігає обриву труб, так як показує практика при глибині тріщини 4мм обрив настає через 20-25 днів експлуатації труби[5].

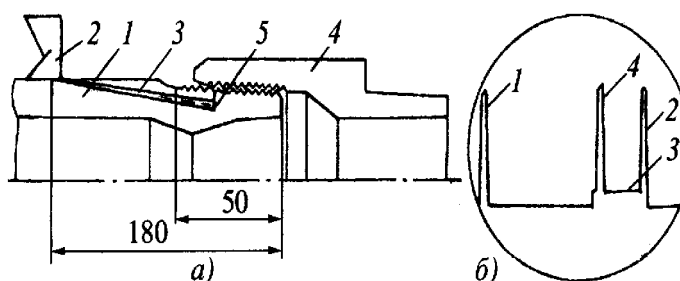


Рис. 1.3.1 Контроль різьбового з'єднання бурильних труб за допомогою похилого перетворювача

Було проаналізована та вибрано схему прозвучування з використанням фазованої решітки, що представлена на рис.1.3.2

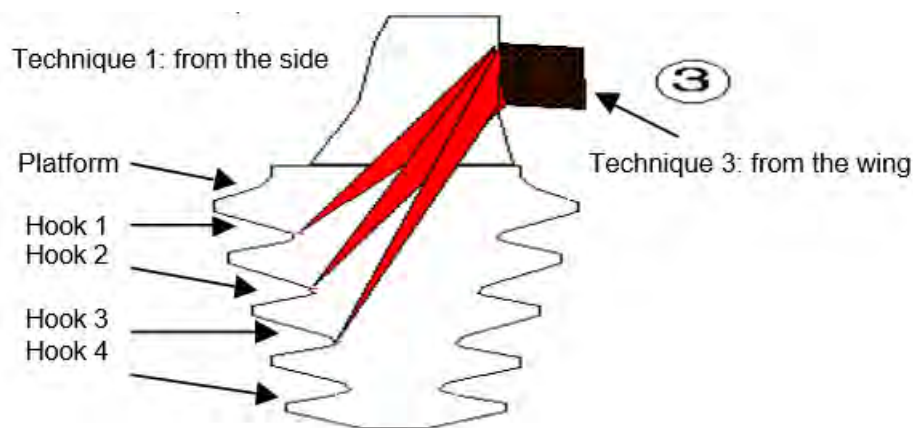


Рис.1.3.2. Контроль різбового з'єднання бурильних труб за допомогою ФАР

Даний метод контролю заснований на використанні секторного сканування. Секторне сканування використовує набір елементів, що випромінюють у досліджуване середовище хвилю, але через відповідне значення затримки, для кожного елемента.

Ультразвуковий метод контролю з використанням фазованої решітки має перевагу порівняно з звичайним перетворювачем, а саме, швидкий (безінерційний) огляду простору за рахунок хитання променю решітки.

#### 1.4 Основні відомості та принципи роботи фазованої решітки

Ультразвуковий контроль фазованою решіткою (ФАР) - це вдосконалена методика неруйнівного контролю, яка використовує набір перетворювачів ультразвукового тестування (UT), що складається з численних дрібних елементів, кожен з яких імпульсується індивідуально з комп'ютерним обчисленням часу. Ця методика може бути використана для огляду складніших геометрій, які важко і набагато повільніше оглядати за допомогою звичайних перетворювачів. ФАР можна використовувати для огляду майже будь-якого матеріалу, де використовувались традиційні методи УЗ, і часто використовується для перевірки різбових з'єднань та виявлення тріщин[2].

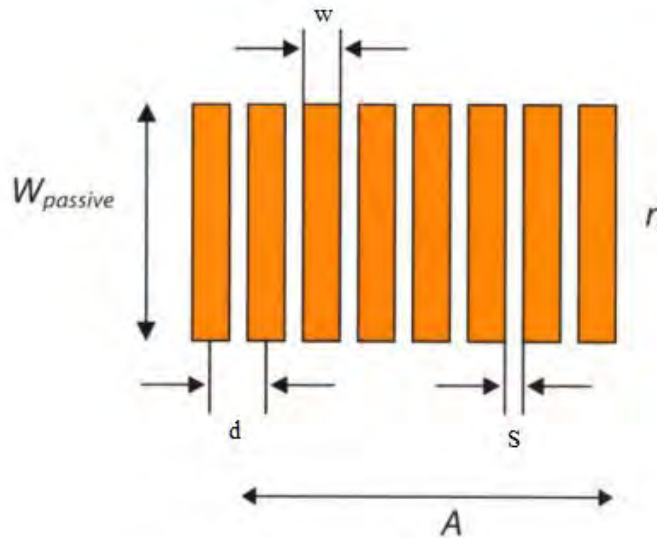


Рис. 1.4 .1 Лінійна ФР

$A$ - активна апертура

$d$  – крок

$s$ – зазор між сусідніми елементами

$w$  – ширина одного елемента

$n$ – кількість елементів

Секторне сканування - це вдосконалений метод ультразвукового контролю і його можна використовувати для безлічі різних завдань огляду.

Сучасні структурні оцінки, аналіз недоліків, оцінка придатності та критичні оцінки інженерії потребують даних про недоліки більш точним і точним з урахуванням їх розташування, форми та розміру. Секторна ультразвукова технологія контролю з використанням ФАР з відповідним програмним забезпеченням для оцінки дефектів може забезпечити точні та чіткі дані про дефекти для стандарту прийняття на основі механіки руйнування[4].

Ця методика використовується для виявлення дефектів, які неможливо легко знайти за допомогою звичайних неруйнівних методів тестування, таких як рентгенографія та ручне ультразвукове тестування. Інтертек спеціалізується на використанні секторного сканування ФАР в нафтогазовій, енергетичній та хімічній галузях, особливо для будівництва нових

трубопроводів, трубопроводів, суден та конструкційних зварених елементів, що забезпечують загальну якість якості.

Утворення ультразвукового поля на основі принципу Гюйгенса, розподіл тиску в полі є результатом накладання елементарних хвиль, що виходять із точок активних поверхонь п'єзоелектричних перетворювачів. При застосуванні хвиль відбувається підвищення тиску в тому випадку, якщо їх фази збігаються, і ослаблення, аж до повної компенсації, якщо хвилі перебувають в антифазі, внаслідок чого лінійне поле ФР стає напрямним[1].

Змінюючи часові затримки збуджуючих електричних імпульсів, що надходять на елементи ФР, можна керувати напрямом, формою та енергією ультразвукового променя, тобто сканувати та динамічно фокусуватись у досліджуваному просторі керованого об'єкта, а також генерувати поздовжні, поперечні та поверхневі хвилі.

Режим прийому управління ультразвуковим променем здійснюється аналогічним чином, що впливає з принципу взаємності.

На рис. 1.4.1 показана загальна блок-схема електронного сканування та динамічного фокусування ультразвукового пучка лінійної ФР. На шляху передачі системи багатоканальний генератор електричного сигналу генерує імпульси, що надходять на входи фазованих решіток, які використовують електронні керовані лінії затримки для створення необхідного розподілу фазових зрушень електричних імпульсів між контурами шляху. З виходів ліній затримки через підсилювачі потужності (не показані на малюнку) на входи елементів ФР надходять імпульси напруги із створеними фазовими зсувами. В результаті електроакустичного перетворення на робочих (випромінюючих) поверхнях елементів ФАР, коливальний тиск, що спричиняє випромінювання імпульсних ультразвукових хвиль, заважає формувати ультразвуковий промінь з глибиною фокусування та кутовим положенням відповідно до зрушення фази. На приймальний шлях системи на робочу (приймальну) поверхню елементів решітки впливає тиск, що створюється дефектом, відображеним дефектом ультразвукових хвиль, що поширюються у



зворотному напрямку. В результаті акустично-електричного перетворення на виходах елементів ФР створюються ехо-імпульси напруги, які підсилюються попередніми підсилювачами (не показаними на малюнку), що подаються на входи контрольованих ліній затримок, що забезпечують повну компенсацію фазових зсувів прийнятих ехо-імпульсів між каналами. Отримані однофазні ехо-імпульси підсумовуються, завдяки чому амплітуда напруги загального ехо-імпульсу на виході суматора стає максимальною, при якій значення глибини фокусування та кутового положення ультразвукового променя в режимах прийому і випромінювання збігаються. Завдяки постійній зміні затримок у часі система забезпечує динамічне фокусування та сканування ультразвуком у визначеному секторі[3].

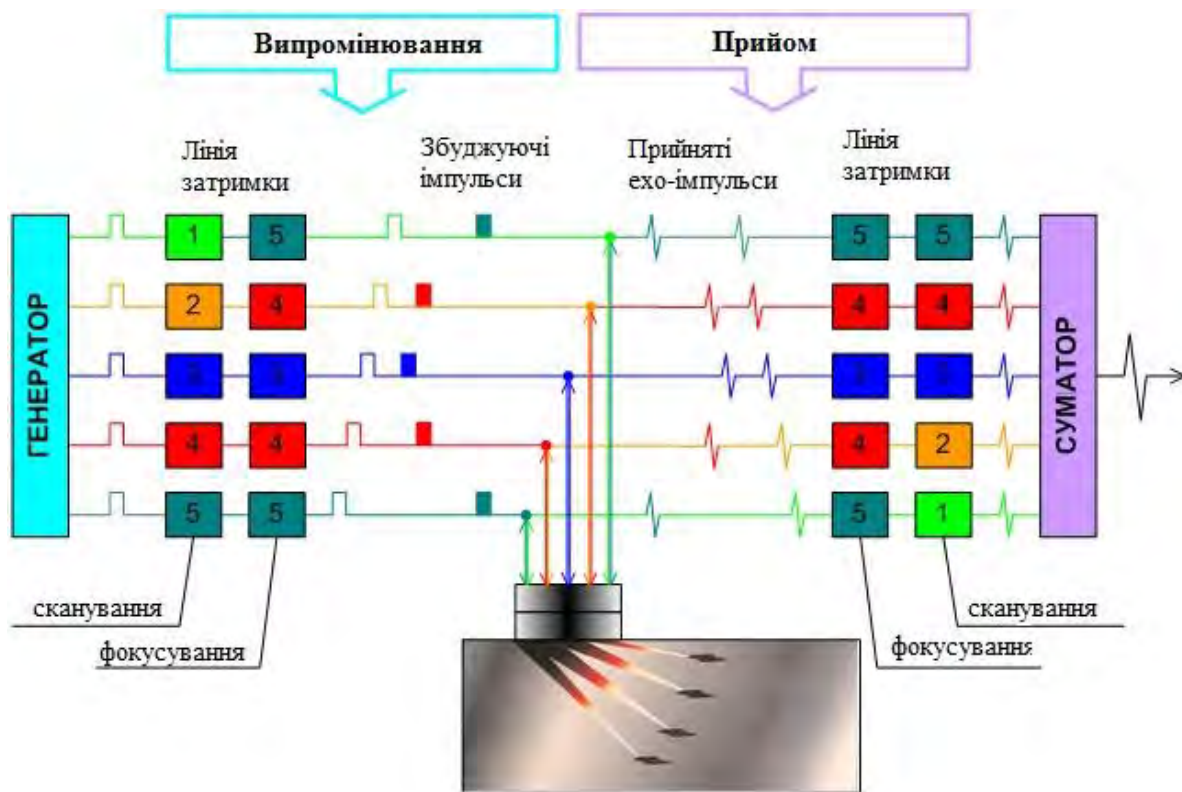


Рис 1.4.2 Узагальнена структурна схема системи електронного сканування та динамічної фокусування ультразвуковим променем лінійної ФР

За допомогою фазованої решітки можливо виявити:

Дефекти зварювання, такі як відсутність плавлення, включення шлаків, пористість, внутрішній діаметр / зовнішній діаметр (I.D./O.D.), Тріщини, центральні тріщини та непровари.

Притаманні розриви в кованих або ливарних матеріалах, таких як ламінація та включення.

Секторне сканування має ряд переваг порівняно з іншими неруйнівними методами. Це дозволяє швидше обстежувати порівняно з ручним ультразвуковим тестуванням. Інформація може відобразитися у кількох форматах відображення (наприклад, сканування A, B, C і D), що допомагає в більш точній інтерпретації дефектів. Дані також можуть бути оброблені та збережені, щоб їх можна було переглядати та використовувати для подальших довідок та перевірок. Наступною перевагою секторного сканування є безпека. Немає небезпеки випромінювання в навколишнє середовище, порівняно з рентгенографією[2].

Фазовий зсув або фазування являє собою можливість управління з підтримкою здвигу в часі хвильових фронтів, які виходять з двох або більше джерел. Його можна використовувати для формування, управління або фокусування енергії хвильового фронту. У 1960-х роках дослідники почали розробляти ультразвукові системи з фазованою решіткою, в яких використовувались перетворювачі з декількома точковими джерелами, які були імпульсними, щоб створити звукові промені з підтримкою цих керуючих діаграм. У 1970-х роках вперше появились комерційні системи фазованих решіток для медичної діагностики, використовуючи керовані промені для створення зображень людського тіла.



Рис. 1.4.3 Використання ФР в медицині

Портативні аккумуляторні прилади з фазованими решітками для промислового використання з'явилися в 1990-х роках. Аналоговий проект потребував потужності та простору для створення багатоканальних конфігурацій, необхідних для управління ультразвуковим променем, новим переходом у цифровий світ та швидким розвитком недорогих вбудованих мікропроцесорів, які мали змогу використати розробку обладнання з фазованими решітками наступного покоління[6].

Обмеження у використанні промислової рентгенографії зросли останнім часом через небезпеку для здоров'я, отже, необхідність використання альтернативних методів та методів обстеження різьбових з'єднань, таких як дифракційно-часовий метод (TOFD) та ультразвуковий контроль з фазованою решіткою (ФАР), стали незамінними[5].

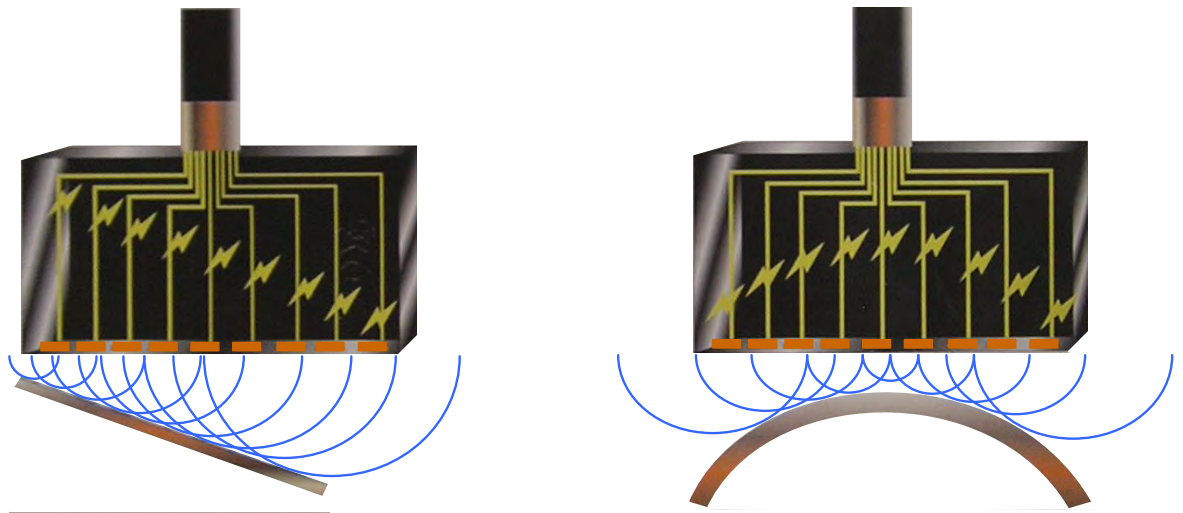


Рис. 1.4.4. Розподіл часових затримок (фазових зсувів) збуджуючих імпульсів і формування похилого (а) і фокуруючих (б) ультразвукових полів (променів) лінійної ФАР

Коли методи ФР та TOFD виконуються разом, якість контролю підвищується в порівнянні з рентгенографією, тобто цілісність різьбових з'єднань, обстежених TOFD або ФР, вище, ніж у тих, що перевіряються за допомогою рентгенографії. Витрати на інспекцію комбінації ФР + TOFD здаються вищими, ніж звичайний контроль на рентгенографії, але оскільки ці передові ультразвукові методи не передбачають ніяких небезпек випромінювання, а інші роботи можуть бути проведені поблизу таких випробувань, призводить до прямої економії, пов'язаного крім економії часу на виробництві / виготовленні. Також швидкість інспекції ФР + TOFD за одне сканування скорочує загальний час перевірки.

TOFD використовує два перетворювачі кутових променів поздовжньої хвилі (L-хвиля), розташовані симетрично протилежно один одному та звернені один до одного.

Один перетворювач діє як передавач ультразвукової енергії, а інший отримує ультразвукову енергію. Характеристики перетворювача та підсилювача вибираються для отримання якомога ширшого розподілу енергії

по досліджуваному матеріалу, забезпечуючи повне покриття різьбового з'єднання.

Ультразвукові хвилі - це механічні коливання, що індукуються в пружному середовищі п'єзокристалічним перетворювачем, збудженим електричною напругою. Типові частоти ультразвукових хвиль знаходяться в діапазоні від 0,1 МГц до 50 МГц. Більшість промислових програм вимагають частот від 0,5 МГц до 15 МГц.

Більшість звичайних ультразвукових приладів використовують монокристалічні перетворювачі з розбіжними пучками. Ультразвукове поле поширюється вздовж акустичної осі з одним заломленим кутом. Розбіжність цього променя - єдиний "додатковий" кут, який може сприяти виявленню пропущених невеликих тріщин.

Основною особливістю ультразвукової технології секторного сканування є кероване комп'ютером збудження електричними імпульсами (амплітуда та затримка) окремих елементів у багатоелементному перетворювачі. Збудження п'єзо-елементів може генерувати ультразвуковий сфокусований промінь з можливістю зміни параметрів пучка, таких як кут, фокусна відстань та розмір фокусної плями за допомогою програмного забезпечення.

Щоб генерувати промінь у фазі, різні активні елементи перетворювача збуджуються у дещо різний час. Відбиття від потрібної фокусної точки вражає різні перетворювальні елементи з обчислюваним зсувом у часі. Луно-сигнали, що приймаються на кожен елемент перетворювача, зміщуються у часі, перш ніж їх додавати разом. Отримана сума являє собою А-сканування, яке підкреслює реакцію від бажаної точки та послаблює різні інші сигнали від інших точок матеріалу[3].

Сигнали приймаються, потім зміщуються в часі відповідно до закону прийому. Потім вони об'єднуються разом для формування єдиного ультразвукового імпульсу, який направляється на пристрій обробки інформації.

Значення затримки кожного елемента залежить від конструкції фазованої решітки, типу хвилі, заломленого кута та фокусної глибини.

Електронне сканування: один і той же фокусний закон і затримка мультиплексовані у групи активних елементів; сканування виконується під постійним кутом і вздовж фазової довжини перетворювача. Це еквівалентно звичайному ультразвуковому перетворювачу, який виконує механічне растрове сканування. Якщо використовується кутовий зсув, фокальні закони компенсують різні часові затримки всередині зсуву[5].

Динамічне фокусування глибини або DDF (вздовж осі променя): сканування виконується з різною фокусною глибиною. На практиці використовується єдиний переданий сфокусований імпульс, і перефокусування проводиться на прийомі на всі запрограмовані глибини.

Секторне сканування (також його називають азимутальним чи кутовим скануванням): промінь переміщується через діапазон розгортки на певну фокусну глибину, використовуючи ті самі елементи; можуть бути додані інші діапазони розгортки з різною фокусною глибиною.

#### **1.4 Висновки до розділу**

В першому розділі переставлені теоретичні основи проведення контролю ультразвуковими датчиками. Розглянуті основні види ФР, та надано класифікація побічних ефектів, які виникають у ФР.

Запропоновано використання датчиків на базі ФР, для проведення контролю різьби бурильних труб. Використання ФР має ряд переваг:

- Зменшення кількості датчиків, що призводить до зменшення габаритних розмірів матриці.
- Можливість електронного сканування забезпечує дослідження з високою вірогідністю, та відповідно методиці проведення контролю різьби бурильних труб

Використання ФР значно ускладнило систему. До електронного тракту необхідно виставити ряд вимог що збільшить вартість розробки, та ускладнить проектування.

При проведенні контролю необхідно враховувати трансформацію хвиль, а контроль в ближній зоні.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1. Розрахунок акустичного тракту

Акустичний тракт – шлях ультразвукової хвилі від вивірника до приймача. Аналіз акустичного тракту полягає в розрахунку полів випромінювання – прийому, з урахуванням акустичного тракту та в складанні схеми. Основним результатом розрахунку тракту є коефіцієнт послаблення акустичного тракту:

$$K_{\text{а.т.}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{в}}}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{в}}$  і  $P_{\text{п}}$  – акустичний тиск у випромінюючому та приймальному перетворювачах, який виникає в ході випромінювання – прийому.

Коефіцієнт акустичного тракту - числове значення. Формула розрахунку акустичного тракту враховує схему проходження, згасання ультразвукового променя, характеристики спрямованості ультразвукового променя та структурну діаграму акустичного шляху (акустичні характеристики та розміри середовища, через яку проходить акустичний промінь).

Оптимізація акустичного шляху полягає в отриманні такої залежності між сигналом, що випромінюється (частотою, характеристикою спрямованості, довжиною зондуючого імпульсу тощо) та характеристиками акустичного тракту (ослаблення звуку в об'єкті контролю, матеріалом перетворювача, характеристики розподілу акустичного контакту, розміри та характер дефектів тощо), у яких коефіцієнт акустичного тракту досягає максимального значення, тоді як похибка вимірювання та ймовірність контролю не погіршуються[3].

Найпоширенішим з ультразвукових методів контролю різьбових з'єднань був луно-метод. Цей метод має найбільшу чутливість і стійкість до перешкод. Інші методи застосовуються у випадках, коли їх застосування є важким або недоцільним.



Тип хвиль визначається розмірами та формою виробу, що контролюється, а також характером та місцем розташування дефектів.

Поздовжні хвилі застосовуються, якщо при ультразвуковому контролі можливо вводити промені перпендикулярно або під невеликим кутом до поверхні. А поперечні хвилі використовуються, якщо кут введення повинен бути великим ( $35^\circ$  і більше).

Ці роздуми призводять до висновку, що в нашому випадку для контролю різьбового з'єднання доцільно використовувати поперечні хвилі. Поперечні хвилі вводяться похилим перетворювачем з кутом падіння, більшим за перший критичний кут.

Кут нахилу перетворювача для збудження поперечних хвиль вибирається виходячи з повноти зондування контрольованого виробу (різьбового з'єднання).

## **2.2. Згасання ультразвуку в ОК та вибір робочої частоти**

Згасання ультразвукових коливань називають явище зменшення амплітуди коливань частинок звукової хвилі, викликане процесами розсіювання та поглинання. [5]

У твердих тілах коефіцієнт загасання складається з коефіцієнта поглинання та розсіювання.

При поглинанні звукова енергія переходить у теплову енергію, а при розсіянні енергія залишається звуковою, але зникає із спрямованого поширення хвилі в результаті відбиття від неоднорідностей середовища. Поглинання буде тим більшим, чим швидше будуть відбуватися коливання, тобто чим вище буде частота ультразвуку.

Поглинання поперечних хвиль менше, ніж поздовжніх хвиль, оскільки вони не пов'язані з адіабатичними змінами об'єму, що спричиняють втрати теплопровідності. Втрати теплопровідності пропорційні квадрату частоти.

Коли ультразвук переходить з одного кристала на інший (кристали розташовані випадковим чином в основній масі металу), швидкість звуку може змінюватися. В результаті відбувається часткове відображення, заломлення ультразвуку та трансформація типів хвиль.

Дуже великий вплив на величину коефіцієнта розсіяння в металах має співвідношення середньої величини зерен  $D_{cp}$  і довжини хвилі ультразвуку  $\lambda$ .

При  $\lambda \ll D_{cp}$  звук поглинається в кожному зерні, як в одному великому кристалі, і згасання визначається в основному поглинанням.

При  $\lambda \approx D_{cp}$  розсіяння дуже велике. Ультразвук проникає між окремими кристалами (дифузійне розсіювання). Особливо дуже велике згасання при  $\lambda \ll (3..4)D_{cp}$ .

При  $\lambda \gg D_{cp}$  відбувається розсіяння хвилі дрібними частинками, при якому коефіцієнт згасання пропорційний релеєвському розсіянню ( $f^4$ ).

Для дефектоскопії зазвичай застосовують більш низькі частоти (0,5...10 МГц) так, щоб  $\lambda$  була більша (10..15)  $D_{cp}$ . В цьому інтервалі ультразвук слабо згасає і, як правило, не виникають завади, пов'язані з прийняттям сигналів, розсіяних на кристалах. Скориставшись приведеними вище даними, розраховуємо мінімальну робочу частоту:

$$f_{pmin} = \frac{C_{ок}}{2d_{min}} = \frac{C_{ок}}{\lambda_{ок}} = \frac{5800}{6 \cdot 10^{-3}} = 5,3(\text{МГц})$$

$d_{min}=3\text{мм}$  – розмір мінімального дефекту.

$C_{ок}=5800\text{ м/с}$  - швидкість розповсюдження поперечної хвилі в сталі.

Зараз, в дефектоскопії широко застосовують частоти: 1,8; 2,5; 5 МГц. Прийmemo  $f=5\text{ МГц}$  – зміна значення частоти в даному діапазоні не суттєво впливає на якість контролю. Тоді довжина хвилі в сталі:

$$\lambda_{cm} = \frac{C_{cm}}{f} = \frac{5800}{5 \cdot 10^6} = 0,8 (\text{мм}),$$

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

$$\lambda_{орг} = \frac{C_{орг}}{f} = \frac{2700}{5 \cdot 10^6} = 0,68 (\text{мм}),$$

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

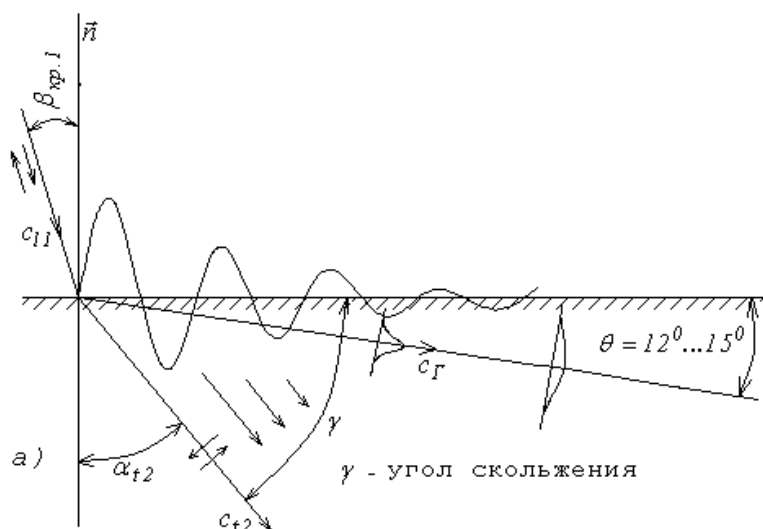
$$\lambda_{цтс} = \frac{C_{цтс}}{f} = \frac{3300}{5 \cdot 10^6} = 0,7 \text{ (мм)}$$

Але слід пам'ятати, що якщо розмір дефекту менше довжини хвилі ультразвуку, то його виявленість різко погіршується. Мінімальний розмір дефекту дорівнює 3 мм, це говорить про те, що умова виконується.

### 2.3. Розрахунок кута вводу

Перехід ультразвукових коливань від одного середовища до іншого при падінні їх під кутом до поділу середовищ супроводжується як відбиттям, так і заломленням, а також перетворенням (розщепленням) хвилі. [3]

Так, якщо з одного твердого середовища на границю з іншим твердим середовищем падає під кутом  $\beta$  подовжня хвиля  $C_{11}$  (рис.2.3.1), то в загальному випадку виникають ще чотири хвилі: дві заломлені (подовжня  $C_{12}$  і поперечна  $C_{22}$ ) і дві відображені (подовжня  $C_{11}$  і поперечна  $C_{21}$ ).



**Рис.2.3.1.** Відображення і заломлення подовжньої хвилі на границі розділу двох твердих середовищ.

Кути заломлення і відображення хвиль пов'язані з кутом падіння виразу Снеліуса:

$$\frac{\sin\beta}{C_{11}} = \frac{\sin\beta_t}{C_{t1}} = \frac{\sin\beta_1}{C_{11}} = \frac{\sin\alpha_{12}}{C_{12}} = \frac{\sin\alpha}{C_{t2}} \quad (2)$$

де  $C_{11}, C_{t1}$  - швидкість поширення подовжньої і поперечної хвилі в першому середовищі,  $C_{12}, C_{t2}$  - швидкість поширення подовжньої і поперечної хвилі у другому середовищі;  $\alpha_{12}, \alpha$  - кути заломлення подовжньої і поперечної хвилі;  $\beta_1, \beta_t$  - кути відбиття подовжньої і поперечної хвилі.

З виразу Снеліуса випливає, що  $\beta_1 = \beta$ .

Зі збільшенням кута падіння  $\beta$ , починаючи з деякого значення  $\beta_{кр1}$ , званого першим критичним кутом, заломлена подовжня хвиля не проникне у друге середовище ( $\alpha_{12} = 90^\circ$ ).

При подальшому збільшенні кута настає момент, коли поперечна хвиля починає ковзати по поверхні перерізу ( $\alpha_{12} = 90^\circ$ ); відповідний кут падіння  $\beta_{кр2}$  називається другим критичним кутом - при якому заломлена поперечна хвиля не проникне у друге середовище.

Значення критичних кутів задовольняє рівності:

$$\sin\beta_{кр1} = \frac{C_{11}}{C_{12}} \quad \text{та} \quad \sin\beta_{кр2} = \frac{C_{11}}{C_{t2}} \quad (3)$$

Швидкість поширення подовжньої хвилі в оргсклі  $C_{11} = 2670$  м/с, швидкість поширення поперечної хвилі в сталі рівна:  $C_{t2} = 2670$  м/с.

Виходячи з цього, можна розрахувати перший і другий критичні кути:

$$\beta_{кр1} = \arcsin\left(\frac{C_{11}}{C_{12}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670}{5900}\right) = 26,9^\circ$$

$$\beta_{кр2} = \arcsin\left(\frac{C_{11}}{C_{t2}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670}{3230}\right) = 55,5^\circ$$

Зазвичай кут падіння  $\beta$ -хвилі у похилому шукачі вибирається таким, що в контрольованому виробі поширюється лише поперечна хвиля ( $\beta_{кр1} < \beta < \beta_{кр2}$ ).

$$26,9^\circ < \beta < 55,5^\circ$$

Кут падіння променя  $\alpha$  слід розуміти як кут між нормаллю до поверхні виробу, що проходить через точку введення променя, і лінією, що з'єднує центр відбивача з круговою бісектрисою розсіювання і точкою введення променя, коли перетворювач встановлюється в положення, при якому амплітуда ехо-сигналу від дефекту максимальна.

Оскільки кут вводу лежить у межах від 27 до 55, то згідно з цими розрахунками можна вважати, що:

$$\alpha = 40$$

Виходячи з наших розрахунків, ми можемо обчислити довжину хвилі в ОК та відстань, на якій ми поставимо наш перетворювач для точного контролю різьби.

Ми використовуємо геометричні обчислення. Оскільки ми знаємо кут введення та товщину ОК, ми можемо написати:

$$MA = \frac{d}{\cos \alpha} = \frac{200}{\cos 30} = 230 \text{ (мм)}$$

Припустимо, що промінь, який вводиться під кутом  $\alpha$ , проходить через середину об'єкту, що контролюється. Тоді:

$$NM = \frac{d/2}{\cos \alpha} = \frac{100}{\cos 30} = 115 \text{ (мм)}$$

Отже, так як у нашому випадку ФАР являється і випромінювачем, і приймачем то тоді довжина проходу променя складає:

$$L = 2(230 + 115) = 690 \text{ (мм)}$$

Знайдемо максимальну відстань розміщення п'єзоперетворювача.

$$MK = MA \sin \alpha = 230 * 0,5 = 115 \text{ (мм)}$$

$$QM = \frac{NM}{2} = \frac{115}{2} = 57 \text{ (мм)}$$

$$OM = QM \cos \alpha = 57 * 0,865 = 49 \text{ (мм)}$$

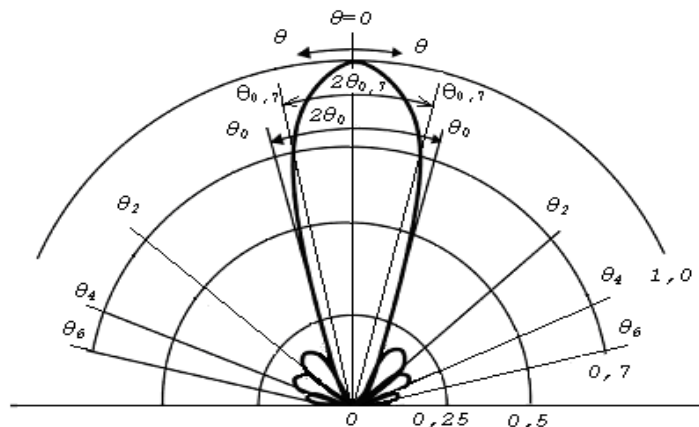
Тоді:

$$L_{\max} = 57 + 49 = 106 \text{ (мм)}.$$

## 2.4. Розрахунок характеристики спрямованості

Акустичне поле в дальній області характеризується діаграмою випромінювання, яка показує зміну звукового тиску між напрямком променя і акустичною віссю на постійній відстані від випромінювача. Одинична амплітуда  $R_0$  на осі випромінювача приймається за одиницю. Схема випромінювання не залежить від відстані до випромінювача.

Орієнтація поля нахиленого перетворювача, як і прямого, представлена у вигляді діаграми, що описує кутовий розподіл пружного поля в дальній області перетворювача. Для повного опису картини випромінювання останній повинен бути представлений у полярних координатах  $F(\alpha)$  радіусного вектора  $F$ , довжина яких відповідає величині амплітуди поля та куту  $\alpha$ , який відрізняється від полярної осі  $OO$ , збігається з нормаллю поверхні виробу і проходить через умовний центр  $O$  хвильового променя (рис.2.4.1).



**Рис.2.4.1** Діаграма спрямованості в полярних координатах.

Центральна частина картини випромінювання, в межах якої амплітуда поля зменшується від одного до нуля, називається основною пелюсткою. Приблизно 85% енергії поля зосереджено в межах основної пелюстки. Окрім основної пелюстки, схема випромінювання має бічні пелюстки. Рівень бічних пелюсток визначається відношенням поля на акустичній осі до максимального

значення поля поза основною пелюсткою. Кут подвійного відкриття основної пелюстки ( $2\Theta$ ) називається шириною випромінювання.

Орієнтація похилого перетворювача ускладнюється збільшенням кута призми, зменшенням діаметра випромінювача, частоти коливань та збільшенням показника заломлення межі матеріалу призми з об'єктом контролю.

Якщо ширина основної пелюстки невелика, а площа кутів, що охоплює її, лежить за межами критичних кутів заломлення, то ефект проходження межі призми-металу на орієнтацію поля, створеного перетворювачем, можна нехтувати.

Зазвичай схеми випромінювання обчислюються для випадку безперервного випромінювання пружної хвилі, але зміною схеми випромінювання через характер імпульсу можна знехтувати, якщо кількість коливань імпульсу перевищує п'ять.

## 2.5 Розрахунок геометричних розмірів ФАР

Матеріал для виготовлення ФАР вибираємо ЦТС-19, у якого:

- $C_{цтс} = 3,3 \cdot 10^3 \text{ м/с}$  - швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі;
- $\rho_{цтс} = 7,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}$  - питома густина ЦТС-19;
- $Z_{цтс} = C_{цтс} \cdot \rho_{цтс} = 3,3 \cdot 10^3 \cdot 7,4 \cdot 10^3 = 24,59 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$  - акустичний імпеданс.

$$d_n = \frac{\lambda_{ок}}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ мм}$$

$\lambda_{ок}$  - довжина хвилі в об'єкті контролю.

$$L = n \cdot d \quad \frac{d_n}{2} = \frac{0,57}{2} = 0,29 \text{ (мм)} \quad L = 32 \cdot 0,57 = 18,2 \text{ (мм)}$$

$L$  – довжина ФАР.

$$\delta = \frac{\lambda_{цтс}}{2} = \frac{C_{цтс}}{2 \cdot f} = \frac{3300}{2 \cdot 5 \cdot 10^6} = 0,33 \text{ (мм)} \quad a = \frac{L}{2} = \frac{19}{2} = 9,5 \text{ (мм)}.$$

Отже, маємо такі розміри фазованої Ґратки, див. рис.2.5.1:

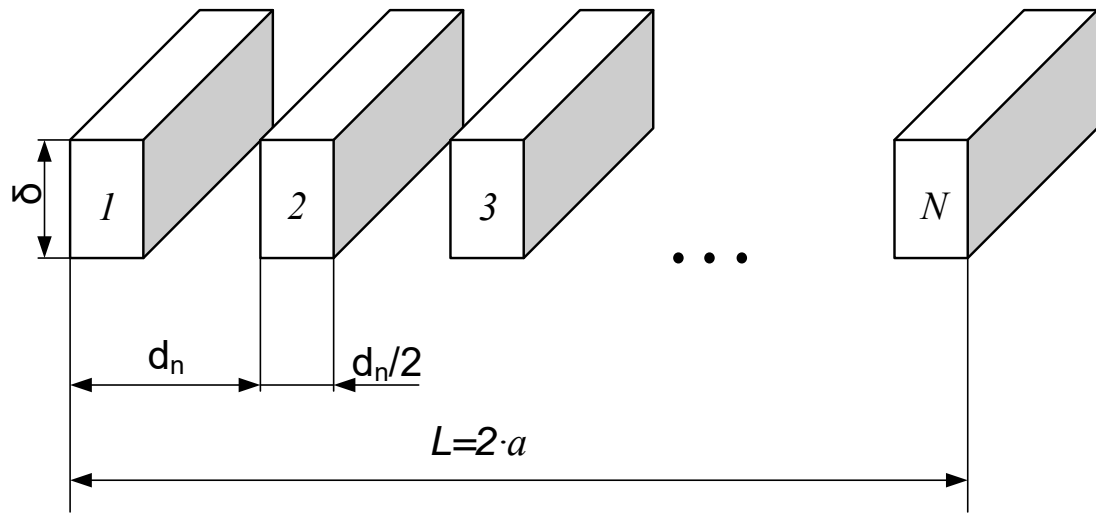


Рис.2.5.1 Фазована антенна решітка.

- кількість елементів  $N = 32$ ;
- період решітки  $d_n = 0.57 \text{ мм}$ ;
- довжина ФАР  $L = 18.2 \text{ мм}$ ,
- висота елементів решітки  $\delta_{\text{нен}} = 0,33 \text{ мм}$ .
- ширина елементів ФАР  $a = 9.5 \text{ мм}$ .

## 2.6. Розрахунок коефіцієнта послаблення акустичного тракту

Природні дефекти можуть мати багато різних форм, орієнтацій та акустичних властивостей, які невідомі заздалегідь. Тому для розрахунків справжні дефекти замінюються моделями, які мають досить просту геометричну форму - диск, куля, циліндр, смуга, нескінченна площина. Наприклад, форма, близька до сферичної, має дефекти, як оболонки, пори та шлакові включення.



Пристрій, що розробляється, призначений для виявлення таких дефектів, як раковини, отвори і тріщини вертикальної орієнтації. Для виконання цього завдання необхідно, щоб приймальний шлях пристрою, що розробляється, був здатний розрізнити корисний сигнал, що надійшов від дефекту, з найменшим відбиваючим шумом. Через те, що дефекти оболонки мають форму, близьку до сферичної, їх відбивна здатність буде найменшою. Це тому, що відбита від сфери енергія розподіляється більш рівномірно у всіх напрямках. Для того щоб визначити формулу для обчислення коефіцієнта згасання акустичного тракту, необхідно визначити, в якій зоні знаходиться дефект. Орієнтовна площа для перетворювача обчислюється за формулою:

$$r_6 = a^2 / \lambda \quad (4)$$

для нашого випадку площа перетворювача буде рівна:

$$S = a^2 (\cos \alpha / \cos \beta)^2 = 12,46 (\text{мм})$$

Отже

$$r_6 = \frac{a^2}{\lambda} = \frac{S_a}{\pi \lambda} = 12,46 / 2,068 = 7,97 (\text{мм})$$

Тепер можемо записати формулу для розрахунку коефіцієнта послаблення акустичного тракту.

$$K_{AT} = \frac{S_1 \cdot R \cdot \cos \alpha}{2 \lambda \cdot (r + r_2)^2 \cdot \cos^2 \beta} \cdot T_{12} \cdot T_{23} \cdot e^{-2(\alpha_{p1} \cdot r + \alpha_{p2} \cdot r)} \quad (5)$$

$$r_{6л} = \frac{a^2}{\lambda} \quad r_D = 8 \cdot r_{6л} \quad (6)$$

де  $r$  – відстань від шукача до дефекту;  $r_1$  – шлях ультразвуку в призмі перетворювача;  $r_2$  – приведений шлях в призмі шукача;  $\lambda_t$  – довжина поперечних ультразвукових хвиль в сталі;  $T_{12}$ ,  $T_{23}$  – коефіцієнти проходження по інтенсивності через границі перетворювач-призма та призма-сталь відповідно;  $\alpha_{p1}$ ,  $\alpha_{p2}$  – коефіцієнти згасання повздовжніх та поперечних хвиль в сталі відповідно і дорівнюють 32,5 Нп/м, 3,75 Нп/м.

Знайдемо значення коефіцієнта проходження по інтенсивності, але для початку знайдемо акустичний опір перетворювача:

$$Z_1 = \rho \cdot C_{11} = 36.5 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{м}^3$$

$$Z_2 = \rho \cdot C_{12} = 0.32 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^3$$

$$Z_3 = \rho \cdot C_{12} = 25.4 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{м}^3$$

$$T_{12} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = 0,37$$

$$T_{23} = \frac{4 \cdot Z_3 \cdot Z_2}{(Z_3 + Z_2)^2} = 0,24$$

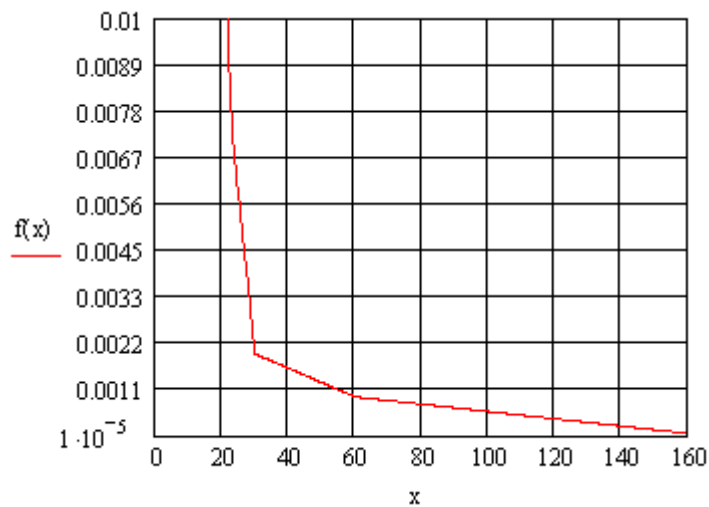
Максимальна відстань від точки вводу до дефекту

$$r = N \cdot d / \cos \alpha = 152.7 \text{ (мм)}$$

Тоді

$$K_{ат} = 0,98 \cdot 10^{-4}$$

За отриманими значеннями будемо графік залежності коефіцієнта послаблення від глибини  $K_{ат}(h)$ .



**Рис.2.6.1** Графік залежності коефіцієнта послаблення від глибини

$$K_{ат}(h).$$

За одиницю приймаємо коефіцієнт послаблення на поверхні ( $h = 0 \text{ мм}$ ).

## 2.7 Розрахунок вхідної напруги, яка подається на п'єзопластину.

Для отримання достовірних результатів контролю, напруга знята з контактів на п'єзопластині, повинна перевищувати рівень шуму в 5 разів.

$$\frac{U_{II}}{U_{III}} \geq 5$$

Рівень білого шуму знаходиться в межах  $100_{\text{мкВ}}$ ,

звідси  $U_{II} = 500_{\text{мкВ}}$ .

Скориставшись формулою:

$$U_{II} = U_B \cdot k_{AT} \cdot k_{П.П.} \cdot k_{зан.}, \quad (7)$$

-  $k_{AT}$  - коефіцієнт акустичного тракту;

-  $k_{П.П.}$  - коефіцієнт подвійного перетворення, який для ЦТС-19

чисельно дорівнює  $k_{П.П.} = 0,2 \div 0,4$ ;

-  $k_{зан.}$  - коефіцієнт заповнення ФАР.

знаходимо значення вхідної напруги:

$$U_B = \frac{U_{II}}{k_{AT} \cdot k_{П.П.} \cdot k_{зан.}} = \frac{500 \cdot 10^{-6}}{0,98 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 \cdot 0,8} = 41,62B$$

## 2.8 Висновки до розділу

У цьому розділі проводилися обчислення акустичного тракту, кутів введення, геометричних розмірів решітки, коефіцієнта згасання акустичного тракту та обчислення вхідної напруги.

## РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ

### 3.1. Розрахунок ліній затримок.

Ця дипломна дисертація використовує секторне сканування. Кут сканування при дослідженні різьбового з'єднання - 40 градусів.

Елементи решітки збуджуються у відповідній часовій послідовності, тобто із затримкою в часі, що дорівнює:

$$\tau = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} (n - 1) \quad (8)$$

У досліджуване середовище буде випромінюватися плоска хвиля, відхилена на кут  $\Theta_k$  від нормалі до решітки. Введення відповідних затримок окремих елементів решітки створює необхідний фронт хвилі.

Елементів у решітці 32, тому розрахуємо затримку для кожного елемента.

Тобто, для 1-го елемента затримки не буде:

$$\tau_1 = 0$$

2-й елемент - із затримкою:

$$\tau_2 = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} \cdot 1 \quad (9)$$

3-й елемент - із затримкою:

$$\tau_3 = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} \cdot 2 \quad (10)$$

4-й елемент - із затримкою:

$$\tau_4 = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} \cdot 3 \quad (11)$$

5-й елемент - із затримкою:

$$\tau_5 = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} \cdot 4 \quad (12)$$

6-й елемент - із затримкою:

$$\tau_6 = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} \cdot 5 \quad (13)$$

7-й елемент - із затримкою:

$$\tau_7 = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} \cdot 6 \quad (14)$$

8-й елемент - із затримкою:

$$\tau_8 = \frac{d \cdot \sin \Delta \Theta_k}{C_{ok}} \cdot 7 \quad (15)$$

Також потрібно сказати, що сама мінімальна затримка буде для першого кута, а сама максимальна – для останнього.

У таблиці 1. приведений розрахунок залежності величини значення затримок від кута відхилення  $\Theta_k$ :

Таблиця 1

<b><math>\Theta_{kn}</math></b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>15</b>
1	0	0	0	0	0
2	0,010435	0,020842	0,031175	0,041455	0,051605
3	0,02087	0,041683	0,062351	0,08291	0,10321
4	0,031305	0,062525	0,093526	0,124365	0,154815
5	0,04174	0,083366	0,124701	0,16582	0,206421
6	0,052176	0,104208	0,155876	0,207275	0,258026
7	0,062611	0,125049	0,187052	0,24873	0,309631
8	0,073046	0,145891	0,218227	0,290185	0,361236
9	0,08348	0,166736	0,2494	0,33164	0,41284
10	0,093915	0,187578	0,280575	0,373095	0,46445
11	0,10435	0,20842	0,31175	0,41455	0,51605
12	0,114785	0,229262	0,342924	0,456005	0,567655
13	0,12522	0,250104	0,3741	0,49746	0,61926
14	0,135655	0,270946	0,405275	0,538915	0,670865

15	0,14609	0,291788	0,43645	0,58037	0,72247
16	0,156525	0,31263	0,46752	0,621825	0,774075

Закони затримки фазових решіток за відсутності призми, призначеної для отримання поздовжньої хвилі, мають форму параболи. Величина затримки збільшується від краю до центру. Якщо фокусна відстань подвоїться, затримку слід зменшити вдвічі. Зі збільшенням ширини елементів величина необхідної затримки також збільшується лінійно.

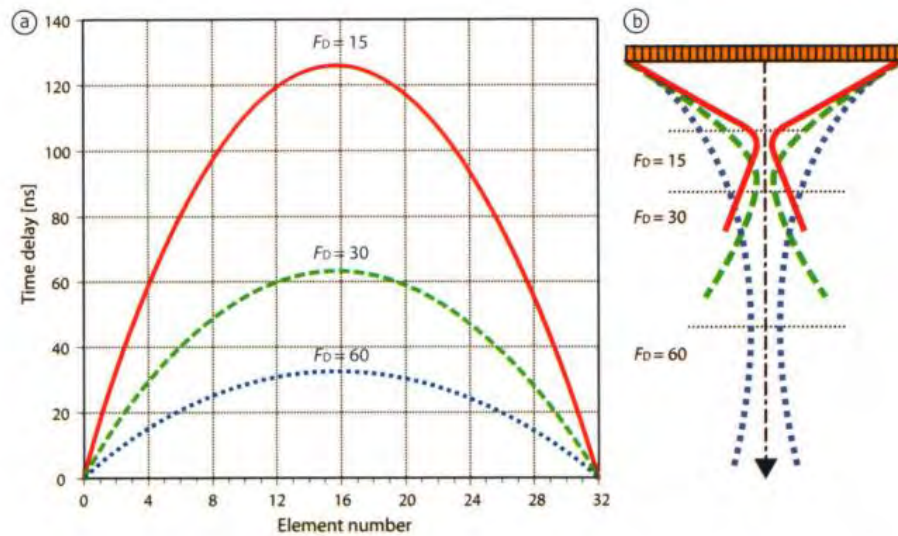


Рис 3.1.1 Величини часової затримки для різних довжин фокусу

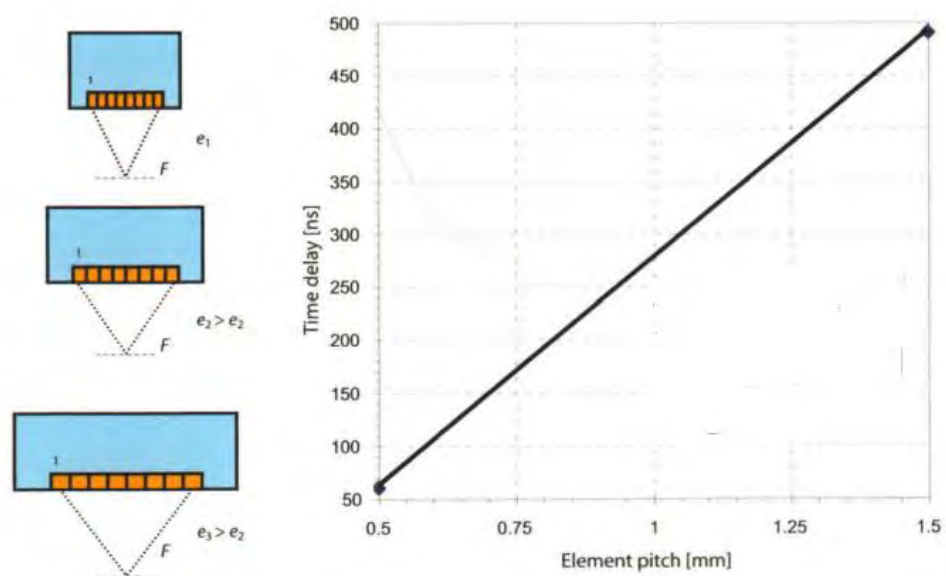


Рис 3.1.2 Залежність часової затримки від кроку решітки при однаковій

фокусній відстані

Якщо сканування ФР без призми (рис. 3.1.3), затримка кожного елемента визначається положенням елемента в решітці та бажаним кутом введення променя. (Рис. 3.1.4). Значення затримки збільшується з кутом і кількістю елемента.

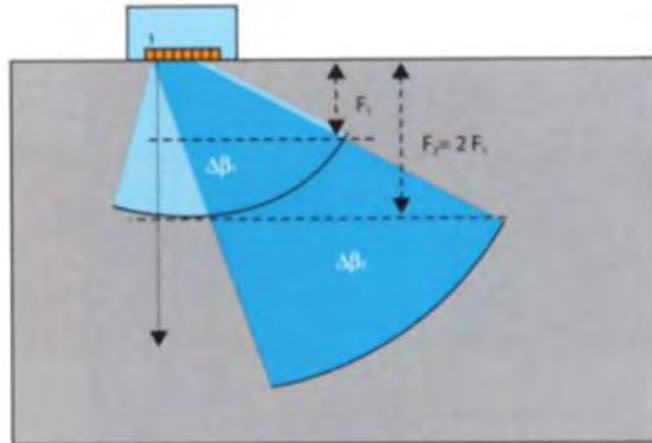


Рис 3.1.3 Сканування за допомогою фазованої решітки без призми

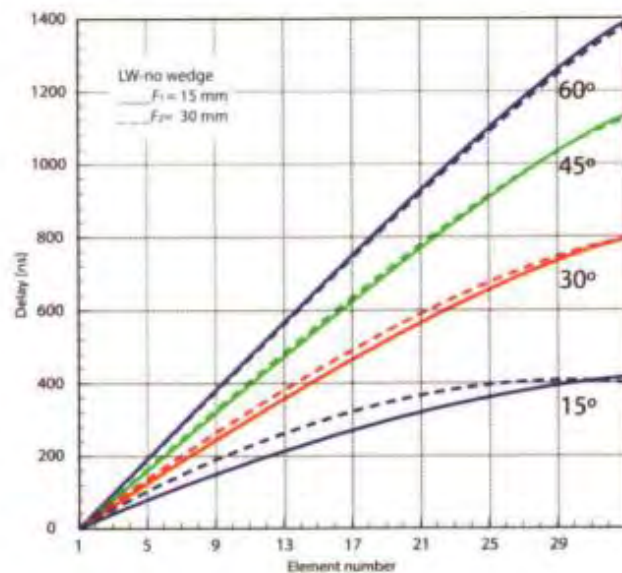


Рис. 3.1.4 Залежність значення затримки від кута введення, номера елемента та фокусної відстані.

Закон фокусування має форму параболи для кута введення, обчисленого

за законом Снелліуса 45 градусів. Для кутів, менших від розрахункових, затримка елементів збільшується від задньої до передньої частини решітки. Для кутів, більших за розрахункову затримку, у задній частині фазової решітки повинен бути більший кут. Затримка решітки повинна бути більшою, оскільки імпульс, що випромінюється в передній частині решітки, повинен проходити більшу відстань у призмі, тому передні елементи повинні збуджуватися раніше.

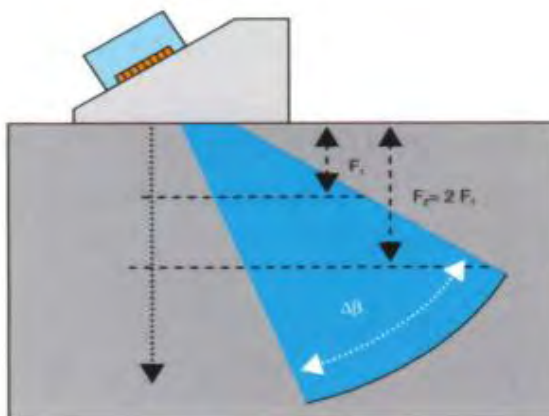


Рис 3.1.5 Сканування перетворювачем, який встановлений на призму.

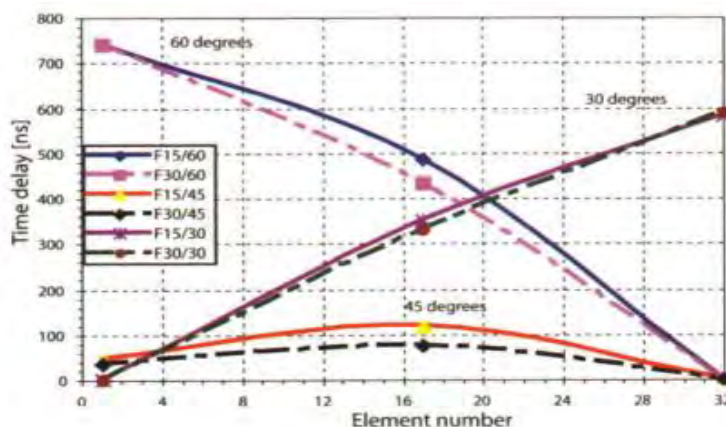


Рис. 3.1.6 Залежність значення затримки від кута введення, номеру порядку елемента при секторному скануванні, встановленого на призму.

Принцип фокусування променя показаний на рис. 3.1.7. Саме за допомогою контрольної лінії затримки ми обчислюємо модель



випромінювання. [16]

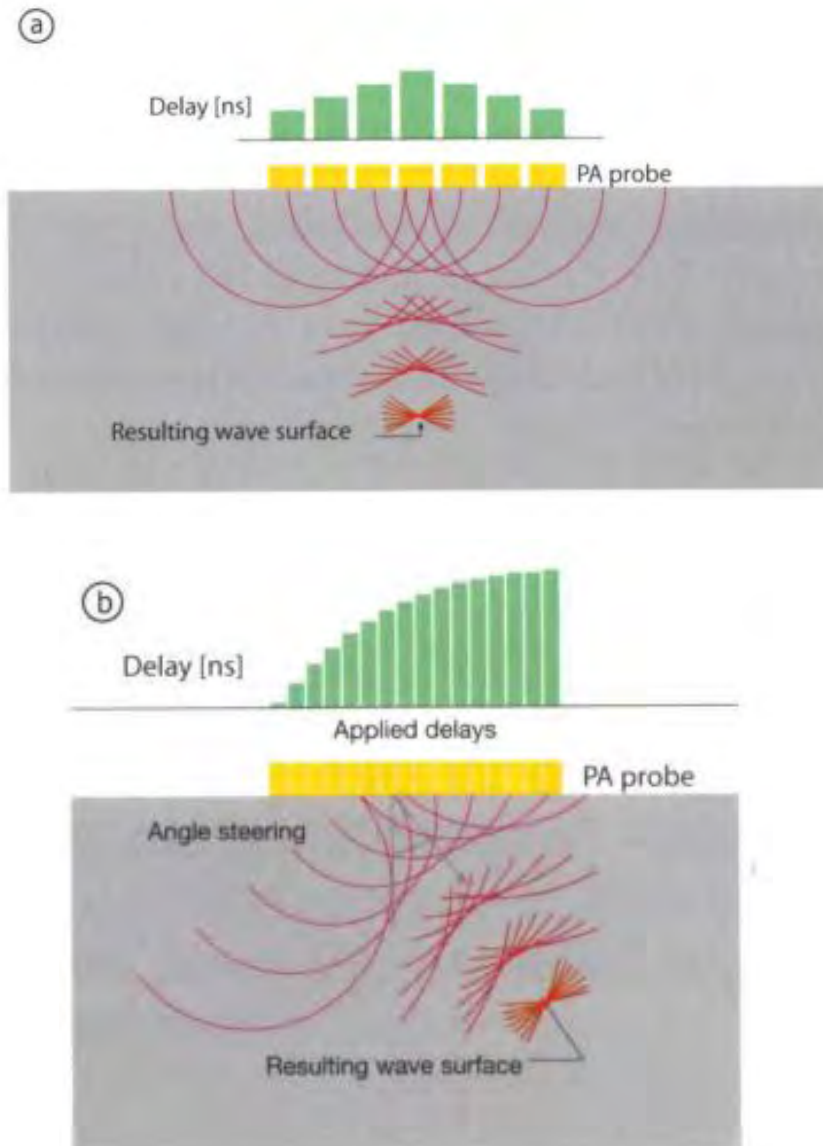


Рис 3.1.7 Принцип формування фокусування пучка.

### 3.2 Моделювання роботи фазованої решітки

Було побудовано програму для моделювання роботи фазованої решітки. Результат даного моделювання є діаграма направленості, яка відображає всі характеристики які вносяться як початкові значення при моделювання.

Акустичний сигнал, (Рис. 3.2.1) побудований в MatLab

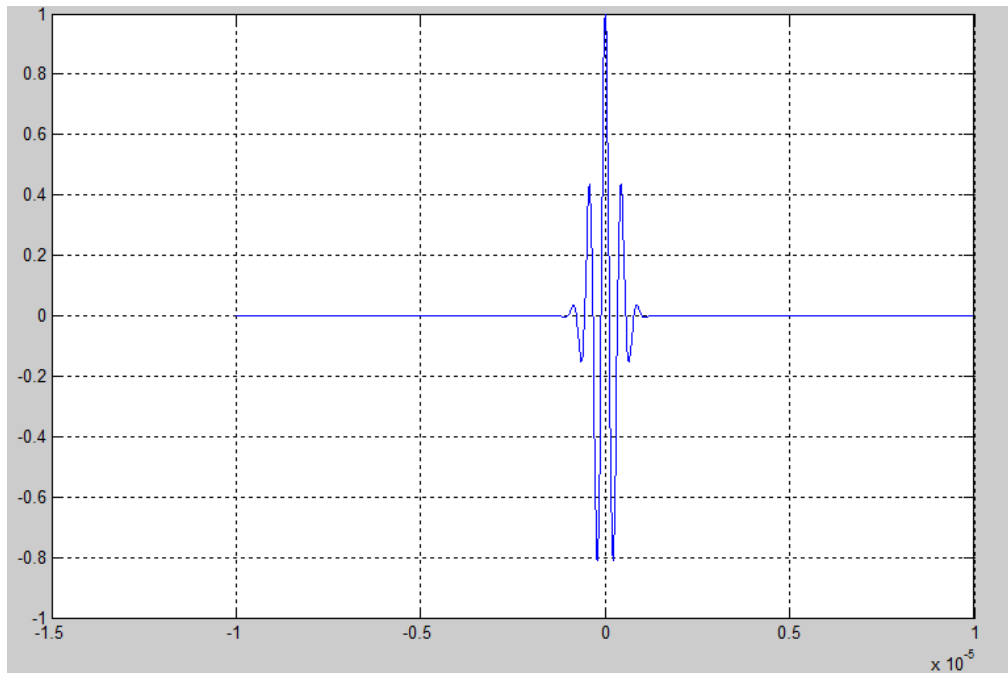


Рис 3.2.2 Акустичний сигнал

Проведемо моделювання ситуацій, які можуть виникати при контролі.

У дальній зоні формується діаграма направленості, яка визначається здебільшого хвильовим розміром випромінювача (рис. 3.2.3). У межах головної пелюстки зосереджено близько 85% всієї променевої енергії.[15]

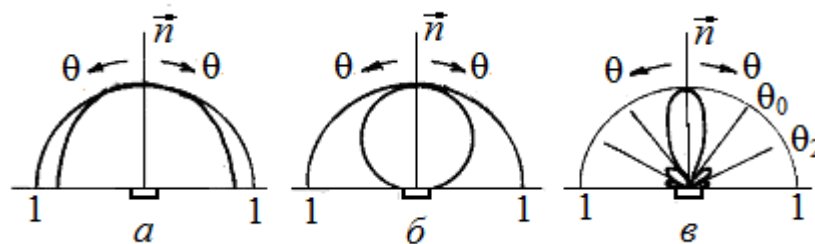


Рис. 3.2.3 Характер залежності поля випромінювання від хвильового розміру випромінювача : а –  $2a \ll \lambda$ ; б –  $2a \approx \lambda$ ; в –  $2a \gg \lambda$

Перший випадок (рис 3.2.4). Коли d-крок менше довжини хвилі.

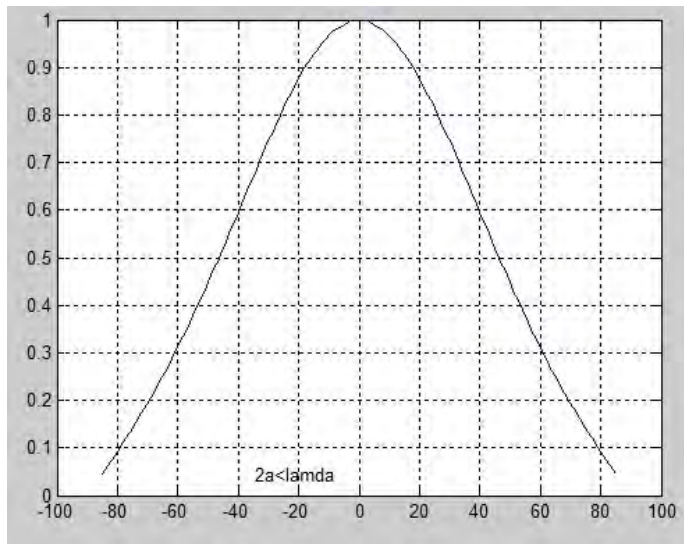


Рис 3.2.4 Діаграма направленості при  $d$ -крок менше довжини хвилі

Бачимо що діаграма направленості має не виражений вигляд. Результат підтверджує теорію, що була викладена раніше. Якщо змінювати крок далі, де  $d$ -крок дорівнює довжини хвилі (рис 3.2.5). Отримуємо наступний результат, який також збігається з теоретичними даними, така діаграма направленості не є інформативною.

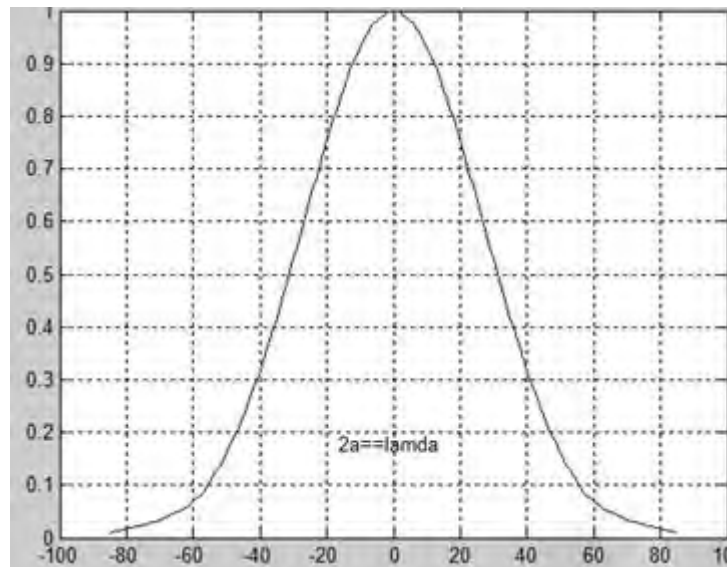


Рис 3.2.5 Діаграма направленості при  $d$ -крок дорівнює довжини хвилі

Задаємо  $d$ -крок більший довжини хвилі (рис. 3.2.6.)

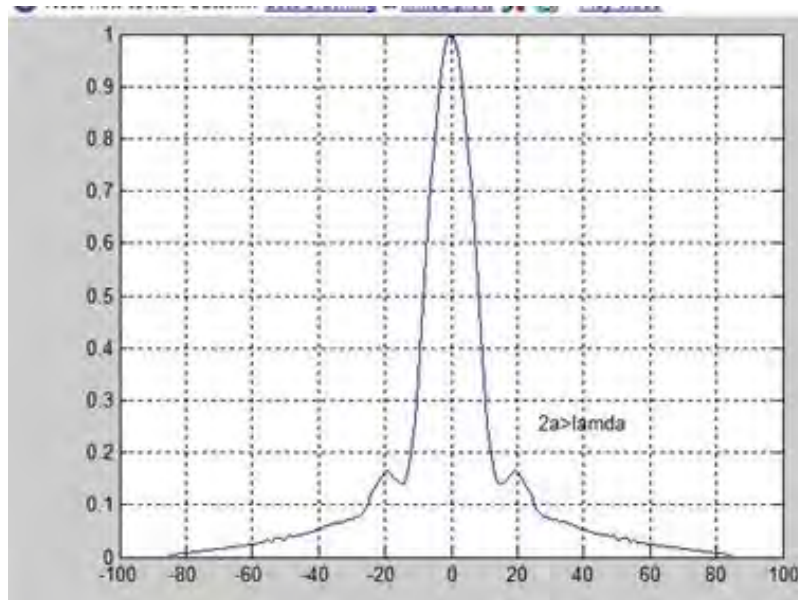


Рис 3.2.6 Діаграма направленості при  $d$ -крок більше довжини хвилі

Та  $d$ -крок набагато більший довжини хвилі (рис. 3.2.7).

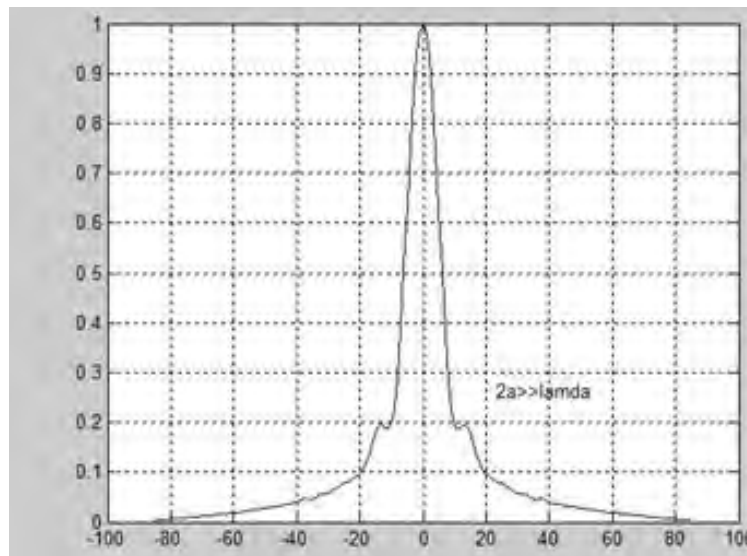


Рис 3.2.7 Діаграма направленості при  $d$ -крок набагато більше довжини хвилі

Ми бачимо, чим більша різниця, тим вужча схема випромінювання, тим більше інформації ви можете отримати від перетворювача, точно знаючи, що сигнал є відображенням заданих характеристик.

### 3.3. Розрахунок діаграми спрямованості

Особливістю акустичного поля нахиленого перетворювача є те, що ультразвукові хвилі випромінюються в матеріал призми, а потім, заломлюються на межі призма-об'єкт контролю. Розподіл енергії в найближчому полі стає більш рівномірним, чітко виражених максимумів і мінімумів немає.

Поле у віддаленій зоні утворюється так, ніби промінь випромінювання з'явився вже в призмі перетворювача, а потім розірвався на межі призми з об'єктом контролю. Згасання кожного променя визначається значенням коефіцієнта заломлення для заданого кута падіння.

У результаті в площині падіння акустичної осі картина випромінювання розширюється за рахунок заломлення, оскільки кут заломлення збільшується. Схема випромінювання стає асиметричною. Амплітуда поля вища внизу, де розбіжність променів менша, а інтенсивність більша. Чим сильніше це явище, тим більший кут призми перетворювача.

Для прямого перетворювача визначимо кути нульового випромінювання:

$$1). \Theta_0 = \arcsin(\lambda/2a) = \arcsin(0,8/5) = 11,2^\circ$$

$$2). \Theta_2 = \arcsin(2\lambda/L) = \arcsin(2*0,8/5) = 22^\circ$$

$$3). \Theta_4 = \arcsin(3\lambda/L) = \arcsin(3*0,8/5) = 35,7^\circ$$

Знайдемо значення на рівні 3дБ:

$$\Theta_{0,7} = \arcsin(0.21\lambda/L) = 2^\circ$$

### 3.4 Висновки до розділу

У даному розділі розраховано затримки та промодельовано схему випромінювання. Була розроблена програма для імітації роботи фазованої решітки. Результатом цього моделювання є діаграма направленості, яка

відображає всі характеристики, які вводяться як початкові значення в моделюванні.

Ми бачимо, що коли  $d$ -крок набагато більший за довжину хвилі, то вужча схема випромінювання і тому більше інформації можна отримати від перетворювача, точно знаючи, що сигнал є відображенням заданих характеристик.

## 4. РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

### 4.1. Розробка функціональної схеми

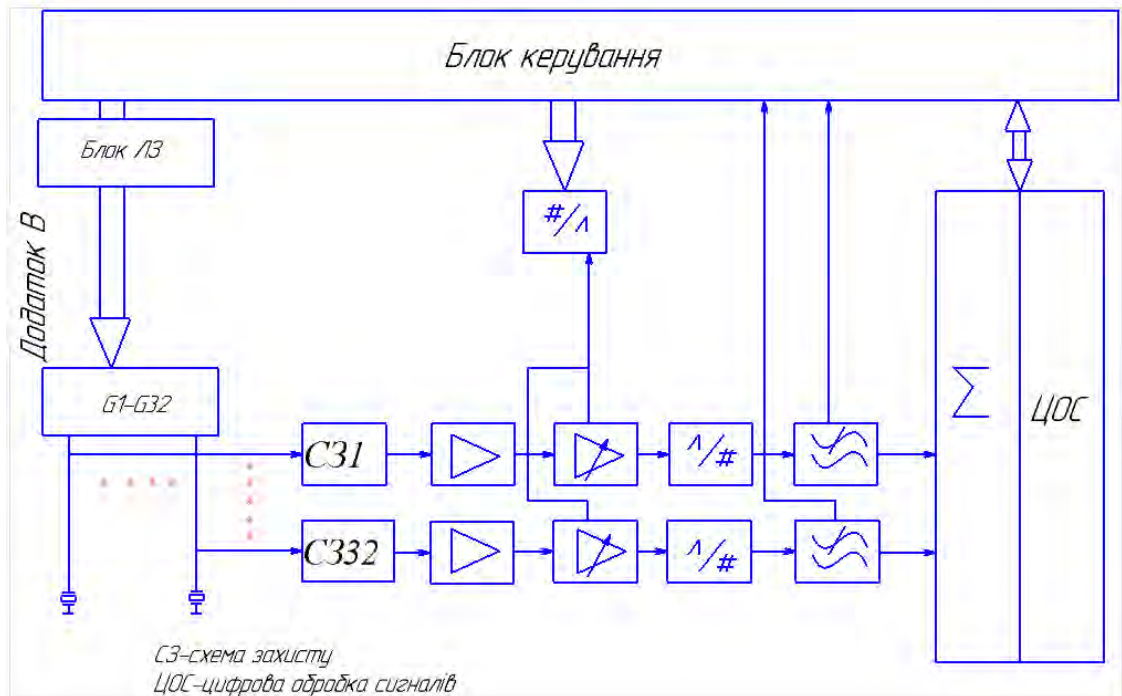


Рис.4.1.1 Функціональна схема

На основі вибраного методу та отриманих розрахунків, складаємо функціональну схему приладу(рис.4.1.1).

Для збудження перетворювача використовуються пульсери, а саме 32, які керуються за допомогою ПЛІСа. Значення напруги, що подається на пульсер, було обчислено вище і мало значення 41,68В, приймаємо значення вхідної напруги  $\pm 50\text{В}$ .

Пульсери супроводжуються схемою захисту, а потім підсилювачем, часовим регулюванням чутливості, низькочастотним фільтром та АЦП, що знаходяться в одній схемі AD 9271.

ЧРЧ, що знаходиться в схемі AD 9271, контролюється за допомогою ЦАП AD5320 та диференціальним підсилювачем AD 8132, який також має 2 виходи, оскільки сигнал посилюється як в позитивному, так і в негативному напрямках.

Вся регуляція роботи та управління генераторів та ЧРЧ виконується за допомогою ПЛИС Spartan-6, який в свою чергу запрограмований і забезпечує контроль над роботою всієї схеми. Саме ця плата обробляє сигнал, отриманий від АЦП та видає його на ПК.

## 4.2. Розрахунок вузлів принципової схеми

### 4.2.1. Пульсер

Пульсер необхідний для формування неперервного сигналу, що подаються на елементи ФАР з метою отримання ультразвукових сигналів випромінювача. Для одержання постійних стабільних коливань.(рис.4.2.1)

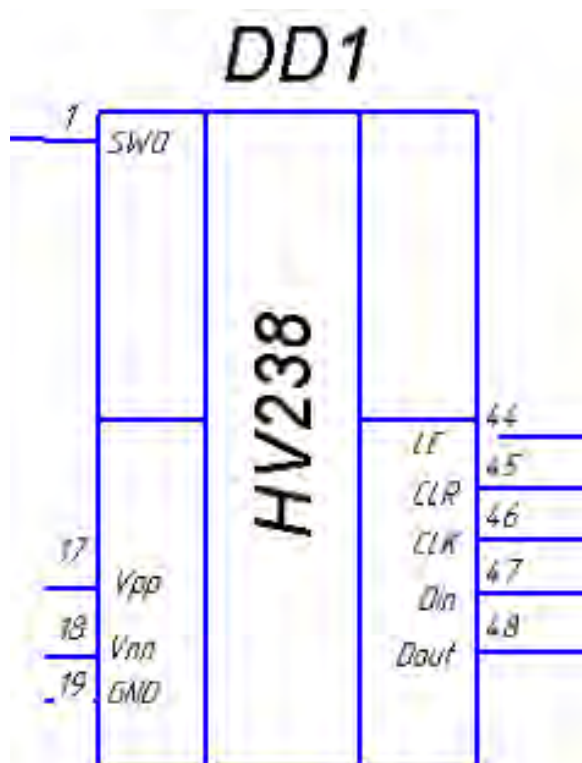


Рис.4.2.1 Пульсер HV238 на схемі принциповій

Пульсер використовується на базі мікросхеми фірми Supertex inc. і його блок діаграма(Рис.4.2.2)



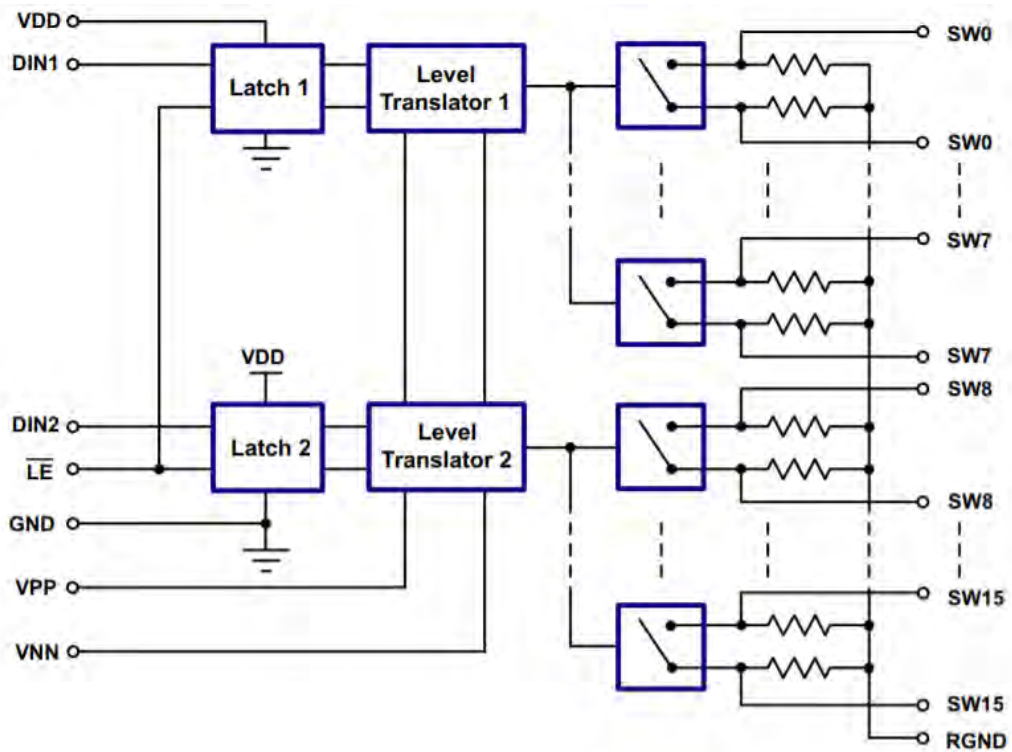


Рис.4.2.2 Блок діаграма HV238

Supertex HV238 – високовольтний аналоговий перемикач інтегральної схеми. Пристрій можна використовувати для цілей, що вимагають комутації високої напруги під керуванням сигналів низької напруги, таких як медичне ультразвукове дослідження.

Вбудовані резистори усувають напругу, побудовану на ємнісних навантаженнях, таких як п'єзоелектричні перетворювачі. Дані вносяться у 8-бітний регістр зсуву.

Використовуючи технологію HVCMOS, цей пристрій поєднує вимикачі DMOS високої напруги та низьку логіку живлення CMOS для забезпечення високопродуктивних аналогових високовольтних аналогових сигналів.

#### 4.2.2 Схема захисту

Схема захисту у даному проекті використовується на базі мікросхеми фірми Diodes inc. і має назву BAS40-04.Зображення на принциповій схемі (рис.4.2.1)

та блок діаграма(рис.4.2.2).

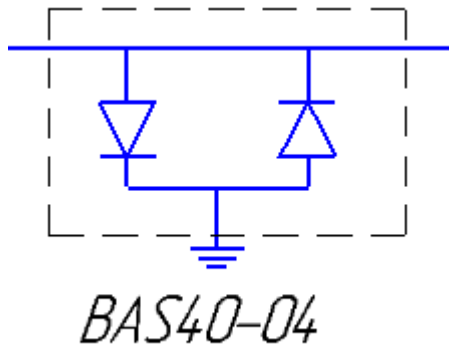


Рис.4.2.1

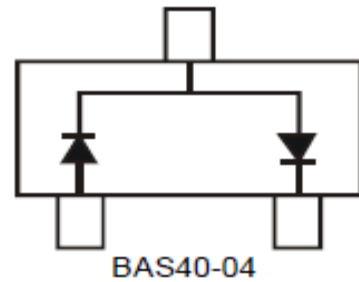


Рис.4.2.2

У багатьох інтегральних схемах є вбудовані захисні діоди. Як правило, ці діоди не розраховані на великі значення струму і мають недостатню продуктивність. Наприклад, вбудовані захисні діоди мікроконтролера AVR можуть витримувати лише одиниці міліампер.

Діодна схема обмежить вхідну напругу від  $-V_d$  до  $V_{cc} + V_d$ , де  $V_d$  - падіння напруги через діод у прямому напрямку. Струм розряду буде протікати або через верхній або нижній діоди, і буде "поглинений" фільтруючими конденсаторами, джерелом живлення та самими діодами. Іноді для додаткового захисту між плюсовою потужністю та землею підключається стабілітрон або діод TVS[9].

Якщо вхід мікросхеми використовується для введення високочастотного сигналу, слід брати до уваги той факт, що діоди вносять додаткову паразитну ємність. Величину паразитної ємності можна знайти в специфікації на елемент[9].

Для захисту входів мікросхем, виробники напівпровідникових компонентів випускають спеціальні діодні збірки, в яких міститься відразу кілька діодів.

### 4.2.3 Огляд AD9271

AD9271 призначений для низької вартості, низької потужності, невеликих розмірів та простоти використання. Він містить вісім каналів низькошумового попереднього підсилювача з регульованим посиленням (VGA); ФНЧ (AAF); і 12-бітний, 10 MSPS до 50 MSPS, аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

Кожен канал має змінний діапазон посилення 30 дБ, повністю диференціальний шлях сигналу, активний вхід припинення перед підсилювачем. А максимальний коефіцієнт посилення до 40 дБ. Швидкість до 50 МГц. Канал оптимізований для динамічної продуктивності та низького енергоспоживання[9].

Зображення на принциповій схемі та функціональна блок діаграма

(рис.4.2.3)

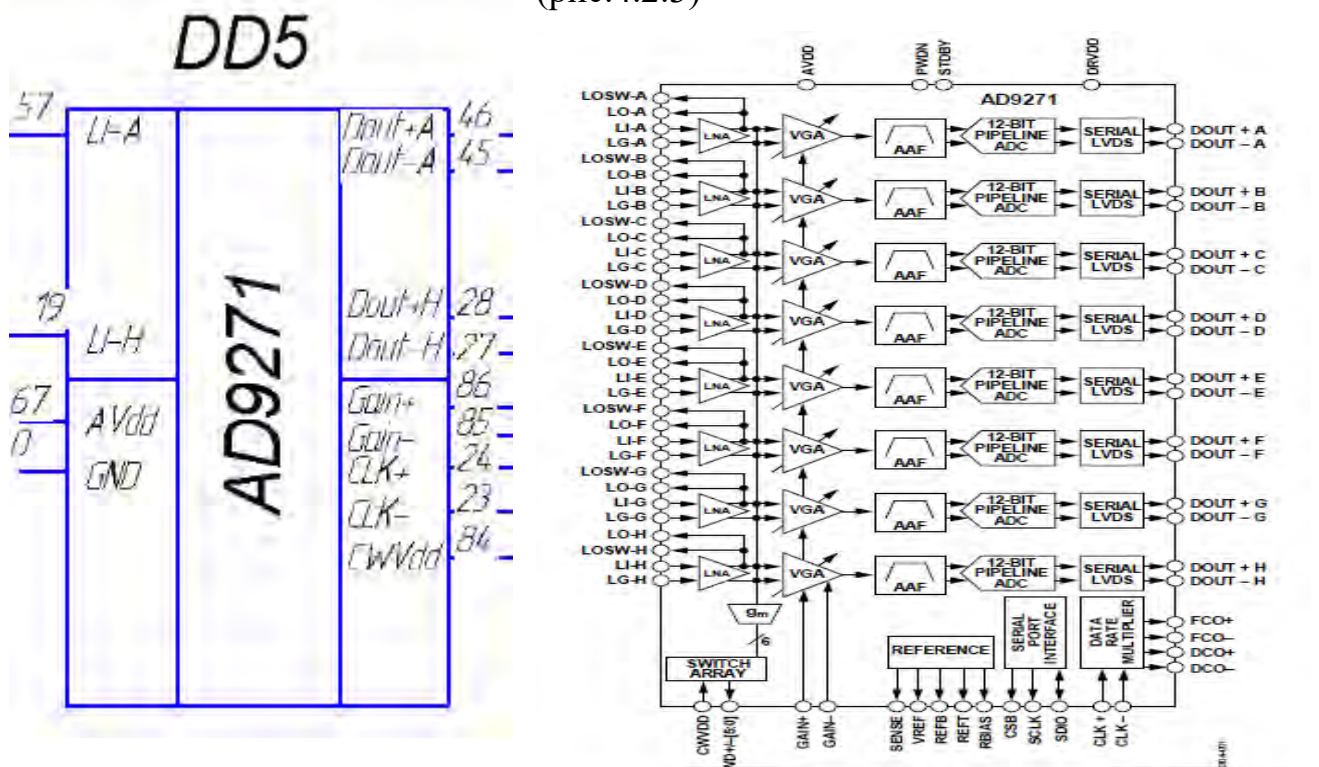


Рис.4.2.3 Блок схема AD9271

Розглянемо складові, що входять до складу даної мікросхеми:

- Попередній підсилювач - електронний підсилювач, який перетворює слабкий електричний сигнал у більш потужний. Підсилювач розміщують на початку тракту. Таким чином, підсилювач приймає та забезпечує передачу сигналу без істотного погіршення рівня підсилювача потужності. Підсилювач також виконує функцію комутаційного пристрою, який захищає джерело сигналу від нестабільного вхідного опору та вхідних струмів[9].

- Підсилювач - підсилює постійний струм з диференціальним входом і, як правило, єдиний вихід, який має високий коефіцієнт посилення, майже завжди використовується в схемах з негативним зворотним зв'язком, який через високий коефіцієнт посилення повністю визначає посилення.

- ЧРЧ - часове регулювання чутливості, призначений для вирівнювання амплітуд сигналу від дефектів на різній глибині. ЧРЧ особливо важливе при автоматичному оцінюванні та записуванні контрольних результатів. Система ЧРЧ зменшує коефіцієнт посилення, а потім відновлює його відповідно до певного закону, який забезпечує компенсацію зменшення амплітуд зі збільшенням глибини дефекту.

Часове регулювання чутливості дозволено лише для придушення перешкод поблизу зондуючого імпульсу: переміщуйте перетворювач по досліджуваному зразку, щоб отримати максимальний ехо-сигнал від відповідного контрольного відбивача[9].

- ФНЧ - фільтр низьких частот електронний або будь-який інший фільтр, який ефективно передає частотний спектр сигналу нижче певної частоти (частота відсікання) і знижує (пригнічує) частоту сигналу вище цієї частоти. Ступінь придушення кожної частоти залежить від типу фільтра[9].

- АЦП - аналого-цифровий перетворювач (АЦП) - пристрій, який перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал). Зворотне перетворення здійснюється за допомогою ЦАП (цифро-перетворювач, ЦАП).

Як правило, АЦП - це електронний пристрій, який перетворює напругу у двійковий цифровий код.

#### 4.2.4 Диференційний підсилювач

Диференціальний підсилювач - електронний підсилювач з двома входами, вихідний сигнал якого дорівнює різниці вхідних напруг, помножених на постійну складову. Застосовується у випадках, коли необхідно розрізнити невелику різницю напруг на тлі значного загальнофазного компонента[9].

Вихідний сигнал диференціального підсилювача може бути як однофазним, так і диференціальним. Це визначається схемою вихідного каскаду.

У даному проєкті був використаний підсилювач AD8132(рис4.2.4)

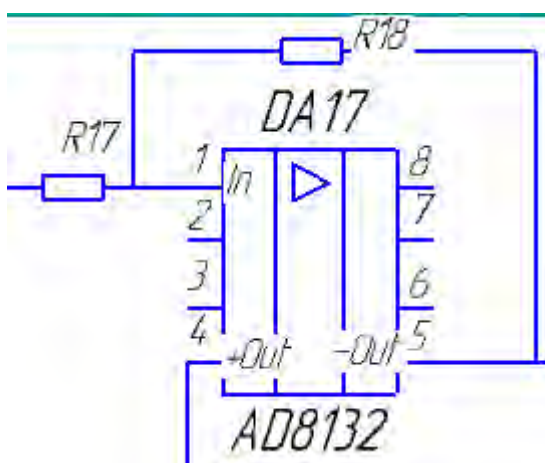


Рис.4.2.4

Підсилювач має включення з негативним зворотнім зв'язком, для стабільності коефіцієнта підсилення. Так як нам не треба підсилювати сигнал, але потрібний диференціальний вихід, значення підсилення обираємо рівним 1. А номінал резисторів робимо рівним 2 кОм.

#### 4.2.5.Цифрово-аналоговий перетворювач

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) - пристрій для перетворення цифрового (зазвичай двійкового) коду в аналоговий сигнал (струм, напруга або заряд). Цифро-аналогові перетворювачі є інтерфейсом між дискретним цифровим світом і аналоговими сигналами[9].

Був використаний 12-розрядний ЦАП AD5320(рис.4.2.5) та його блок-діаграма(рис.4.2.6).

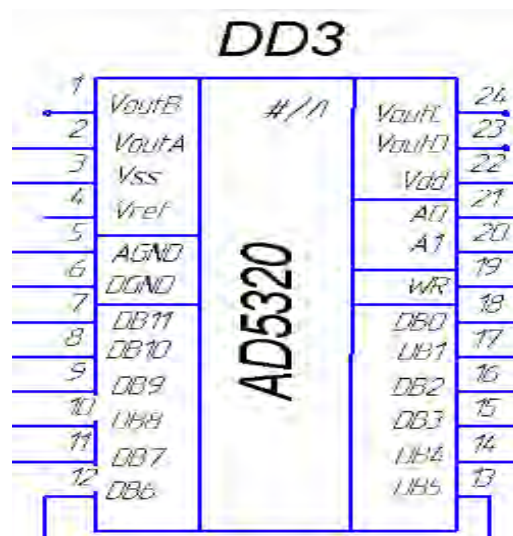


Рис.4.2.5 ЦАП AD5320

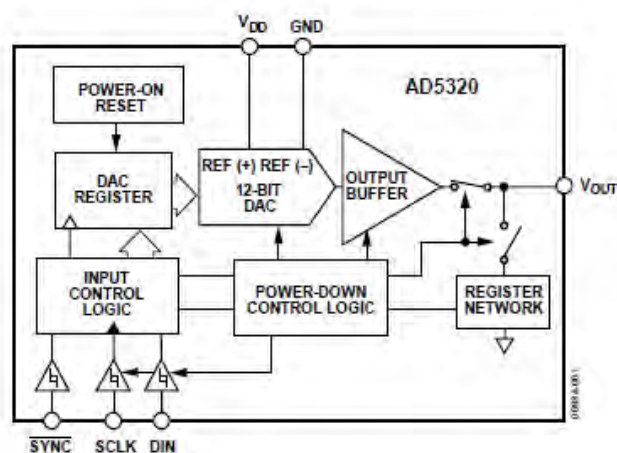


Рис.4.2.5 Блок діаграма ЦАП AD5320

#### 4.2.6. Програмована логічна інтегральна схема

Програмована логічна інтегральна схема (PLD) - електронний компонент, який використовується для створення цифрових інтегральних мікросхем. На відміну від звичайних цифрових схем, логіка роботи ПЛІС не визначається під час виготовлення, а встановлюється за допомогою програмування (проектування). Для програмування використовуються програміст і IDE (середовище налагодження), які дозволяють встановити потрібну структуру цифрового пристрою у вигляді схематичної діаграми або програми спеціальними мовами опису обладнання: Verilog, VHDL, AHDL та інші[9].



Рис.4.2.7 Spartan 6TQG144

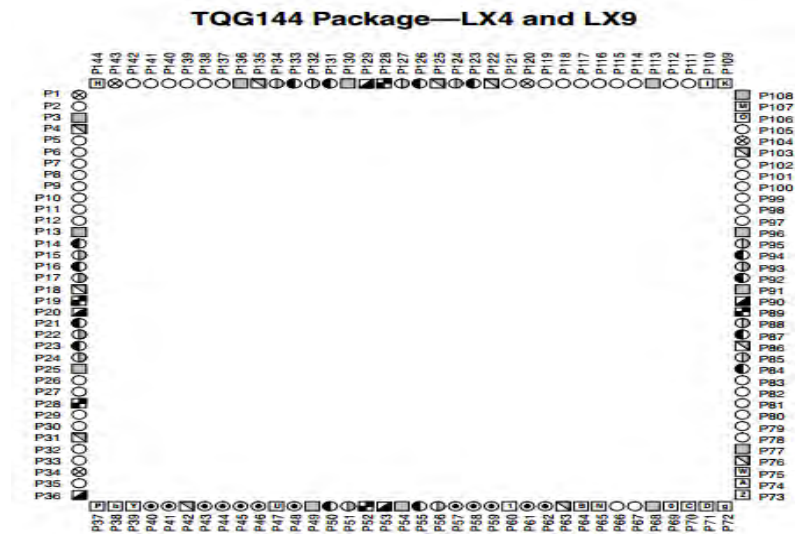


Рис.4.2.8 Блок діаграма Spartan 6TQG144

#### 4.2.7 Висновки до розділу

В розділі були розглянуті частини функціональної схеми та був зроблений огляд складових принципової електричної схеми.



## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1. Опис ідеї проекту

В основу ідеї данного стартап-проекту покладено систему, в основі якої є ультразвуковий неруйнівний метод, для контролю бурильних труб. Даний прилад відрізняється від наявних аналогів меншою вартістю та швидкодією. В даному розділі буде проведено аналіз стартап-проекту який має на меті визначити чи зможе наш продукт вийти на ринок і бути конкурентним з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована система для контролю бурильних труб.	Контроль бурильних труб.	Менша вартість
		Автоматизована система
		Надійність

Проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг порівняно з пропозиціями конкурентів:

- визначимо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-аналогів, або товарів-замінників, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняння показників: визначено показники, що мають а) кращі значення (S, сильні); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) гірші значення (W, слабкі); (табл. 5.2).

Порівнюємо параметри системи з аналогами, що наявні на ринку, визначимо переваги та недоліки даних систем.

Конкурент 1 – Ультразвуковий дефектоскоп OmniScan X3

Конкурент 2 – Портативний ультразвуковий дефектоскоп УД2-50

### Конкурент 3 – Ультразвуковий дефектоскоп УДЗ-71

Таблиця 5.2. 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	150000	322000	95000	100000	-	-	+
2	Рентгівське опромінення	-	+	+	+3	-	-	+
3	Мобільність	+	-	-	-	-	-	+
4	Остаточний діагноз	Попередній	Остаточний	Остаточний	Остаточний	+	-	-
5	Торгова марка	Немає	Є	Є	Є	+	-	-

У табл. 5.2. було визначено слабкі, сильні та нейтральні характеристики та властивості ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

### 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведемо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Для здійснення технологічної частини, потрібно вибрати середовище програмування 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматизована ультразвукова система	Виготовлення на замовлення підприємствах	Наявна	Недоступна

2	для контролю бурильних труб	Самостійне виготовлення	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Оптимальна технологія реалізації проекту вибрано виготовлення елементів приладу самостійно.				

Результат технологічної здійсненності ідеї проекту вказує на те, що дану ідею можна реалізувати шляхом використання наявних на ринку технологій, які є доступними.

### 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному підрозділі визначаємо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрям розвитку, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомий
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка приладу на стандартних зразках, для підтвердження точності контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

За результатами аналізу, робимо висновок, що ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт та є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Визначимо потенційні групи клієнтів та їх характеристики, яким можна запропонувати даний прилад (табл. 4.5).

Таблиця 5.5. 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 найкраще співвідношення ціна-якість, ніж його конкуренти.	Науковці, виробництва.	Відносно не дорогі прилади неруйнівного контролю	Простота експлуатації, ефективність, мобільність, економічність, висока якість сервісного обслуговування

В даній таблиці ми визначили основні вимоги до продукту, які очікують покупці, та ми визначили фактори, які формують поведінку відносно сегменту ринку та нашого продукту.

Існують певні загрози, при зстосуванні нашої технології. Для уникнення даних ситуації, потрібне якісне обладнання, а також повинні бути висококваліфіковані фахівці, які будуть працювати з даним приладом і технологією. Також є невід’ємним той факт, що повинно проводитись своєчасне технічне обслуговування нашого продукту.

Прилади неруйнівного контролю, які використовуються в даному напрямі, мають високу вартість, що робить їх не поширеними. Тому наш прилад, матиме відносно не високу вартість, в порівнянні з наявними аналогами, що поширені на ринку.

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

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Можливий вихід на ринок іноземних компаній конкурентів	Дослідження продукту конкурента та вдосконалення свого
2	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитися продажі	Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
3	Наявність локального конфлікту на сході	Може вплинути на коло потенційних покупців	Пошук нових клієнтів на міжнародному ринку
4	Постачання	Проблема з фірмами постачальниками	Зміна політики розповсюдження продукту
5	Технічний	Збої в програмі в зв'язку з неправильним налаштуванням	Спрощення алгоритмів налаштування або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

В таблиці 4.6 ми визначили ряд загроз, які перешкоджають впровадженню даного проекту на ринок, а також негативну реакцію на фактори, щоб звести його вплив до мінімуму.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.1. Фактори можливостей

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

В таблиці 5.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

## 5.4. Аналіз пропозицій ринку

Проведемо аналіз пропозиції ринку, з метою визначення загальної риси конкуренції на ринку (табл. 5.8).

Таблиця 5.8. 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	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
2. Рівень конкурентної боротьби	Національний	Вдосконалення продукту і пошук можливості виходу на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Міжгалузева	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту
4. Конкуренція за видом товарів	Товарно-видова	Вдосконалення та реклама для показу переваг
5. За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення свого продукту і при цьому невелике зменшення цін відносно конкурентів
6. За інтенсивністю	Не марочна	Розробка бренду і його активна реклама

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером приведений в табл. 5.9.

Таблиця 5.9. 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	Потенційними конкурентами є іноземні компанії які згодом можуть вийти на наш ринок.	Постачальниками є інтернет магазини які займаються розповсюдженням. Диференціація витрат.	Основними клієнтами є підприємства нафто-газової промисловості. Розмір закупівель.	Компанія володіє доволі сильною пропозицією, аналогів якій при збереженні

	подібні послуги	Патенти на продукти. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Концентрація постачальників . Значення розміру поставок	Система інформації. Прибутки. Контроль якості.	якості практично немає
Висновки:	Проводити аналіз конкурентних пропозицій, працювати над зниженням собівартості.	Високий ризик входу нових гравців, адже вхідні 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, розроблювати нові види товарів

Зробивши аналіз таблиці 4.9, можемо зробити висновок, що з огляду на присутню конкурентну ситуацію на ринку можливість на даному ринку є присутня. А також, щоб бути конкурентноспроможними на ринку, ми визначили характеристики, які повинен мати даний проект і що повинна робити компанія.

Після усіх аналізів, ми визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів щоб бути конкурентноспроможними. Даний проект поки не впроваджено на ринок, бо поки це зробити важко, тому можна дати лише попередню оцінку для конкурентноспроможності.

## 5.5. 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	Велика кількість постачальників	Своєчасна доставка продукту в незалежності від ситуації на ринку постачальників
2	Вартість	Зменшення вартості за рахунок використання ультразвукового методу
3	Мобільність	Невелика вага та невеликі габаритні розміри дають змогу переміщати систему.
4	Висока якість	Висока якість продукту яка дозволяє клієнту бути впевненим в своїх результатах досліджень

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

### 5.6. 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 «Автоматизована ультразвукова система для контролю бурильних труб»

№ 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	Велика кількість постачальників	12						v	
2	Вартість	15				v			
3	Мобільність	17						v	
4	Висока якість	16					v		

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок. Основною перевагою та головним досягненням є мобільність та висока якість продукту.



## 5.7. 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 приводиться перелік сильних та слабких сторін проект, а також присутніх ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. Ринкові можливості та загрози, на відміну від факторів, ще не реалізовані на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розроблюємо 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.

### **5.8. 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.

### **5.9. Розроблення ринкової стратегії проекту**

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

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

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

За результатами таблиці 4.14 (аналіз потенційних споживачів), ми обираємо цільові групи, яким будемо пропонувати нашу автоматизовану ультразвукову систему для контролю бурильних труб. Визначили стратегію охоплення ринку: стратегія зростання маркетингу.

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	Диференційовані й 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	Зайняття конкурентної ніші

			унікальну продукцію	
--	--	--	---------------------	--

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

Дослуховуючись до вимог споживачів з обраних напрямків до постачальника (стартап-компанії) та до самого продукту, а також в залежності від обраної нами базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки, ми розробимо стратегію позиціонування (табл. 4.17), що полягає у формування ринкової позиції, за якими споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект або марку.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

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

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

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

## 5.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

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

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Мобільність	Можливість швидкого переміщення системи для експрес контролю або попередньої діагностиці.	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 бурильних труб Можна виділити наступні вигоди використання: Мобільність; Підвищення швидкодії.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3.Досконалість виробничого виконання (Досконалий дизайн)	Нм	Тл
4.Вартість обслуговування (Низька системи та її обслуговування)	Нм	Вр	
Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо Розробка за стандартами, тестування			

	Пакування коробка
	Марка: назва організації-розробника + назва товару УЗ система контрол бурильних труб
III. Товар із підкріпленням	До продажу Гарантія „доставка
	Після продажу Після продажне обслуговування
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: свідоцтво на авторське право	

В таблиці 4.19 ми створюємо трьох рівневу модель даного товару що включає задум товару та його переваги, основні характеристики готового продукту, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Визначимо цінову політику, за якою необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яка передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	100-350 тис. грн	~200000грн	Високий	100000/150000 грн

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

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

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

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

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

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

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

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

Результатом даного 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.

### 5.11 Висновки до розділу

Узагальнюючи проведеного дослідження проекту, можемо зробити висновок, що даний проект в даний момент є хорошою можливістю ринкової комерціалізації. Дивлячись на хорошу динаміку зростання попиту на ринку від споживачів на розроблювальну систему, то робимо висновок, що з точки зору рентабельності проект обіцяє бути досить прибутковим.

З огляду на потенційних клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги даного продукту, то 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:

- Збільшити точність
- Здійснити рекламну компанію
- Працювати над покращенням продукту

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

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



## ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації було проведено аналітичний огляд існуючих методів та пристроїв неруйнівного контролю, які вирішують проблему, а саме - збій у конструкції різьбового з'єднання труби, що може призвести до катастрофічних наслідків, великих втрат і навіть до травм або загибелі експлуатаційного персоналу.

Сьогодні існує багато методів контролю різьбових з'єднань, але особливе місце серед них займає ультразвуковий контроль, але з часом виникає потреба у більш швидкому контролі, обробці та отриманні контрольних результатів. Тому подальший розвиток цієї галузі є дуже важливим, і тепер контроль переходить на більш високий рівень управління, а саме перехід на секторне сканування, а при паралельному розвитку електроніки цей напрямок стає набагато простішим у здійсненні, що призведе до покращення рівня контролю.

У даній дисертації було розроблено дефектоскоп на базі ФАР використовуючи сучасну елементну базу. Використання сучасних мікросхем AD9271 дозволяє зменшити кількість ніг, але збільшити частоту збору інформації. Зробивши розрахунок електрично-принципової схеми, я вирішив використовувати ПЛІС для обміну інформації на частоті 800 МГц і одночасному зборі інформації з 32 перетворювачів. З розрахунку нам потрібно 472 ніг, що задовольняє ПЛІС SPARTAN-6, який має 600 ніг.

Було розраховано акустичний тракт даного типу перетворювача, сконструйовано принципову схему для обробки сигналів та загальним контролем всієї схеми в цілому.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ Цапенко В. К., Куц Ю. В. – К.:НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.
2. Цапенко В.К. Акустичні перетворювачі: Методичні вказівки / Уклад.: Цапенко В.К. – Київ, 2004.- 86с.
3. Красковский А.П. Исследование побочных мод колебаний в пьезоэлектрических преобразовательных элементах ультразвуковых фазированных антенных решёток / А.П. Красковский // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – Київ. – 2010. – Вип. 39. – С. 5-13.
4. Красковский А.П. Измерение пространственно-временных характеристик ультразвуковых фазированных антенных решёток / А.П. Красковский // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – Київ. – 2009. – Вип. 38. – С. 51-57.
5. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / Высшая школа. – Москва, 1991. – 283 с.
6. Шипулло М.Г. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике, Кн. 1/Высшая школа. – Москва, 1995. – 240 с.
7. Туз Ю.М. Метод вимірювання просторово-часових характеристик фазованої антенної решітки п'єзоелектричних перетворювачів / Ю.М. Туз, О.П. Красковський, О.О. Мосолаб // XI Міжнар. НТК "Приладобудування: стан і перспективи": тези доповідей. – Київ: НТУУ "КПІ", 2012. – С. 215-216.
8. Туз Ю.М. Аналіз похибок системи вимірювання просторово-часових характеристик лінійних фазованих антенних решіток п'єзоелектричних перетворювачів / Ю.М. Туз, О.П. Красковський, О.О. Мосолаб // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Київ. – 2012. – № 06(82). – С. 62-66.

9. Рахимов Т.М. Счетчик Импульсов, Ключ - Источник: Справочник по микросхемам серии К155/ЭХО. – Новосибирск, 1991. – 250 с.
10. Дефекти різьбових з'єднань і методи їх виявлення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://ua-referat.com/Дефекти\\_різьбових\\_з'єднань\\_і\\_методи\\_їх\\_виявлення](http://ua-referat.com/Дефекти_різьбових_з'єднань_і_методи_їх_виявлення).
11. «Дифракционно-временной метод контроля (TOFD)» [Електр. ресурс],- <https://www.olympus-ims.com/ru/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>
12. «Дифракционно-временной метод контроля (TOFD)» [Електр. ресурс],- <https://www.olympus-ims.com/ru/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>
13. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / Высшая школа. – Москва, 1991. – 283 с.
14. Сайт компанії Analog devices [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Analog%20devices&gclid=Cj0KCQjw3v3YBRCOARIsAPkLbK5iSFNOKlIHZvz0wrkuGgWfVS1PXrEy7jZ8QVG44Tcqj2y7Uuac1QQaAl-eEALw\\_wcB](http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Analog%20devices&gclid=Cj0KCQjw3v3YBRCOARIsAPkLbK5iSFNOKlIHZvz0wrkuGgWfVS1PXrEy7jZ8QVG44Tcqj2y7Uuac1QQaAl-eEALw_wcB).
15. Electronic Components Datasheet Search [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=A1460>.
16. МК STM32F103x8 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[http://www.buydisplay.com/download/manual/ER-TFTM050-3\\_Datasheet.pdf](http://www.buydisplay.com/download/manual/ER-TFTM050-3_Datasheet.pdf).
17. ADVANCED NDT LTD [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.advanced-ndt.co.uk/SIUI\\_CTS-9005.htm](http://www.advanced-ndt.co.uk/SIUI_CTS-9005.htm).

# ДОДАТКИ

# **Автоматизований ультразвуковий контроль бурильних труб**

Підготував : магістрант 2-го року

навчання Клепач С.Є.

Керівник : Баженов В.Г.

# Актуальність

Аналіз аварійності трубних колон на нафтових свердловинах за останні десятиліття показує, що, незважаючи на широке застосування нових типів труб, загальне число відмов і розподіл їх за видами не змінилося, і в даний час, як і в минулі 30 років.

Незважаючи на використання труб нових типів, аварійність газових та нафтових свердловин показує, що розподіл відмов за видами аварійності не змінилось. Основними причинами аварій газових та нафтових трубних колон є негерметичність нарізного сполучення муфти і труби, які складають 50% від усіх відмов, 12% - руйнування тіла труби, 11% - руйнування тіла муфти, 27% - інші несправності.

# Визначення об'єкта, предмета і мети наукового дослідження

**Мета:** створення автоматизованої системи виявлення дефектів бурильних труб, яка будується на використанні групи ультразвукових первинних перетворювачів.

**Об'єкт дослідження:** процес автоматизованої ультразвукової дефектоскопії бурильних труб.

**Предмет дослідження:** методи та засоби підвищення чутливості та швидкодії автоматизованої ультразвукової дефектоскопії бурильних труб

# Постановка задач дослідження

1. Провести аналіз об'єкта контролю та визначити види дефектів, які виникають у різьбовому з'єднанні.
2. Обґрунтувати вибір ультразвукового контролю з використанням фазованої решітки.
3. Розробити функціональну схему систему та розрахувати основні вузли.
4. Промоделювати діаграму направленості для різних перетворювачів.



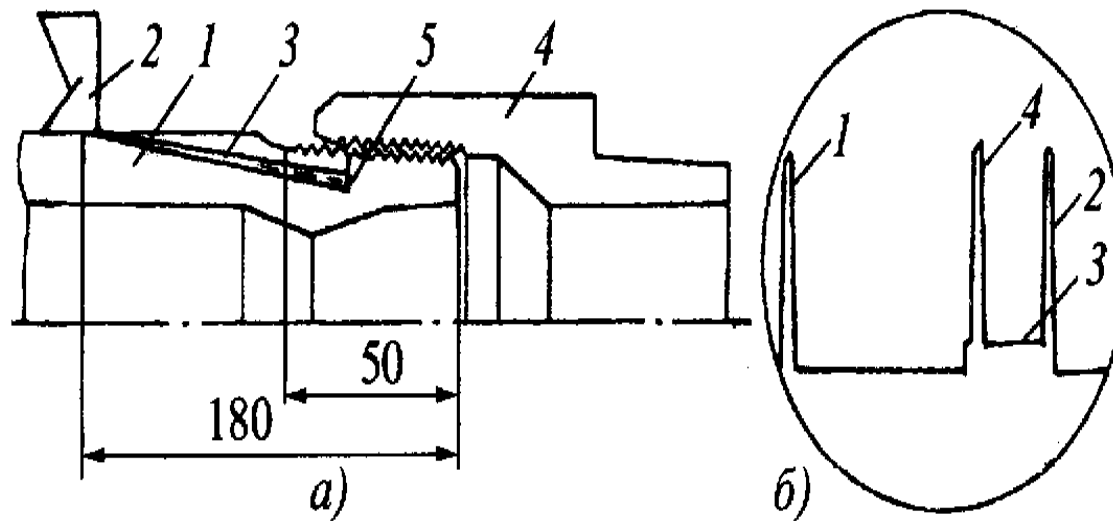
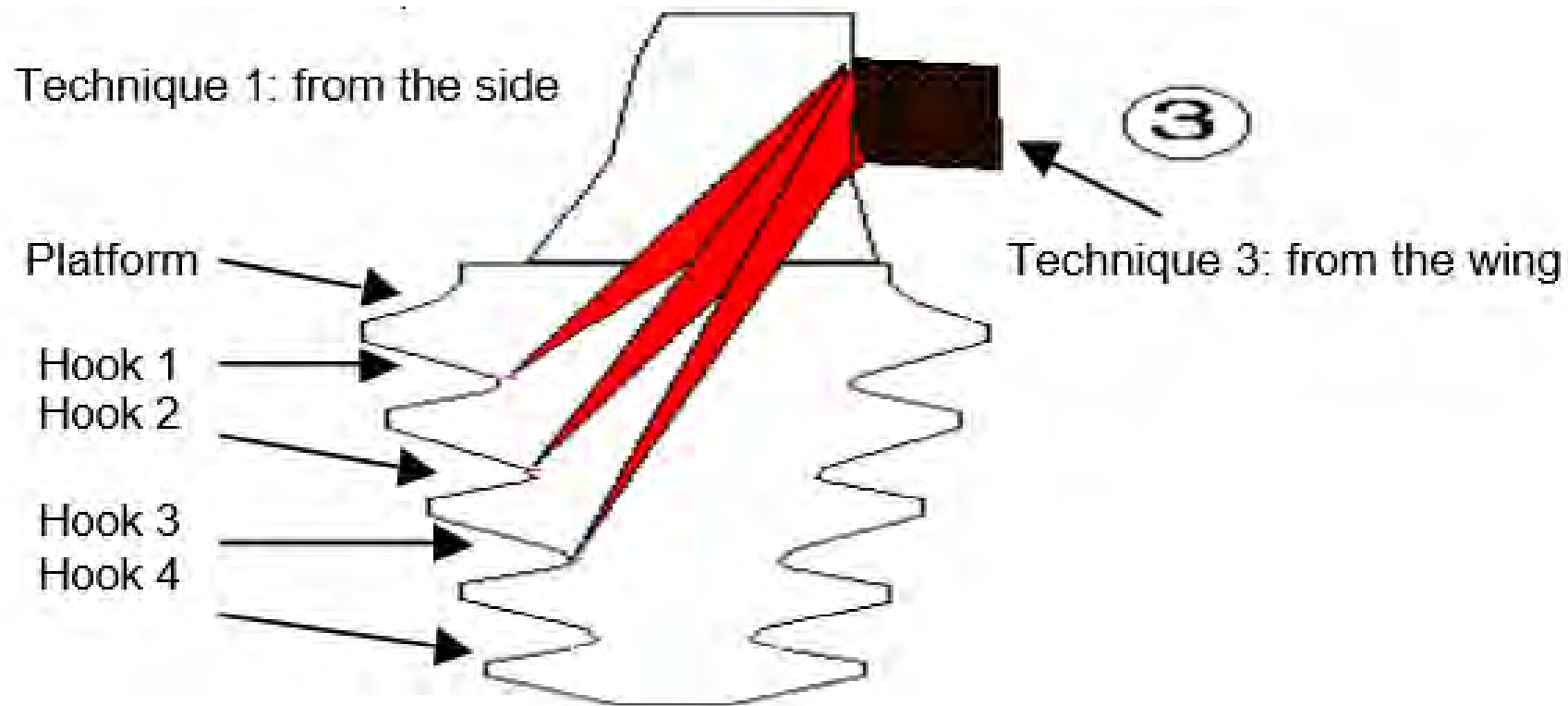
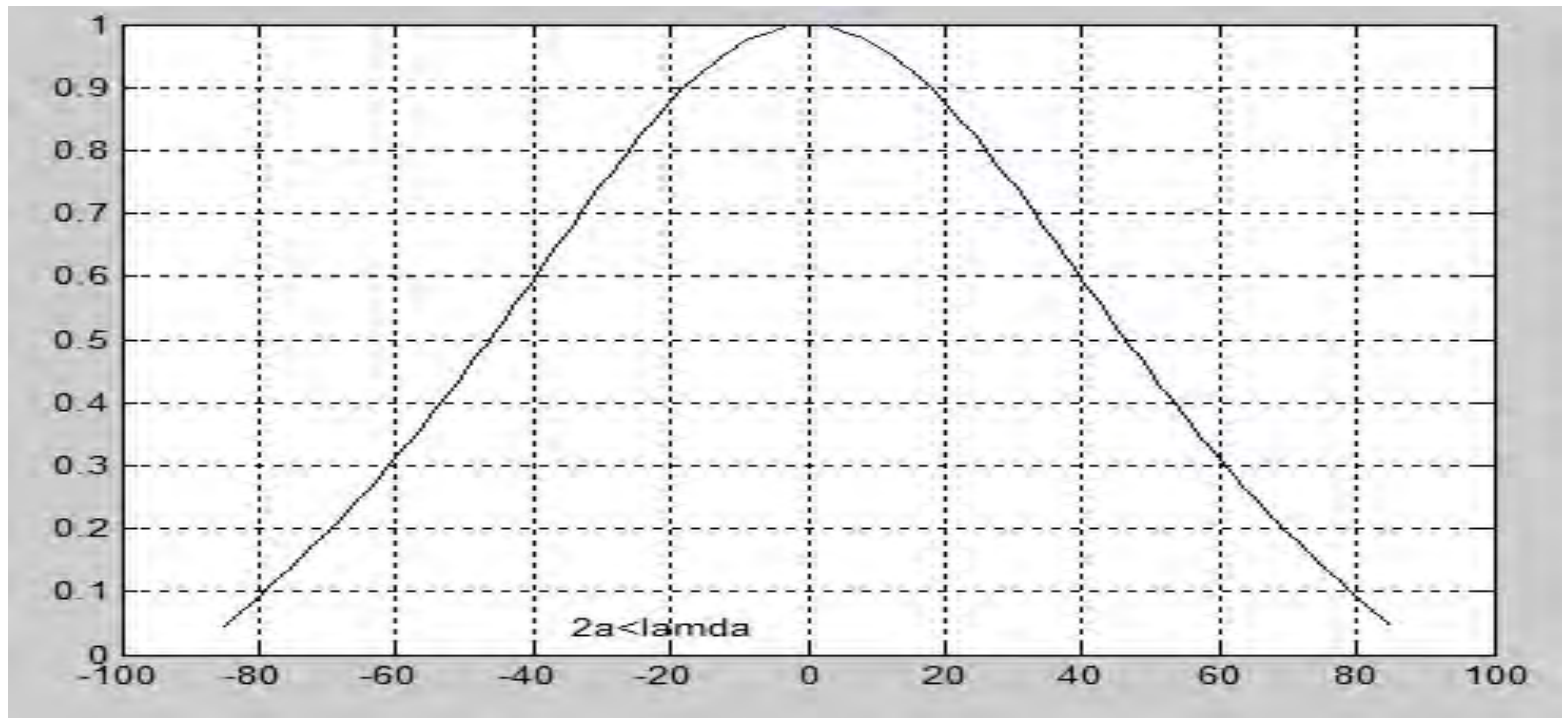


Схема прозвучування, що використовується для контролю бурильних труб



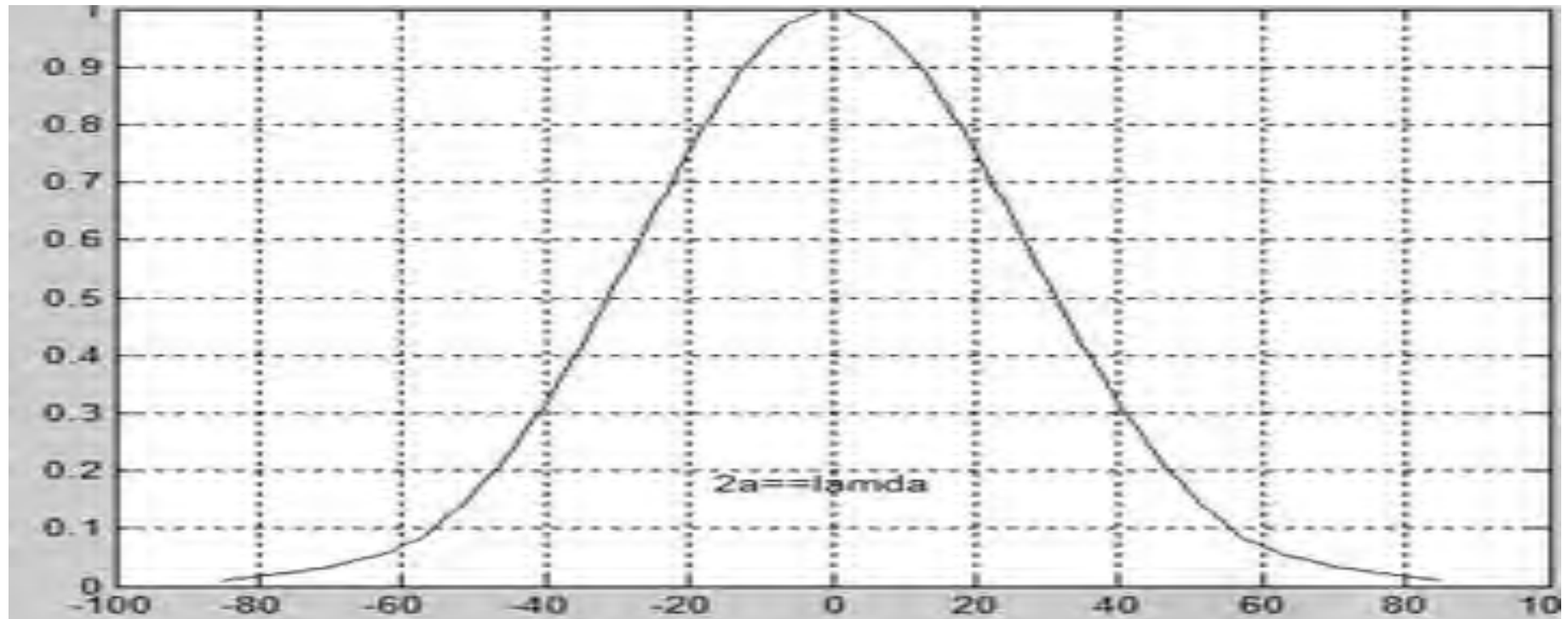
Запропонована схема прозвучування  
для контролю бурільних труб

# Моделювання



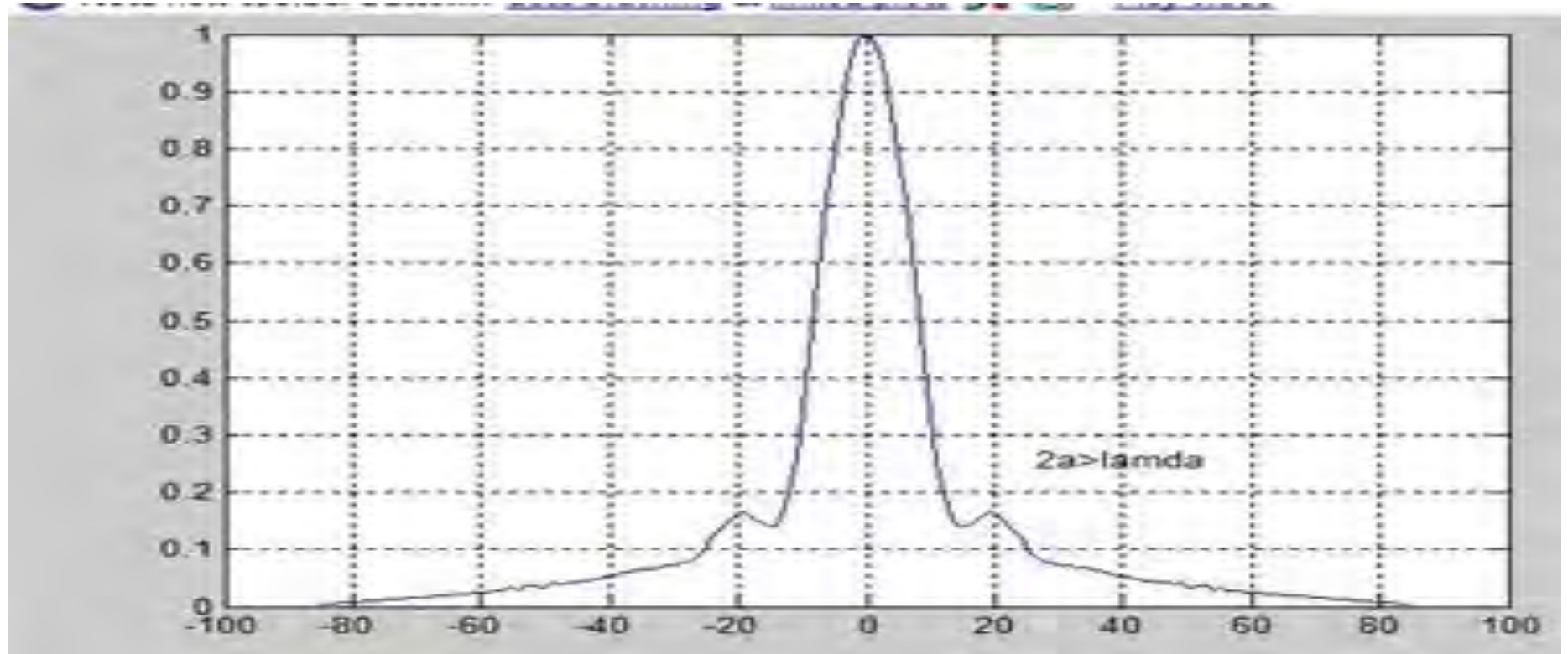
Діаграма направленості при  $d$ -крок менше довжини хвилі

# Моделювання



Діаграма направленості при  $d$ -крок дорівнює довжині хвилі

# Моделювання



Діаграма направленості при  $d$ -крок менше довжини хвилі

# Висновки

В даній дисертації було проведено дослідження по розробці автоматизованої ультразвукової системи для контролю різьбового з'єднання бурильних труб. Був обраний метод з використанням фазованої решітки, оскільки він є найефективніший для контролю бурильних труб.

Розраховано п'єзоелектричний перетворювач. Обрано кут введення згідно стандарту ISO.. 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, ПЛІС.