

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
системи та технології в приладобудуванні»  
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Акустико-емісійна система для  
автоматизованого контролю витoku рідин в трубопроводі»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) II курсу, групи ПК-11мп  
Нижник Юлія Миколаївна \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

Доцент, к.т.н., доцент,  
Галаган Роман Михайлович \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап-проекту:

Завідувач кафедри економічної кібернетики,  
Доктор економічних наук, професор,  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

Професор кафедри інформаційно-вимірювальних  
технологій, д.т.н., професор  
Защепкіна Наталія Миколаївна \_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Нижник Юлія Миколаївна**

1. Тема дисертації «Акустико-емісійна система для автоматизованого контролю витоку рідин в трубопроводі», науковий керівник дисертації Галаган Роман Михайлович, доцент, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «9» 11 2022 р. № 4110-с
2. Термін подання студентом дисертації: 15.12.2022
3. Об'єкт дослідження: магістральний трубопровід.
4. Вихідні дані: трубопровід – 500 мм, товщина стінки трубопроводу – 10 мм, діаметр датчика – 10 мм, відстань між датчиками – 100 м, частотний діапазон – 10 – 100 кГц, чутливість системи – 15 мкВ.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
  - Пояснювальна записка
  - Розрахунок п'єзоперетворювача
  - Структурна схема
  - Функціональна схема
  - Складальний кресленик
  - Електрична принципова схема

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

- Структурна схема (А3)
- Функціональна схема (А2)
- Складальний кресленик (А2)
- Деталювання (А4, А3)
- Алгоритм (А2)
- Електрична принципова схема (А0)

7. Орієнтовний перелік публікацій: 9 публікацій за темою

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конструкторський	Богдан Г.А., к.т.н., доцент, старший викладач кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю КПП ім. Ігоря Сікорського		
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О., д.е.н., проф., Завідувач кафедри економічної кібернетики КПП ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз особливостей об'єкта контролю		
2	Обґрунтування вибору об'єкту та методу		
3	Постановка завдання		
4	Вибір структурної схеми		
5	Розрахунок всіх елементів		
6	Проектування системи		
7	Оформлення магістерської дисертації		
8	Підбиття підсумків		

Студент

Юлія НИЖНИК

Науковий керівник

Роман ГАЛАГАН

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## Анотація

Магістерська дисертація студентки II курсу, групи ПК-11мп приладобудівного факультету Нижник Юлії на тему: “Акустико-емісійна система для автоматизованого контролю витоків рідин в трубопроводі”.

Магістерська дисертація складається з 97 сторінок, 40 рисунків, 27 літературних джерел.

Магістерська дисертація являє собою постановку і вирішення задачі проектування акустико-емісійної системи для виявлення тріщин в протяжному, металевому об'єкті контролю. Завданням даного проекту є розрахунок п'єзоперетворювача та електроакустичного тракту датчика для контролю витоків рідин в трубопроводі. В магістерській дисертації наведені розрахунки: геометричних розмірів блоку контролю (п'єзоелектричного перетворювача, розташування датчиків на об'єкті контролю) з урахуванням особливостей контролю, вірогідності контролю та електричних елементів. В графічній частині магістерської дисертації приведена структурна схема датчика виконана на аркуші формату А3, функціональна схема – на аркуші А2, складальний кресленик датчика – на аркуші формату А1, електрична принципова схема – на аркуші А0, та специфікації на електричну принципову схему та складальний кресленик.

**Ключові слова:** акустична емісія, магістральний трубопровід, витоків рідин, акустичні зображення.

**Мета роботи:** спроектувати автоматизовану систему, яка зможе ефективно контролювати підземні магістральні трубопроводи на предмет знаходження тріщин, що розвиваються.

**Предмет дослідження:** методи та засоби акустико-емісійного контролю цілісності магістрального трубопроводу.

**Об'єкт дослідження:** моніторинг трубопроводу.

## **Abstract**

Master's thesis of the 2nd-year student, group PK-11mp, Faculty of Instrument-Making, Yuliia Nyzhnyk, on the topic: "Acoustic-emission system for automated control of liquid leakage in the pipeline".

The master's thesis consists of 97 pages, 40 figures, 27 literary sources.

The master's thesis represents the formulation and solution of the problem of designing an acoustic-emission system for detecting cracks in a long, metal object of control. The task of this project is to calculate the piezo transducer and the electroacoustic paths of the sensor to control the leakage of liquids in the pipeline. The master's thesis contains calculations of: geometric dimensions of the control unit (piezoelectric transducer, location of sensors on the control object) taking into account control features, control probability and electrical elements. The graphic part of the master's thesis, the structural diagram of the sensor, made on a sheet of A3, a functional diagram – on a sheet of A2, a component drawing of the sensor - on a sheet of A1, an electrical schematic diagram - on a sheet of A0, and specifications for an electrical schematic diagram and a component drawing of the sensor.

**Key words:** acoustic emission, main pipeline, liquid leakage, acoustic images.

**Purpose:** to design an automated system that will be able to effectively monitor underground main pipelines for finding developing leakages.

**Subject of research:** methods and means of acoustic-emission control of the integrity of the main pipeline.

**Object of research:** pipeline monitoring.

## ЗМІСТ

<u><b>ВСТУП</b></u> .....	5
<u><b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД</b></u> .....	7
<u><b>1.1 Аналіз об’єкта контролю</b></u> .....	7
<u><b>1.1.1 Конструкція трубопроводів</b></u> .....	8
<u><b>1.1.2 Дефекти трубопроводів</b></u> .....	13
<u><b>1.1.3 Джерела сигналів в об’єкті контролю</b></u> .....	19
<u><b>1.1.4 Обґрунтування вибору об’єкта контролю</b></u> .....	22
<u><b>1.2 Аналіз методів і засобів акустико емісійного контролю</b></u> .....	22
<u><b>1.2.1 Засоби акустико-емісійного контролю</b></u> .....	22
<u><b>1.2.2 .....Основні інформативні параметри сигналів акустичної-емісії</b></u> .....	28
<u><b>РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА</b></u> .....	32
<u><b>РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ЕЛЕМЕНТІВ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ</b></u> .....	47
<u><b>3.1 Структурна схема</b></u> .....	47
<u><b>3.2 Функціональна схема</b></u> .....	49
<u><b>3.3. Підбір та розрахунок елементів принципової схеми</b></u> .....	50
<u><b>3.3.1 Попередній та основний підсилювачі</b></u> .....	50
<u><b>3.3.2 Смуговий фільтр</b></u> .....	52

						<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Нижник Ю.М.			Акустико-емісійна система для автоматизованого контролю витоку рідин в трубопроводі	Літ.	Арк.	Аркуші в
Перевір.		Галаган Р.М.				3	100	
Н.Контр.						ПБФ, ПК-11мп		
Затверд.		Галаган Р.М.						

<u>3.3.3 Аналогово-цифровий перетворювач</u> .....	54
<u>3.3.4 Пам'ять (FIFO – First in first out)</u> .....	56
<u>3.3.5 Мікропроцесор</u> .....	57
<u>РОЗДІЛ 4. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ</u> .....	59
<u>4.1 Обробка даних на базі штучного інтелекту</u> .....	60
<u>4.2 Метод пошуку координат дефекту</u> .....	64
<u>РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ВИТОКУ РІДИН В ТРУБОПРОВІДІ»</u> .....	66
<u>5.1 Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту</u> .....	66
<u>5.2 Аналіз ринкових можливостей стартап-проекту</u> .....	70
<u>5.3 Розробка MVP</u> .....	79
<u>5.4 Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проекту</u> .....	80
<u>5.5 Висновок до розділу</u> .....	87
<u>ВИСНОВОК</u> .....	89
<u>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</u> .....	91

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		4

## ВСТУП

Ще тисячі років тому гончарі слухали звуки, що лунали з кераміки під час охолодження, як прогноз цілісності структури, плавильники задокументували характерний «олов'яний плач», а перський алхімік повідомляв про звуки, які видають мідь і залізо [1]. Іноді такі звуки гучні й очевидні, проте в інших випадках вони недоступні для людського вуха, і щоб їх виявити, потрібно використовувати спеціалізоване обладнання. Сьогодні ми називаємо такі явища акустичною емісією (АЕ): генерація пружних хвиль, зумовлена раптовою зміною в структурі матеріалу [2]. Сигнал акустичної емісії дефектів трубопроводу містить в собі інформацію про витік [12]. Датчики акустичної емісії виявляють турбулентний потік в отворі та за допомогою цифрових систем АЕ, спеціалізованого програмного забезпечення визначається місцезнаходження витоку.

В даному проекті розглянемо використання автоматизованої системи акустико-емісійного контролю на прикладі трубопроводів.

Сучасні водопровідні, каналізаційні та газотранспортні мережі забезпечують всі господарські та промислові потреби шляхом доставки води, відведенням стоків, транспортуванням природного газу. Без таких найскладніших транспортних систем світ залишився би без цивілізації, тому необхідно належним чином перевіряти стан мереж та модернізувати.

Одним з найкращих варіантів моніторингу стану транспортних мереж є використання методів неруйнівного контролю, проте проведення повного обстеження трубопроводів стандартними неруйнівними методами - це багатоетапний комплекс технологічних заходів, що часто включає процедури

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>5</b>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



зливу вмісту, зачистки від залишків, видалення вибухонебезпечних газів, що потребує чимало фінансових, часових та людських ресурсів. Для оптимізації зазначених витрат активно використовуються діагностичні системи на основі АЕ.

За дослідженим джерелом [3], в світі спостерігається збільшення ринку пристроїв неруйнівного контролю і в особливості акустико-емісійного обладнання через розвиток інфраструктури та обладнання в країнах, що розвиваються, і їх старіння в розвинених країнах. Також розвиток технологій в апаратному і програмному забезпеченні дозволили модернізувати обладнання для акустичної емісії, а за допомогою автоматичної аналітики великих об'ємів даних на базі штучного інтелекту з'являється можливість повної автоматизації процесу контролю об'єктів такої критичної інфраструктури як трубопроводи. Тому задача розробки автоматизованої акустико-емісійної системи для контролю трубопроводів є перспективним напрямом роботи.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>6</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Аналіз об'єкта контролю

Згідно з темою магістерської дисертації об'єктом контролю даного проекту є металеві трубопроводи для транспортування рідини, наприклад, води, нафти та рідкого аміаку.

У випадку з нафтою та аміаком витік спричинить техногенну катастрофу для навколишнього середовища. Витоки з трубопроводу стають помітними, тільки коли відбувається значна зміна тиску або коли виявляють втрату технологічної речовини. Зазвичай у таких випадках критично важливий час витрачається на визначення факту та пошуку розташування витрачають витоку, проте маючи дану інформацію з самого початку можна запобігти поширенню наслідків. Однак навіть у найкращому випадку, коли оператори можуть одразу ізолювати конкретні ділянки трубопроводу, які підозрюють у витоку, складно визначити точне місцезнаходження дефекту, щоб одразу вжити заходів щодо усунення.

Акустична емісія є практичним інструментом для виявлення та локалізації витоків у заглиблених та наземних трубопроводах. Доступ до трубопроводу потрібен тільки локально для монтажу датчиків АЕ, при постійному моніторингу є можливість максимально швидко реагувати на проблему та досить точно визначити місце розташування витоку.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>7</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

### 1.1.1 Конструкція трубопроводів

Трубопровід — це система труб, призначена для транспортування таких рідин, як вода, нафта, природний газ або інші нафтопродукти, на великі відстані, часто розташовані під землею. Це дуже важлива частина сучасної цивілізації, яка вже тисячоліттями використовується для транспортування рідин.

Трубопровід складається зі щільно з'єднаних труб і насосних станцій, обладнаних арматурою, системами корозійного та електрохімічного захисту й контрольної-вимірювальною апаратурою, установок підготовки до транспортування та прийому продукту (початковий та кінцевий термінали).

При виборі матеріалів для виготовлення трубопроводів, беруться до уваги такі показники, як характеристики речовини, що перекачується, робочий тиск та враховується можливість корозійного впливу з боку зовнішнього середовища на матеріал стінок труби.

Практично всі трубопровідні системи виробляються зі сталі. Розглянемо умови використання різних видів сталей:

- для загального застосування в разі відсутності високих механічних навантажень і корозійної дії для виготовлення трубопроводів використовується сірий чавун або нелеговані конструкційні сталі;
- при підвищеному робочому тиску і відсутності навантажень з корозійною активною дією застосовується трубопровід з поліпшеної сталі або з використанням сталевого лиття;
- якщо корозія значна або до чистоти продукту висунуті високі вимоги, то трубопровід виготовляється з нержавіючої сталі;
- якщо трубопровід повинен бути стійкий до впливу морської води, то для його виготовлення використовуються міднонікелеві сплави.

Також можуть застосовуватися алюмінієві сплави і такі метали як тантал або цирконій.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>8</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Все більшого поширення як матеріалу трубопроводу отримують різні види пластмас, що обумовлюється їх високою стійкістю до корозії, малою вагою і легкістю в обробці, проте пластикові труби знайшли ширше використання в побуті.

Транспортовані продукти за ступенем агресивності поділяють на неагресивні, малоагресивні (швидкість корозії не перевищує 0,1 мм на рік), середньоагресивні (0,1–0,5 мм на рік) та високоагресивні (понад 0,5 мм на рік). Трубопроводи для агресивних середовищ споруджують із труб із підвищеною товщиною стінки або застосовують труби з високолегованих сталей.

Трубопроводи розрізняють:

- за способом прокладання — наземні, підземні та комбіновані;
- за способом з'єднання елементів — нерозбірні (зварені) та розбірні (на фланцевих, швидкокорозійних та розтрубних з'єднаннях);
- за функціональним призначенням — технологічні, промислові та магістральні;
- за видом транспортованого матеріалу — газопроводи, нафтопроводи, вуглепроводи, трубопроводи для транспортування руд чорних та кольорових металів, ґрунтів, сировини для хімічної та будівельної промисловості, контейнерів тощо (трубопроводи, що переміщують продукти переробки корисних копалин, продукції різних виробництв та промислових відходів, іноді об'єднують у групу продуктопроводів: бензопровід, аміакопровід, концентратопровід, золопровід);
- за тиском — вакуумні (нижче 0,1 МПа), низького (0,1–1,5 МПа), середнього (1,6–10 МПа) і високого (понад 10 МПа) тиску [5];
- По номінальному діаметру (DN) труб:
  - I - 1000-1200 мм;
  - II – 500-1000 мм;

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>9</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

III – 300-500 мм;

IV – менше 300 мм.

Від впливу зовнішнього середовища трубопроводи захищають покриттями (рис.1.1) (лакофарбовими, бітумними, емалевими, поліетиленовими, на основі епоксидних смол). Для перекачування гарячих та низькотемпературних середовищ трубопроводи обладнують тепловою ізоляцією. Підземні трубопроводи для зменшення ґрунтової корозії та впливу блукаючих струмів оснащують засобами електрохімічного захисту.



Рисунок 1.1. Ізоляція трубопроводів

Для витоків рідин з трубопроводу проведення акустико-емісійного контролю має наступний вигляд: датчики АЕ виявляють турбулентний потік в отворі витоку, далі за допомогою цифрових систем АЕ та спеціалізованого програмного забезпечення визначається місцезнаходження витоку. Оскільки загальні принципи проведення акустико-емісійного виду контролю для різних рідин, які транспортуються трубопроводами, подібні, то в даній магістерській дисертації розглянемо систему акустико-емісійного контролю для витоків рідин з трубопроводу на прикладі магістрального трубопроводу нафти, води та аміаку.

Водопровід (рис. 1.2) використовується для транспортування води з очисних споруд до будівель, за будівельними нормами тиск в системі холодного

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>10</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

водопостачання знаходиться в межах 0,03 – 0,5 МПа (вакуумні трубопроводи). Як правило, такі трубопроводи встановлюються під землею (підземний спосіб прокладання) на декількох метрах під містами та вулицями, виходячи з лінії промерзання, місця розташування та необхідності захисту від випадкового пошкодження. Ці труби можуть виготовлятися зі сталі, ковкого чавуну і бетону.



Рисунок 1.2. Ремонт магістрального водогону (Львівська область)

Нафтопроводи (рис.1.3) виготовляють зі сталі, на яку нанесено зовнішнє покриття та катодний захист для зниження зовнішньої корозії, зазвичай з'єднуються між собою зварюванням. Робочий тиск в нафтопроводі має бути не більше 2,5 Мпа (трубопроводи середнього тиску).

Існує два типи нафтопроводів, а саме: нафтопровід, який транспортує сиру нафту до нафтопереробних заводів, і продуктопровід, який транспортує продукти переробки, наприклад бензин, на ринок [6]. Нафтопровід «Дружба» має діаметр 1 м та простягається на 4000 км. Зазвичай товщина стінок нафтопроводу становить 8 – 20 мм.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>11</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



Рисунок 1.3. Транзитний нафтопровід «Дружба»

Аміакопроводи (рис.1.4) незалежно від тиску та температури, належать до категорії I (надзвичайно небезпечні речовини). При діаметрі умовного проходу до 40 мм застосовують безшовні холоднотягнуті труби, при великих діаметрах - гарячекатані безшовні. При температурі експлуатації вище - 40 °С використовують труби, виготовлені зі сталі 20. Потужність аміакопроводу до 2,5 млн тонн на рік.

Аміак знаходиться у рідкому стані під тиском до 35 атмосфер (3,5 Мпа – це трубопроводи середнього тиску) з температурою 4 °С. Для запобігання корозії в аміак додано 0,4 % води. Діаметр виготовленої у Франції труби 355 мм, товщина 8 мм, вона пролягає на глибині 1,4 м (порівняно з 0,8 м для нафтопроводів)[11].



Рисунок.1.4 Транзитний аміакопровід “Тольятті-Одеса”

Зараз загальна протяжність українських водопровідних мереж становить більше 104 тисяч кілометрів, більше третини з яких знаходяться в аварійному

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>12</b>



стані. Протяжність каналізаційних комунікацій - 34 тис. км, водночас аварійними визнали до 40% цієї довжини. Сучасні сталеві труби, на які поступово замінюються застарілі водопровідні та каналізаційні мережі, дозволяють без особливих проблем експлуатувати ці комунікації ще кілька десятків років [4].

Герметичність трубопроводу є важливою громадською проблемою, яку можна вирішити за допомогою неруйнівних методів контролю, в тому числі за допомогою акустико-емісійного методу.

### 1.1.2 Дефекти трубопроводів

Дефект магістрального трубопроводу - це відхилення від базового стану параметрів герметичності труби, зварного шва, якості матеріалу труби, що не відповідає вимогам чинних нормативних документів, що виникають при виготовленні труби, будівництві або експлуатації трубопроводу. Загальна статистика причин виникнення дефектів зображена на рисунку 1.5 [7].



Рисунок 1.5. Причини виникнення дефектів у трубопроводі

#### Класифікація дефектів трубопроводу:

##### 1) Дефект геометрії труби

До дефектів геометрії труб відносяться: вм'ятини (рис. 1.6), гофри

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>13</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



(рис. 1.7), овальності (рис. 1.8).

Вм'ятини – це локальні зменшення прохідного перерізу труби внаслідок механічного впливу, у якому немає зламу осі трубопроводу.



Рисунок 1.6. Дефект типу вм'ятини на трубопроді

Гофра – це поперечні випуклості, що чергуються, і увігнутості стінки труби, що призводять до зламу осі і зменшення прохідного перерізу.

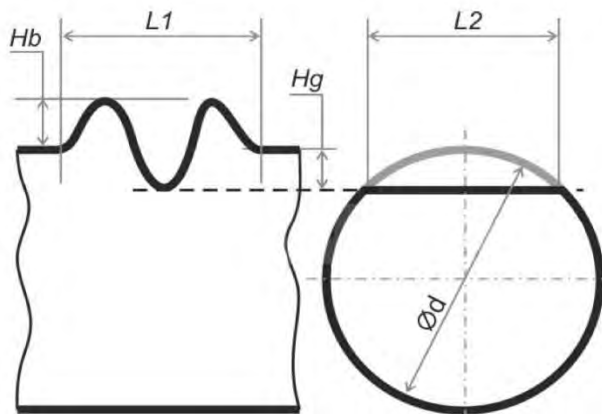


Рисунок 1.7. Дефект типу гофра на трубопроді

Овальність – дефект, у якому перетин труби має відхилення від циліндричної форми, а найбільший і найменший діаметри перебувають у взаємно перпендикулярних напрямках.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>14</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



Рисунок 1.8. Дефект типу овальність на трубопроді

## 2) Дефекти стінки труби

До дефектів стінки труби відносяться: втрату метала (рис. 1.9), риски (рис.1.10 (1)), розшарування (рис.1.10 (2)), тріщини (рис.1.11).

Втрата метала – це зміна номінальної товщини стінки труби, що характеризується локальним зтоншенням металу у результаті механічного чи корозійного пошкодження або зумовлене технологією виготовлення.

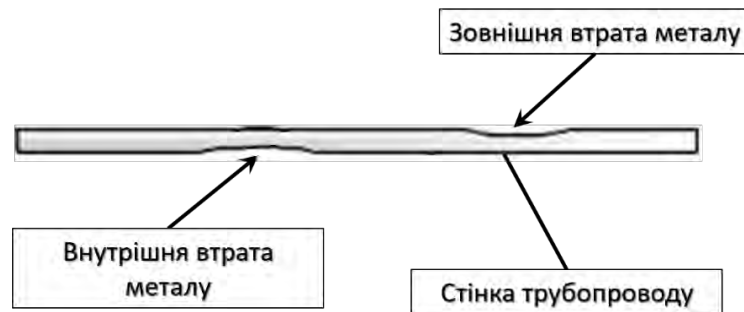


Рисунок 1.9. Дефект типу втрата металу на трубопроді

Риска – втрата металу, що сталася внаслідок взаємодії стінки труби з твердим тілом при взаємному переміщенні.

Розшарування – несплошність металу стінки труби.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>15</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

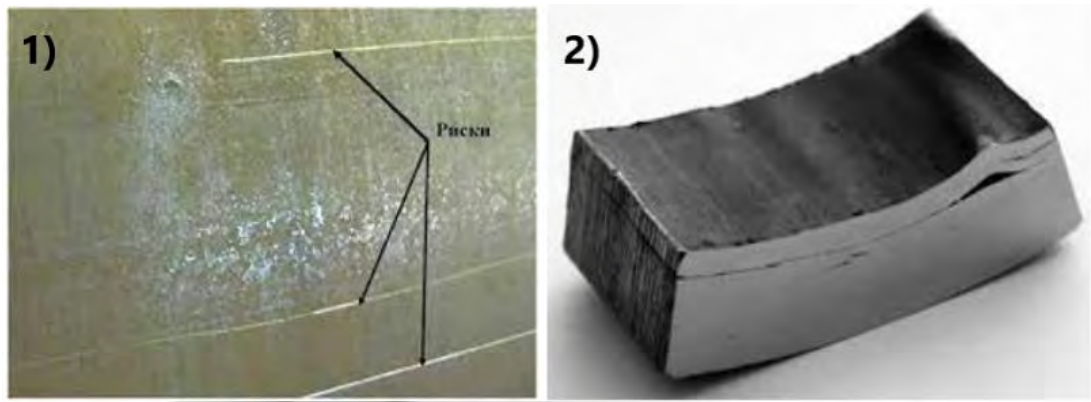


Рис.1.10 Дефект типу втрата металу (1) та розшарування(2)  
на трубопроді

Тріщини – щілиноподібні дефекти довільної, невизначеної форми, з гострими краями.

Один з видів тріщин – це корозійне розтріскування виникає під напругою на магістральних трубопроводах наведено на рисунку 1.11.

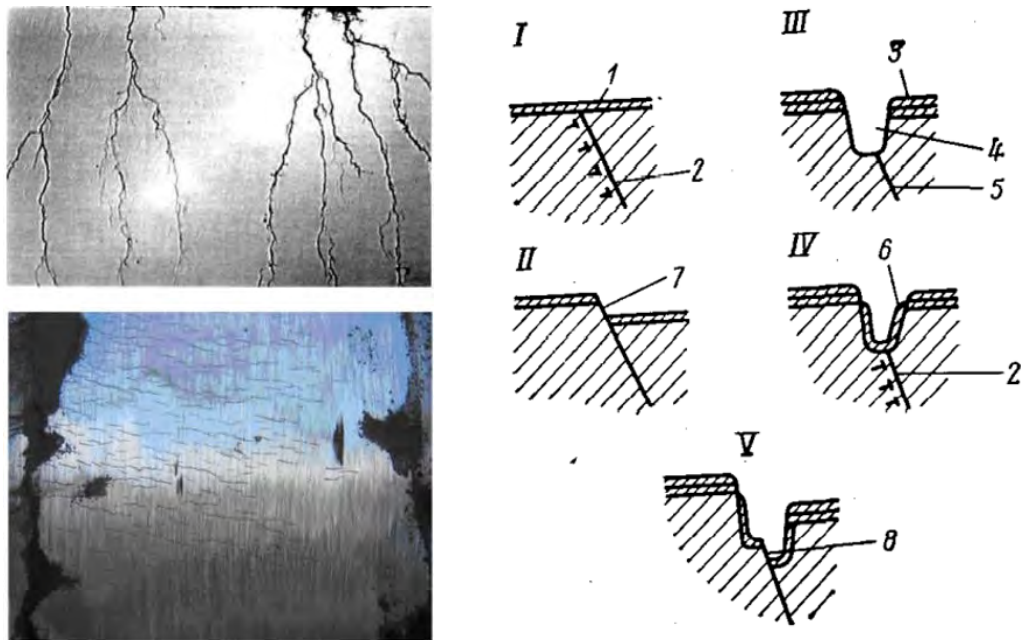


Рис.1.11 Стадії зростання тріщин корозії ( I – V ) під напругою за структурними механізмами перебудови матеріалу: 1 – оксидний шар; 2 – площина ковзання; 3 – продукти корозії; 4 – освіта мікропорожнини напруг; 5 – площина ковзання початковому стані;

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

6 – перехід у пасивне стан; 7 – незахищена поверхню металу; 8 – руйнування захисної плівки та подальше зростання тріщини [18].

### **3) Дефекти зварних з'єднань**

Дефекти зварного з'єднання – це дефекти безпосередньо у зварному шві чи навколошовній зоні: тріщини, непровари, несплавлення, пори, шлакові включення, подрізи тощо. На рисунку 1.12 та 1.13 зображено дефекти зварного з'єднання:

а) Наплив – утворюються в разі дуже швидкого плавлення електрода і натікання рідкого металу на недостатньо нагріту поверхню основного металу.

б) Подрізи – зменшення товщини основного металу в місцях переходу до наплавленого. Вони знижують міцність шва.

в,г) Непровар кореня шва зменшує переріз металу і знижує міцність з'єднання.

д) Пористість утворюється внаслідок поганого очищення крайків від масла, фарби та ін., під час згоряння яких утворюються гази, що пінять метал.

е,ж) Тріщини – найнебезпечніші дефекти зварного шва. Вони можуть виникати як при зварюванні – гарячі, так і після нього – холодні. Найчастіше тріщини з'являються в зоні термічного впливу через дуже великі напруження. Тріщини можуть бути зовнішніми та внутрішніми, розміщуватись вздовж або поперек шва. Тріщини недопустимі, тому їх необхідно вирубати і заварити знову. Найпоширенішим методом контролю зварних швів на сьогодні є ультразвуковий, що обумовлено великою кількістю методик контролю, номенклатурою типів датчиків та їх розмірів [23].

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>17</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

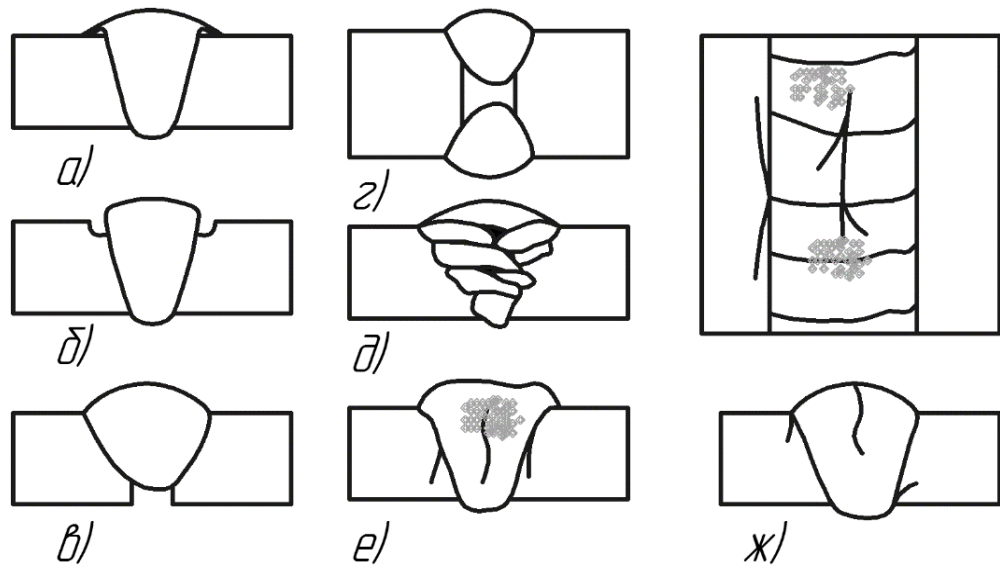


Рисунок 1.12. Дефекти зварного з'єднання



Рисунок 1.13. Дефект зварного з'єднання: підріз та тріщина

Такі дефекти, як внутрішня та зовнішня корозія, вм'ятини та виїмки, регулярно зустрічаються в нафто- та водопроводах. У більшості випадків ці дефекти незначні і не впливають на цілісність і безпеку трубопроводу, але коли дефекти критичні необхідно швидко реагувати, щоб уникнути катастрофи. Отже, потрібен надійний спосіб виявлення та класифікації дефектів, які є критичними та потребують ремонту, а які не варті витрати ресурсів та зусиль.

Розглянемо класифікацію та запропоновані дії у разі виявлення різних типів дефектів в таблиці 1 [9].

Таблиця 1.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Тип джерела акустичної емісії	Клас джерела	Дії оператора
Пасивний	I	Реєструють для обліку в майбутніх випробуваннях і аналізу динаміки розвитку
Активний	II	Реєструють і слідкують за розвитком ситуації в процесі проведення контролю. Відмічають в звіті і проводять додатковий контроль з використанням інших методів НК.
Критичний активний	III	Реєструють і слідкують за розвитком ситуації в процесі проведення контролю. Проводять заходит по підготовці зменшення навантаження. Відмічають в звіті і проводять додатковий контроль з використанням інших методів НК.
Катастрофічний активний	IV	Проводять повільне зменшення навантаження. Оглядають ОК та за необхідності проводять контроль іншими методами НК.

За допомогою методу акустичної емісії можна виявити більшість описаних вище дефектів, саме тому даний метод активно розвивається в напрямку контролю мереж трубопроводів. В даній роботі буде проектуватися акустико-емісійна система для контролю дефекту типу тріщина, щоб проводити контроль інших видів дефектів потрібно провести додаткові розрахунки та незначні зміни системи.

### 1.1.3 Джерела сигналів в об'єкті контролю

Залежно від фізичної джерела прийнято виділяти такі основні види АЕ:

1. Акустична емісія матеріалу - викликана локальною динамічною перебудовою структури матеріалу;
2. Акустична емісія витoku спричинена гідродинамічними та (або) аеродинамічними явищами при протіканні рідини або газу через наскрізну щілину об'єкта випробувань;
3. Акустична емісія тертя спричинена тертям поверхонь твердих тіл;

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>19</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

4. Акустична емісія при фазових перетвореннях - пов'язана з фазовими перетвореннями в речовинах і матеріалах;

5. Магнітна акустична емісія - пов'язана з випромінюванням звукових хвиль при перемагнічуванні матеріалів;

6. Акустична емісія радіаційної взаємодії виникає внаслідок нелінійної взаємодії випромінювання з речовинами та матеріалами;

7. Акустична емісія при хімічних та електрохімічних реакціях - виникає в результаті протікання хімічних та електрохімічних реакцій, включаючи різноманітні корозійні процеси.

З перелічених видів АЕ найбільше застосування для контролю промислових об'єктів знайшли види 1-3 [10].

Розглянемо акустичну емісію витоку, турбулентність спричинена потоком рідини під тиском через отвір, створює енергетичні хвилі як звукової, так і ультразвукової частот. На рисунку 1.14 представлені деякі фізичні особливості, пов'язані з потоком витоку та впливають на нього.

У всіх випадках контролю трубопроводу з рідиною загальноприйнятим є те, що АЕ може бути створено дуже нестабільним тиском турбулентного поля на отвір, а умовою виявлення є те, що число Рейнольдса на отворі має бути  $Re > 1000$ , щоб забезпечити турбулентний потік [8].

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>20</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



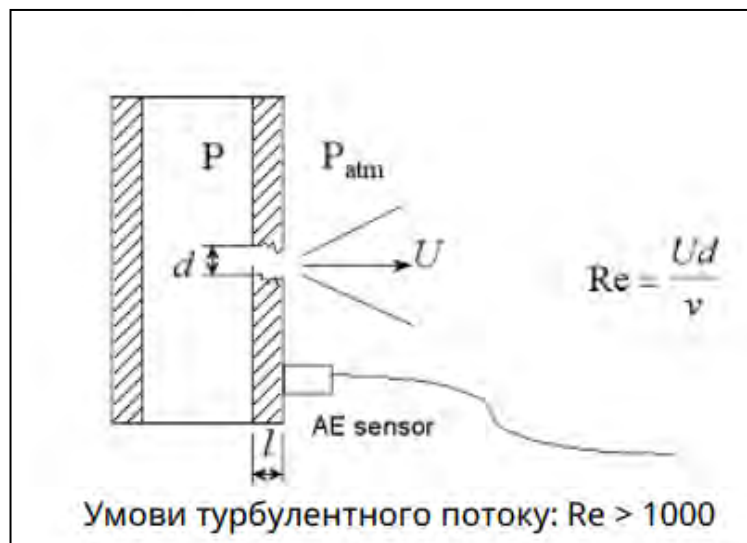


Рисунок 1.14. Характеристики течії, де

$U$  – середня швидкість проходження рідини через отвір,  
 $d$  – середній діаметр отвору,  $l$  – довжина отвору,  
 $\nu$  – кінематична в'язкість рідини,  $P$  – тиск всередині трубопроводу,  
 $P_{atm}$  – атмосферний тиск,  $Re$  - число Рейнольдса.

Отже, джерела, які можуть спричинити АЕ у випадку витoku – це локальне зростання тріщини/отвору, кавітація внаслідок місцевого зниженого тиску на отворі, тимчасові захоплення та удари твердих частинок неподалік отвору, рух ґрунту або навіть зовнішні джерела, такі як удари тощо. Джерелами акустичної емісії також можуть виступати процеси розвитку тріщин, перехід матеріалу до пластичного стану, процеси пов'язані з тертям берегів тріщини, руйнування продуктів корозії в порожнині тріщини, турбулентні чи кавітаційні режими руху робочої речовини такі, як розущільнену запірної арматури, фланців чи заглушок, руйнування та відшарування шлакових включень, електрохімічна корозія.

Генеровані хвилі АЕ від таких джерел поширюються через рідину або через сам трубопровід. Датчики акустичних випромінювань, що працюють у діапазоні від 20 до 100 кГц, встановлені на трубопроводі, контролюють як безперервні, так і вибухові випромінювання шляхом одночасного моніторингу даних.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>21</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Метод акустичної емісії дозволяє робити обґрунтовані висновки не тільки про вже наявні отвори в трубопроводі, а також про процеси зародження та розвитку небезпечних ушкоджень і, зрештою, про технічний стан контрольованого об'єкта.

#### **1.1.4 Обґрунтування вибору об'єкта контролю**

Небажані втрати рідини через витоки в трубопроводах становлять одну з найбільших проблем на промислових підприємствах, нафтопереробних заводах, електростанціях, для інфраструктури міст і, загалом, у будь-якому місці, де переміщуються або зберігаються рідини, іноді з величезними екологічними та економічними наслідками, саме тому трубопроводи повинні піддаватися регулярному, а в деяких випадка постійному контролю на герметичність та для попередження появи дефектів.

У всіх випадках контролю трубопроводу з рідиною загальноприйнятим є те, що сигнали акустичної емісії можуть бути створені, тільки розвиваючимися дефектами та дуже нестабільним тиском турбулентного поля на отвір, оскільки загальні принципи проведення акустико-емісійного виду контролю для різних рідин, які транспортуються трубопроводами, подібні, то в даній магістерській дисертації розглянемо систему акустико-емісійного контролю для витоків рідин з трубопроводу на прикладі магістрального трубопроводу нафти.

### **1.2 Аналіз методів і засобів акустико емісійного контролю**

#### **1.2.1 Засоби акустико-емісійного контролю**

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>22</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Випробування акустичної емісії можна проводити в польових умовах за допомогою портативних приладів або в стаціонарних лабораторних умовах. Зазвичай системи містять датчик, попередній підсилювач, фільтр і підсилювач, а також обладнання для вимірювання, відображення та зберігання (наприклад, осцилографи, вольтметри та персональні комп'ютери). Датчики акустичної емісії (рис. 1.15) реагують на динамічний рух, викликаний подією АЕ. Це досягається за допомогою перетворювачів, які перетворюють механічний рух в сигнал електричної напруги.

Елементом перетворювача в датчику АЕ майже завжди є п'єзоелектричний кристал, який зазвичай виготовляється з кераміки, наприклад, цирконату свинцю (PZT). Перетворювачі вибираються на основі робочої частоти, чутливості та характеристик навколишнього середовища і поділяються на два класи: резонансні та широкосмугові.

Більшість обладнання АЕ реагує на рух у своєму типовому робочому діапазоні частот від 30 кГц до 1 МГц. Для матеріалів з високим загасанням (наприклад, пластикових композитів) можна використовувати нижчі частоти, щоб краще розрізнити сигнали АЕ і навпаки.

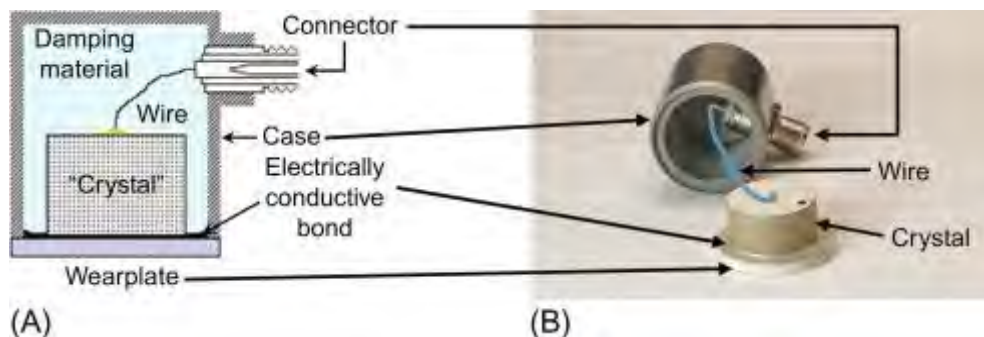


Рисунок 1.15. Будова датчика АЕ

Комп'ютери використовуються для зображення та оцінки результатів акустичної емісії. В ідеальному випадку сигнал АЕ, який надходить в систему, не буде містити фонових шумів та електромагнітних перешкод. В реальних умовах контролю така ситуація неможлива, однак вірно спроектована схема обробки

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

сигналу (рис.1.16) - датчики та попередні підсилювач, майже повністю усувають небажані сигнали виділяючи тільки інформаційні.

По-перше, попередній підсилювач збільшує напругу, щоб забезпечити посилення та можливість кабельного приводу. Щоб мінімізувати перешкоди, попередній підсилювач розміщений близько до перетворювача. Насправді, сьогодні багато перетворювачів оснащені інтегрованими попередніми підсилювачами. Далі сигнал передається на смуговий фільтр для усунення низьких частот (загальних для фонового шуму) і високих частот. Після завершення цього процесу сигнал потрапляє на подальшу схему обробки акустичної системи і, зрештою, на комп'ютер або подібний пристрій для аналізу та зберігання. Залежно від умов шуму може знадобитися подальша фільтрація або підсилення.

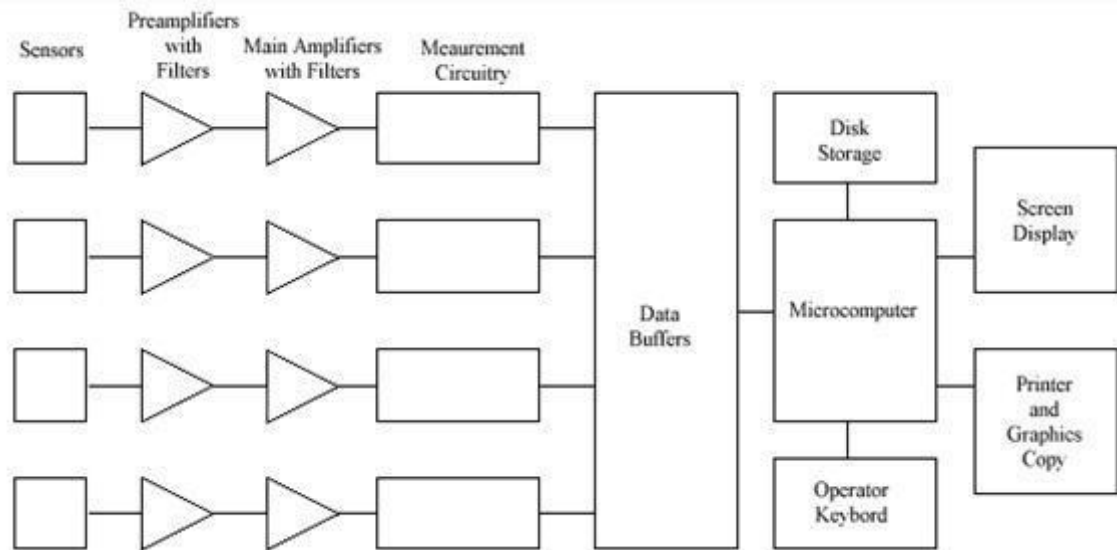


Рисунок 1.16 Структурна схема базової чотирьоканальної системи акустичної емісії

Після проходження основного блоку системи АЕ сигнал надходить до схеми виявлення/вимірювання, як показано на малюнку 1.16 вище. Варто взяти до уваги, що схеми з кількома вимірюваннями можна використовувати в системах з кількома датчиками/канальними для цілей розташування джерела.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>24</b>

Найпростіший варіант аналізу результатів контролю, коли в схемі вимірювання форма умовного сигналу порівнюється з пороговим значенням напруги, яке було запрограмовано оператором. Сигнали бувають або безперервними (аналогічні гауссовому, випадковий шум з амплітудою, що змінюється залежно від величини подій АЕ), або пакетного типу.

Кожного разу, коли порогова напруга перевищено, схема вимірювання випускає цифровий імпульс. Перший імпульс використовується для позначення початку удару. (Звернення використовується для опису події АЕ, яка виявляється певним датчиком. Одна подія АЕ може призвести до того, що система з численними каналами записує кілька звернень.) Імпульси продовжуватимуть генеруватися, поки сигнал перевищує порогову напругу. Після того, як цей процес зупиниться на заздалегідь визначений проміжок часу, удар завершується (що стосується схеми). Дані з попадання потім записуються, і ланцюг вимірювання скидається.

Основним обмеженням застосування методу є складність виділення сигналів АЕ на фоні акустичних шумів і електромагнітних завад, тому в сучасних системах використовують технології штучного інтелекту для аналізу даних.

Метрологічною особливістю методу є неможливість відтворення результатів контролю в повторних випробуваннях. Максимальна ефективність застосування методу досягається на протяжних об'єктах з грубо обробленою поверхнею і довільним розташуванням або орієнтацією дефектів, що розвиваються.

Метод АЕ рекомендується використовувати для контролю промислових об'єктів за такими схемами, які представляють собою, як правило, варіанти поєднання з іншими методами неруйнівного контролю:

1. Проведення АЕ-контролю об'єкту.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>25</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

У разі виявлення джерел АЕ в місці їх розташування проводять додатковий контроль одним з регламентованих методів неруйнівного контролю: ультразвуковим, радіаційним, магнітним тощо. Дану схему рекомендується використовувати при контролі об'єктів, що знаходяться в експлуатації. При цьому скорочується обсяг застосовуваних методів НК, оскільки в разі використання регламентованих методів необхідне проведення сканування по всій поверхні (об'єму), що контролюється.

## 2. Проведення контролю одним або декількома методами НК.

При виявленні неприпустимих (за регламентованими нормами методів контролю) дефектів або при виникненні сумніву в достовірності застосовуваних методів НК проводять контроль об'єкта з використанням методу АЕ. Остаточне рішення про допуск об'єкта в експлуатацію або ремонті виявлених дефектів приймають за результатами проведеного АЕ контролю.

## 3. Моніторинг стану об'єкту контролю.

У разі наявності в об'єкті дефекту, виявленого одним з методів НК, метод АЕ використовують для відстежування розвитку дефекту. При цьому може бути використаний економний варіант системи контролю, із застосуванням одноканальної або малоканальною конфігурацією акустико-емісійної апаратури.

## 4. Супроводжуючий метод контролю

Метод АЕ відповідно до вимог нормативно-технічних документів до експлуатації посудин, що працюють під тиском, застосовують при пневмовипробуваннях об'єкта в якості супроводжуючого методу, що підвищує безпеку проведення випробувань. У цьому випадку метою застосування АЕ контролю служить забезпечення попередження можливості катастрофічного руйнування. Рекомендується використовувати метод АЕ як супроводжуючий методу і при гідровипробуванні об'єктів.

## 5. Оцінка залишкового ресурсу об'єкту контролю

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>26</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Метод АЕ може бути використаний для оцінки залишкового ресурсу та вирішення питання щодо можливості подальшої експлуатації об'єкта. Оцінка ресурсу проводиться з використанням спеціально розроблених методик, погоджених в установленому порядку. При цьому достовірність результатів залежить від обсягу і якості інформації про моделі розвитку пошкоджень і стану матеріалу контролюваного об'єкта.

Наукові та технічні роботи в області НК методом АЕ проводяться в двох основних напрямках.

До першої групи робіт відносяться дослідження, спрямовані на створення нової записуючого устаткування і більш чутливих перетворювачів. Отримані результати носять прикладний характер і визначаються сучасними потребами промисловості. Сучасні мікропроцесорні системи дозволяють проводити АЕ випробування з цифровою обробкою сигналів в реальному масштабі часу.

Метою другого напрямку наукових робіт є отримання методів і алгоритмів визначення динамічних характеристик розвитку дефектних структур на основі аналізу їх АЕ сигналів. Основна увага дослідників направлено на вивчення механізмів випромінювання АЕ тріщинами, процесів поширення імпульсів в ОК, аналіз зв'язку параметрів сигналів з властивостями тріщини.

Модель формування одиничного імпульсу АЕ і її аналітичні вирази дозволяють представити ряд можливостей :

- Зв'язати параметри імпульсу АЕ з параметрами процесу руйнувань;
- Пояснити ряд характерних особливостей форми одиничного імпульсу АЕ;
- Створити модель повного сигналу АЕ як випадкового імпульсного процесу;
- Виконати постановку задачі створення оптимального приймача АЕ-сигналів;

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>27</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

- Провести аналіз акустичного і електроакустичного тракту об'єктів і АЕ-систем;
- Сформувати базу для створення системи класифікації джерел АЕ і складання критеріїв оцінки стану об'єктів.

### 1.2.2 Основні інформативні параметри сигналів акустичної-емісії

Серед великого значення параметрів зареєстрованих сигналів АЕ існує п'ять найбільш широко використовуваних. До них відносяться число осциляцій, амплітуда, тривалість, час наростання сигналу і площа під обвідною сигналу (MARSE), що представляє собою аналог енергії (рис.1.17). У деяких тестах використовується менша кількість параметрів, в інших – додаткові параметри, наприклад, наступні: число імпульсів АЕ, швидкість рахунку АЕ, енергія АЕ, активність АЕ, параметр класифікації тощо. Однак 5 основних параметрів, наведених спочатку, є стандартними для АЕ контролю і застосовуються в цій галузі неруйнівного контролю протягом більше 10 років.

Амплітуда (А, Amplitude) являє собою максимальне значення напруги сигналу та вимірюється в вольтах. Цей найважливіший параметр визначає можливість реєстрації АЕ події. Амплітуди сигналів прямо пов'язані з магнітудами подій в джерелі та їх значення коливаються в широких межах від мікрвольт до вольт. Амплітуди АЕ прийнято виражати в децибельному (логарифмічному) масштабі, при цьому 1 мкВ на виході датчика приймається за 0 дБ, 10мкВ - 20 дБ, 100мкВ - 40 дБ тощо [20].

Число осциляцій є числом перевищень сигналом встановленого значення порогу. Вимірювання числа осциляцій є простим способом кількісної оцінки сигналу. Цей параметр залежить від магнітуди джерела сигналів, а також від акустичних та резонансних властивостей середовища і датчика.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>28</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Площа під обвідною сигналу (MARSE) – параметр, відомий також як число осциляцій енергії, обчислюється по площі під обвідною сигналу. Параметр MARSE є чутливим і до амплітуди, і до тривалості сигналу, тому є дуже поширеним. Крім того, він менш залежний від встановленого значення порогу і робочої частоти. Сумарна АЕ активність повинна вимірюватися шляхом підсумовування магнітуд всіх зареєстрованих сигналів, а серед всіх вимірюваних параметрів, MARSE найкращим чином підходить для цих цілей.

Тривалість (D, Duration) – це повний час, починаючи від перетину сигналом порогу, закінчуючи відходом його значення під значення порогу. Вимірюваний в мікросекундах, цей параметр залежить від магнітуди джерела, а також акустичних і резонансних властивостей середовища і датчика (як і число осциляцій). Крім того, даний параметр є корисним при відфільтровування різних шумів (по тривалості) або інших типів джерел.

Час наростання сигналу (R, Rise time) – це час від першого перетину сигналом порогу до досягнення максимальної амплітуди сигналом. Даний параметр в значній степені залежить від функції поширення і передавальних властивостей датчика. Він може використовуватися для визначення типу деяких джерел сигналів і при відфільтровуванні шумів.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>29</b>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



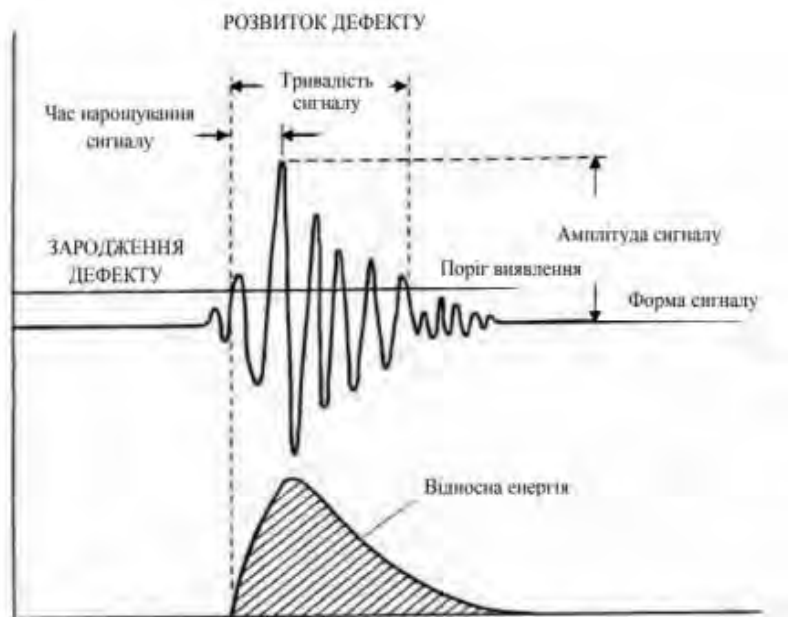


Рисунок 1.17. Стандартний набір параметрів зареєстрованого сигналу АЕ [19]

Виділимо ще декілька параметрів сигналів АЕ (рис.1.18):

- Число імпульсів АЕ – число зареєстрованих імпульсів дискретної АЕ за інтервал часу спостереження;
- Швидкість рахунку – відношення сумарного рахунку АЕ до інтервалу часу спостереження;
- Енергія АЕ – енергія, що виділяється джерелом АЕ і переноситься хвилями, що виникають в матеріалі;
- Активність АЕ – число зареєстрованих імпульсів АЕ за одиницю часу;
- Параметр класифікації – показник ступеня в вираженні, що описує залежність сумарного рахунку числа імпульсів АЕ від коефіцієнта інтенсивності напружень.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>30</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

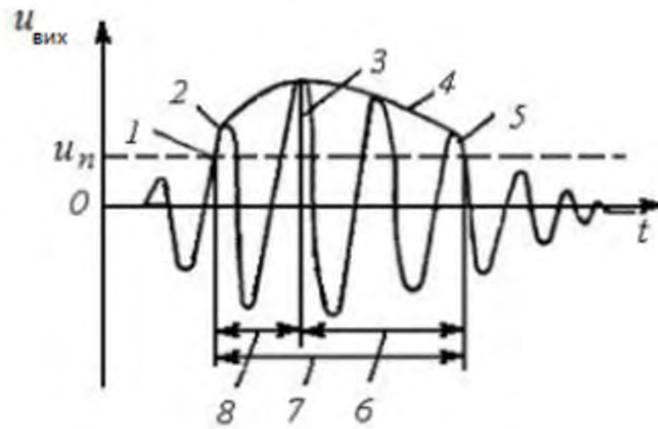


Рисунок 1.18. Схематичне зображення сигналу АЕ на виході перетворювача:  $u_n$  – рівень дискримінації; 1 – час приходу; 2 – перший імпульс; 3 – амплітуда  $u_t$ ; 4 - огинача; 5 – останній імпульс; 6 – час спадання; 7 – тривалість сигналу (D); 8 – час зростання (RT)

На рисунку 1.19 зображений нецифрований (аналоговий) сигнал при відсутності фонових перешкод. Сигнал складається з безлічі окремих викидів поступово наростаючої та спадаючої амплітуди. Він повністю описується набором миттєвих значень амплітуда – час.

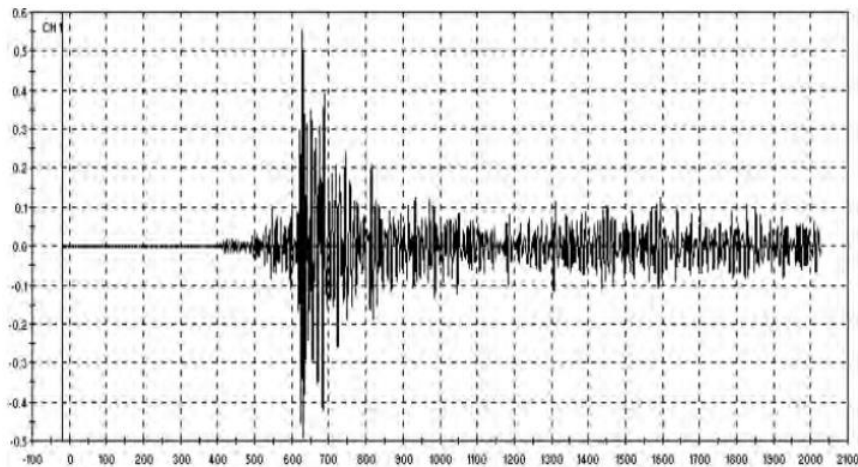


Рисунок 1.19. Типовий сигнал АЕ [19]

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>31</b>

Отже, в даному розділі розглянули засоби та методи застосування систем акустико емісійного контролю. Визначено основні параметри АЕ сигналів на базі яких роблять висновки про результати контролю.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Перетворювач АЕ (ПАЕ) є одним із найбільш відповідальних елементів АЕ каналу. Технічні характеристики перетворювача істотно впливають на вимірювані параметри АЕ сигналу, які використовуються для оцінки ступеня небезпеки дефектів. Тому конструкція ПАЕ та технічні характеристики її елементів визначають

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>32</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

достовірність результатів контролю. В процесі розробки системи акустико-емісійного контролю необхідно провести аналіз всіх характеристик об'єкта контролю та умов в яких буде проводитися моніторинг ОК.

Акустична емісія, яка виникає у випадку витoku рідин або газів використовується для виявлення наскрізних отворів в об'єкті контролю (резервуари, трубопроводи).

При використанні методу акустико-емісійного пошуку витоків – перетворювач розташовується безпосередньо на об'єкт контролю, приймається сигнал, який поширюється від джерела АЕ різними середовищами (рис. 2.1).

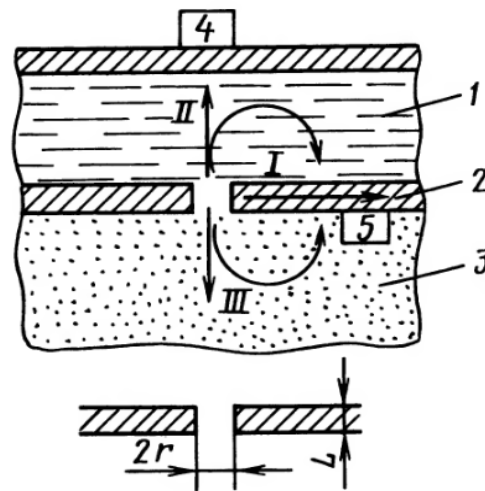


Рис. 2.1. Схема виникнення і поширення акустико-емісійного сигналу під час витoku (діаметр отвору  $2r$ ): 1 – робоча рідина; 2 – металева стінка об'єкта контролю товщиною  $L$ ; 3 – зовнішнє середовище; 4,5 – перетворювачі АЕ [10].

Акустичні сигнали пов'язані з витком можуть поширюватися наступним чином (рис. 2.1): I – по стінці ОК; II – через робочу рідину з трансформацією на межі середовищ 1 і 2; III – через зовнішнє середовище з трансформацією на межі середовищ 3 і 2 [10].

При витoku рідини можливі різні варіанти зовнішніх середовищ. Під час вибору схеми контролю найкращий варіант, коли кількість меж в акустичному

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

каналі мінімальна і акустичні хвильові імпеданси речовин на межі розподілу рівні або близькі за значенням [10].

Розглядаючи як об'єкт контролю водопровід, нафтопровід або аміакопровід витік відбувається на межі середовищ рідина-повітря або рідина-грунт. Для контролю розглянемо варіант рідина-грунт, через критичність витоку у нафтопроводах, аміакопроводах та складнісю визначення, усунення дефектів в підземних трубопроводах.

Властивості середовищ, які беруть участь в контролі магістрального трубопроводу (рис. 2.1) наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Речовина	$C_{t1}$ $10^3 \text{ м}^2/\text{с}$	$C_{t2}$ $10^3 \text{ м}^2/\text{с}$	$I$ $10^3 \text{ м}^3/\text{с}$	$\rho$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$\lambda$ $\text{с}^{-1}$
Органічне скло	2,65...2,73 (2,7)	1,12...1,13	1,17...1,2	3,0...3,3 (3)	1,1
Сталь	5,9...5,94 (5,9)	3,22...3,25 (3,25)	7,7...7,9 (8)	45,9...46,3 (46)	2400
Повітря	0,331...0,34 (0,3)	-	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,43 \cdot 10^{-3}$	0,12
Масло Трансформаторне	1,32...1,425 (1,425)	-	1,27	2,43	0,54
ЦТС 19	3,3	-	7	23,1	1,32
Вода	1,483	-	1	-	0,5
Нафта	1,335...1,379 (1,44)	-	0,73...1,04 (0,85)	-	-
Грунт	-	-	0,7...3,3	-	-

Примітка. В дужках вказані вибрані значення для розрахунків в даному розділі.

**Вхідні дані:**

**Діаметр трубопроводу** - 500 мм ( з огляду на те що діаметр магістральних трубопроводів змінюється від 100 до 1400 мм);

**Товщина стінки** - 10 мм (в середньому для аміакопроводів та нафтопроводів товщина стінки 8 – 20 мм);

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>34</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

**Діаметр датчика.** З огляду на те, що в даному проекті розглядається контактний метод контролю між ПЕП та поверхнею об'єкта контролю ззовні трубопроводу має бути щільний контакт, оскільки це збільшить кількість середовищ, які беруть участь в контролі та краї ПЕП не будуть брати участь в контролі або навіть вносити додаткові завади. Для трубопроводу діаметром 500 мм, щоб забезпечити прилягання датчика до труби його діаметр не повинен перевищувати 40 мм, тому в даній магістерській дисертації будемо використовувати перетворювач діаметром 10 мм (рис.2.2);

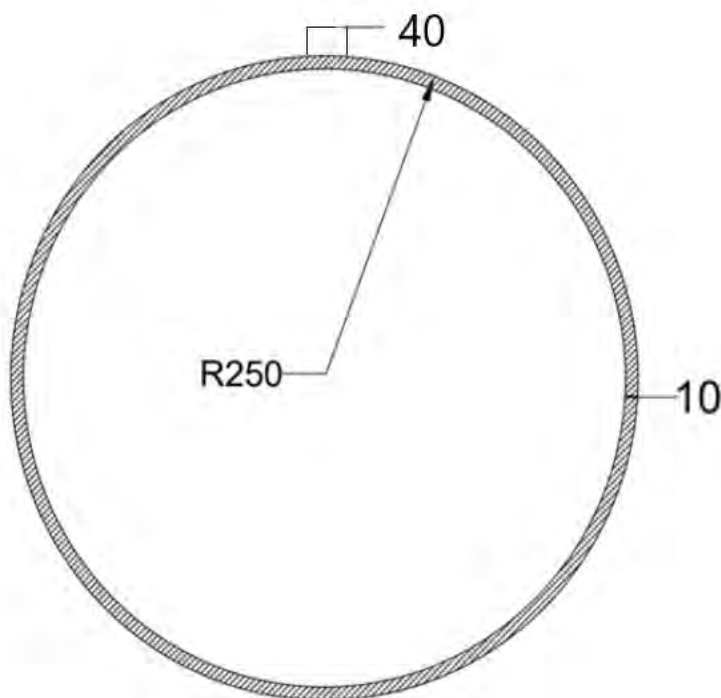


Рисунок 2.2. Параметри об'єкта контролю

**Робочий тиск** - 0,5 – 2 МПа ( максимальний тиск: трубопровід - 0,5 МПа, аміакопровід – 3,5 МПа, нафтопровід – 2,5 МПа);

**Відстань між датчиками.** Згасанням ультразвукових хвиль називають процес зменшення амплітуди і, відповідно, енергії хвилі при поширенні в матеріалі ОК. На рисунку 2.3 приймач сигналів АЕ, розташований від джерела далі, реєструє акустичну хвилю з меншою амплітудою [14].

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

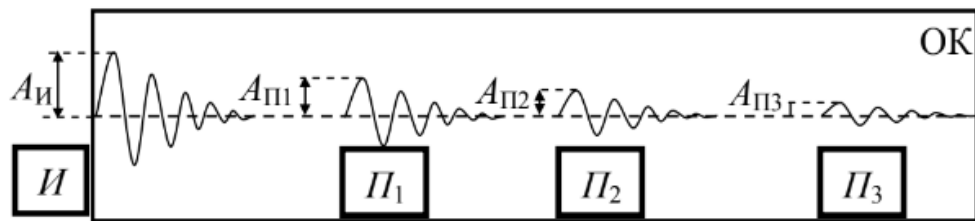


Рисунок 2.3. Затухання акустичної хвилі від джерела АЕ з відстанню.

Прийняті сигнали перетворювача в залежності від відстані від джерела АЕ

В практичному дослідженні [13] були проведені випробування поширення хвиль АЕ та вимірювання акустичного фону на кількох ділянках трубопроводу DN600, заповнених сирою нафтою. Випробування проводили на трубопроводах різної довжини з підземними (10÷70 м) і надземними (100 м і більше) ділянками, а також ділянками зі зміною їх напрямку (коліна 90°) (рис 2.4).

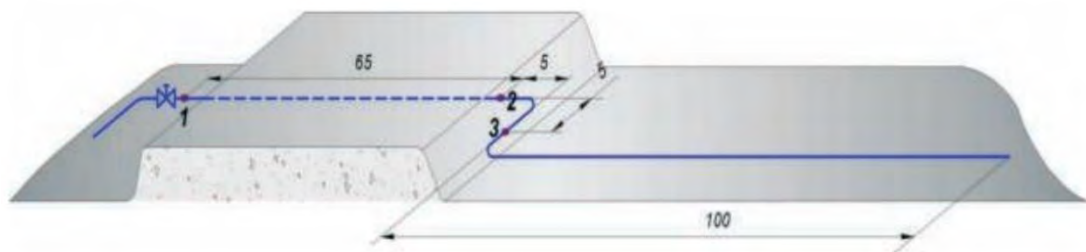


Рисунок 2.4. Точки вимірювання з встановленими датчиками АЕ розташовувалися на відкритих частинах трубопроводів

При перевірці поширення та ослаблення хвиль АЕ в досліді [13] використовувалися різні діапазони частотних фільтрів на вимірювальних каналах (3 ÷ 300 кГц, 6 ÷ 300 кГц та 9 ÷ 300 кГц). Він спрямований на перевірку різниці затухання хвиль АЕ, перевірку акустичного фону та знаходження оптимального діапазону вимірювання, що дозволяє усунути шум, зберігаючи адекватну чутливість вимірювання.

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок, що використання фільтрів нижчих частот на каналах вимірювання АЕ та низькочастотних датчиків дозволяє збільшити дальність тестування при

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>36</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збереженні чутливості вимірювання – більшу дальність поширення хвилі АЕ. Було також встановлено, що у випадку підземних трубопроводів максимальна відстань між точками вимірювання становитиме до 100 м (рис. 2.5).

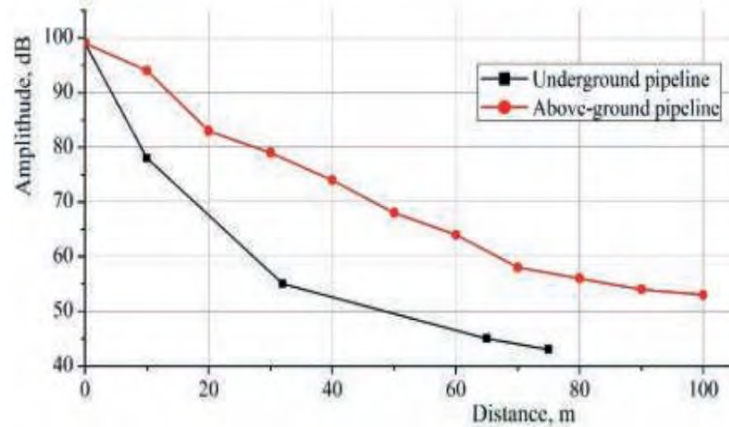


Рис. 2.5 Криві загасання хвиль АЕ в підземних і надземних трубопроводах

Отже, для визначення місця витoku рідини на підземних трубопроводах для доступу до труби прокладають шурфи (невелику відкриту поверхню приблизно 15x15 см) з інтервалом 100 ... 300 м (рис.2.6)[10].



Рисунок 2.6. Схема проведення акустико-емісійного контролю [22].

**Частотний діапазон.** Акустико-емісійні системи для пошуку витоків розрізняються по частотному діапазону прийнятих сигналів. Найбільш часто використовувані діапазони: звуковий діапазон від десятків герц до 20 кГц;

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



нижній УЗ-діапазон 25 ... 100 кГц; середній і верхній УЗ-діапазон 0, 1...1,0 МГц. Для контролю трубопроводів оберемо частотний діапазон 15 – 100 кГц (за даними джерела [10], в якому наведені практичні використання акустико-емісійного виду контролю витоків).

Основними характеристиками методів пошуку витоків є поріг чутливості та ефективність контролю. У випадку акустико-емісійного методу під порогом чутливості розуміють найменшу реєстровану втрату рідкої речовини через отвір. Порогом чутливості можна також вважати мінімальну величину діаметру (розміри розкриття) отвору, що виявляється, при певних значеннях перепаду тиску і характеристиках середовища.

Поріг чутливості повинен вимірюватися за відсутності сторонніх акустичних шумів та розташування перетворювача в зоні витоків. Вимірювання проводять, зменшуючи перепад тиску або переріз каналу. Мінімальним витратам відповідає краплинний режим витікання рідини в повітря.

Акустико-емісійний метод значно перевершує інші методи пошуку витоків по граничному значенні порогу чутливості. Початок крапельного режиму при витоків можна визначити за формулою:

$$\Delta p_{\text{кап}} = 2\tau/r. \quad (2.1)$$

Наприклад, для нафти (поверхневий натяг  $\tau = 26$  мН/м) при перепаді тиску, що дорівнює 1 МПа, і діаметр отвору  $2r < 0,1$  мкм у каналі відсутній рух [10]. Сигнали виникають при перевищенні зазначеного тиску чи збільшенні діаметра отвору.

Під час крапельного режиму витоків рідини акустичний сигнал за експериментами реєструвався в полосі частот 30...200 кГц [10].

Одним з найпоширеніших напрямків застосування акустико-емісійного методу пошуку витоків є контроль трубопроводів, оскільки АЕ системи дозволяють використовувати дистанційний режим контролю за об'єктом значних

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>38</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

розмірів та довжини. Для встановлення перетворювачів необхідно зачистити ізоляцію, щоб забезпечити акустичний контакт безпосередньо з поверхністю трубопроводу. Найпоширенішим розташуванням витоку є зварні шви, фланцеві з'єднання, вигини труб. На чутливість системи до витоків впливають такі конструктивні елементи трубопроводів як засувки, запірні пристрої, фланцеві з'єднання, відгалуження, перегородки, діафрагми.

Однією з характеристик джерела АЕ є розподілення імпульсів за амплітудою, або амплітудний розподіл. Загальна кількість імпульсів, зареєстрованих за певний інтервал часу, що характеризує кількість джерел АЕ у матеріалі ОК.

Поділ імпульсів по амплітудним діапазонам дозволяє умовно класифікувати джерела АЕ з фізичних процесів у матеріалі ОК. При цьому виділяють чотири рівні деформації матеріалу: мікротріщини, мезотріщини, макротріщини, магістральні тріщини.

Аналіз амплітудного розподілу потоку імпульсів АЕ (рис. 2.7) дозволяє виділити джерела, що відповідають певному ступеню розвитку дефекту, або при необхідності виключити з переліку малозначні несущальності, що розвиваються.

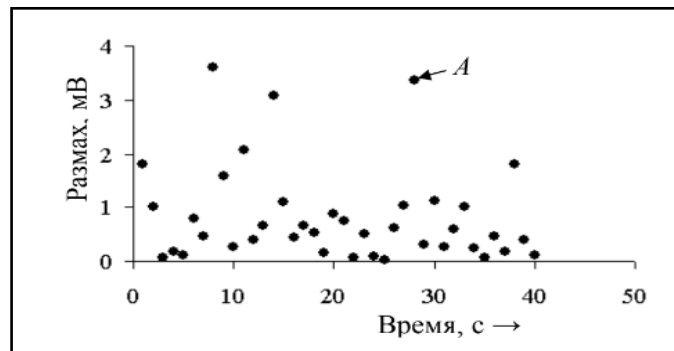


Рисунок 2.7. Залежність амплітуди імпульсів від часу навантаження ОК[14].

Умовні рівні амплітуд електричних сигналів для різних джерел вказані в таблиці 2.2 [14].

Таблиця 2.2.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>39</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерела АЕ, величина збільшення тріщини та умовні рівні деформації матеріалу	Амплітуда хвилі –максимальне зміщення частинок середовища від положення рівноваги $\Delta X$ , м	Амплітуда імпульсу - електрична напруга $U$ , мкВ
Мікротріщини $\Delta a < 10$ мкм. Локальна пластична деформація у матеріалі, накопичення пошкоджень на мікрорівні	$<10^{-12}$	$< 5$
Мезотріщини $\Delta a = 10 \dots 100$ мкм. Пластична деформація, початок утворення макротріщин	$10^{-12} \dots 10^{-11}$	$5 \dots 50$
Макротріщини $\Delta a > 100$ мкм. Освіта тріщин, формування магістральної тріщини	$10^{-11}$	$50$
Магістральні тріщини $\Delta a > 0,5$ мм. Розвиток магістральної тріщини, попередньої долому деталі	$>2 \cdot 10^{-9}$	$>1000$

Чутливість акустико-емісійні системи для пошуку витоків обмежується власними тепловими шумами апаратури, які становлять 2 ... 10 мкВ в залежності від смуги частот, що пропускаються, і якості апаратури (зовнішніми завадами, шумами можуть бути дощ, сніг, удари сторонніх предметів, вітер та інші фактори, пов'язані з механічним впливом на ОК).

З огляду на проаналізовані літературні джерела [9] в яких наведе практичні застосування акустико-емісійних систем, можна зробити висновок, що найпоширенішим типом тріщин виявлених за допомогою методу АЕ є мезотріщини, умова початку крапельного режиму виконується з розрахованого значення (2.1).

Отже, мінімальне значення рівня сигналу, з урахуванням найпоширенішого рівня шумів для даного ОК, на вході перетворювача за таблицею 2.1 буде рівне 15 мкВ.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>40</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Різницю максимальної та мінімальної робочої частоти називають шириною смуги пропускання:  $\Delta f = f_2 - f_1$ . Залежно від співвідношення ширини смуги пропускання та частоти з максимальним коефіцієнтом перетворення ПАЕ класифікують на види: резонансні, смугові та широкосмугові (табл.2.3) [14].

Таблиця 2.3.

Тип перетворювача	Умова вибору ПАЕ
Резонансні	$\frac{\Delta f}{f_{\max}} < 0,2$
Смугові	$\frac{f_2}{f_1} > 2$
Широкосмугові	$\frac{f_2}{f_1} > 5$

З огляду на обраний для даної роботи частотний діапазон - 15 – 100 кГц визначаємо тип перетворювача, проте варто взяти до уваги, що перетворювач буде працювати тільки в режимі прийому сигналів акустичної емісії, тому підходять тільки смугові або широкосмугові перетворювачі (резонансні працюють одночасно на випромінювання та прийом акустичних сигналів).

$$\frac{f_2}{f_1} > 5 \quad (2.2)$$

$$\frac{100}{15} = 6,6 > 5$$

Отже, за умовою в таблиці 2.2 для обраного частотного діапазону підходить широкосмуговий тип перетворювача.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>41</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

При практичному застосуванні методу АЕ найбільшого поширення набули п'єзоелектричні перетворювачі. В них активним перетворювачем, який трансформує акустичний сигнал в електричний, є п'єзоелемент.

У більшості випадків ПАЕ є конструкцією (рис. 2.8) з наступними елементами: 1 - корпус, 2- електричний роз'єм, 3 - демпфер, 4 - п'єзоелемент, 5 - конструктивний елемент (циліндр), 6 - шар клею, 7 - захисна пластина; 8 – кабель. ПАЕ по конструкції нагадує прямий перетворювач для традиційного УЗ-контролю.

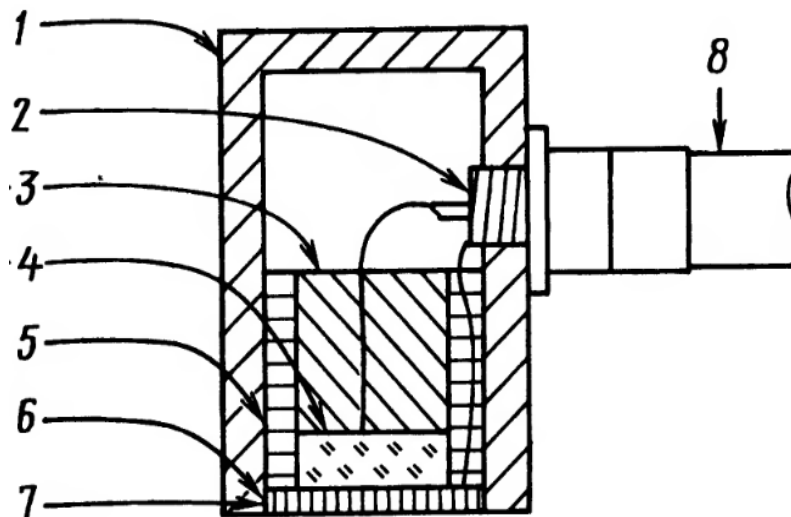


Рисунок 2.8. Приклад конструкції акустико-емісійного перетворювача

Основним елементом ПАЕ є перетворювач акустичного сигналу в електричний, в якості якого використовується п'єзоелектричний перетворювач (п'єзоелемент) у вигляді пластини, циліндра (суцільного стрижня або пустотілого циліндра), конуса (рис. 2.10) та ін, що здійснює трансформацію акустичних коливань електричний сигнал.

П'єзопластини для широкосмугових перетворювачів виготовляють спеціальної форми змінної товщини від  $h_1$  до  $h_2$  або спеціалізованої форми (рис. 2.9, 2.10), щоб забезпечити наявність резонансів не на одній частоті, а в деякому

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

інтервалі частот. У практичних системах широка смуга пропускання перетворювача є суттєвою перевагою, коли джерела АЕ випромінюють хвилі на невідомих або значно відрізняючихся частотах. Широка смуга пропускання обумовлює достовірне перетворення акустичного імпульсу в електричний сигнал із збереженням його первісної форми.

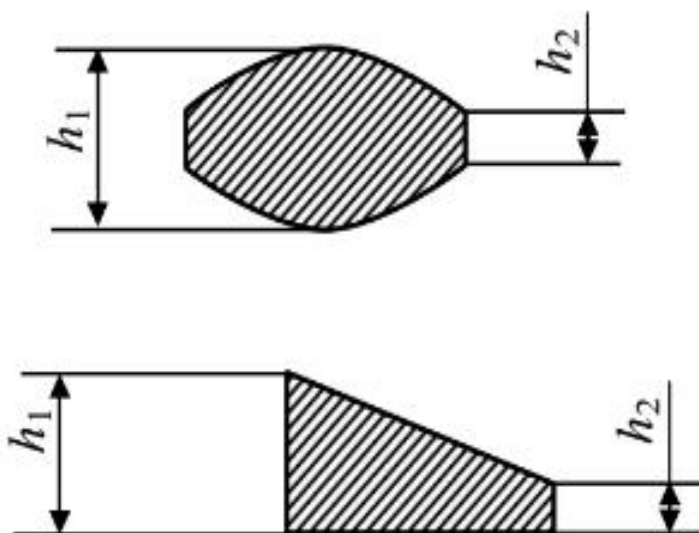


Рисунок 2.9. Форма п'єзопластин змінної товщини ( $h_1-h_2$ ) для смугових та широкосмугових перетворювачів [14].

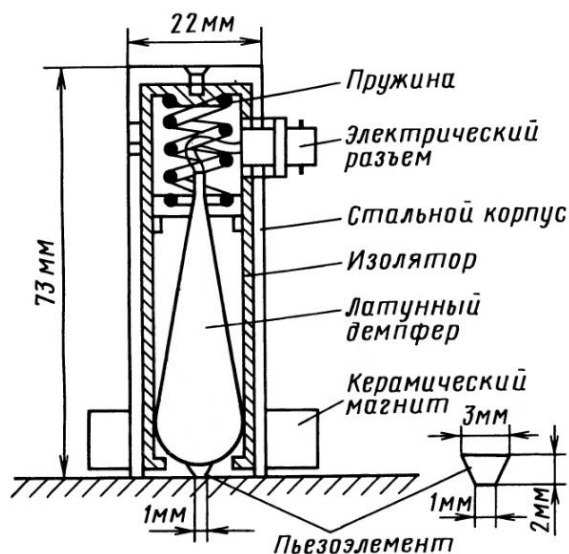


Рисунок 2.9. Ескіз широкосмугового ПАЕ.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

На верхню та нижню горизонтальні поверхні ПП нанесений шар металу, до якого припаяні електричні виходи. За цими провідниками електричний сигнал з п'єзопластини надходить на роз'єм і далі екранованим кабелем у вимірювальну апаратуру.

Для запобігання пошкодженню п'єзопластини з боку об'єкта контролю розташований протектор (англ. protect - захист-щати). В основному цей елемент виготовляють з електроізолюваного міцного матеріалу, стійкого до стирання, з малим акустичним загасанням: міцна кераміка, органічні та неорганічні смоли з наповнювачами.

Електрична ізоляція п'єзопластини від об'єкта контролю - один з найбільш відповідальних моментів у конструкції перетворювача, так як у масивних металевих конструкціях завжди присутні поверхневі мікроскопічні струми («блукаючі» струми), здатні призвести до появи електро-магнітних перешкод. З боку робочої частини корпусу замикається діелектричною пластиною, яка захищає п'єзоелемент від ударних механічних впливів і від блукаючих струмів, що створюють суттєві перешкоди у випадку, якщо п'єзопластина безпосередньо електрично контактує з об'єктом

П'єзоелемент встановлюється в металевий корпус, що служить для впливів від механічного захисту та електромагнітних перешкод. Корпус ПАЕ може бути виконаний з корозійностійкої сталі, латуні і т.д.

У більшості ПАЕ, що використовуються для контролю виробничих об'єктів, демпфер не застосовується, оскільки він дещо зменшує його чутливість. Проте підбором матеріалу демпфера можна керувати акустичною (механічною) добротністю п'єзопластини, а отже, і смугою пропускання сигналу, що дозволить в даній роботі розширити смугу пропускання до необхідного діапазону 15...100 кГц та послабити вільні коливання п'єзопластини [2].

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>44</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Проведемо розрахунок товщини датчика на частоті резонансу 1 МГц за формулою:

$$h = \frac{\lambda_{\text{ПЕП}}}{2} = \frac{C_{\text{ПЕП}}}{2f} \quad (2.3)$$

де  $C_{\text{ПЕП}}$  – швидкість ультразвуку в матеріалі п'єзоперетворювача ЦТС19 рівна  $C_{\text{ЦТС}}=3300$  м/с,

$f$  – робоча частота п'єзоперетворювача  $f = 1$  МГц.

$$h = \frac{3300}{2 \cdot 1 \cdot 10^6} = 1,65 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань виберемо висоту перетворювача 25 мм.

Отже, в даному розділі були визначені основні параметри об'єкта контролю, перетворювача та самого процесу проведення випробувань (табл. 2.3).

Таблиця 2.3.

Параметр	Значення	Розмірність
<i>Об'єкт контролю (магістральний трубопровід)</i>		
Діаметр	500	мм
Товщина стінки	10	мм
Робочий тиск	0,5...2	МПа
Швидкість робочої рідини (нафта)	0,5...7 (5)	м/с
<i>Перетворювач акустичної емісії</i>		
Діаметр	10	мм

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>45</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



Товщина	1,65	мм
Марка матеріалу перетворювача	ЦТС19	-
Висота корпусу	25	мм
Тип перетворювача	Широкозмуговий	-
Роз'єм підключення	LIMO	-
Мінімальне значення рівня сигналу на вході перетворювача	15	мкВ
<i>Умови проведення контролю</i>		
Відстань між датчиками на трубопроводі	100...300	м
Розміри шурфу	15x15	см
Частотний діапазон	15...100	кГц
Найпоширеніший тип тріщин в даному трубопроводі	Мезотріщини	-

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>46</b>

## **РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ЕЛЕМЕНТІВ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ**

В даному розділі магістерської дисертації буде спроектовано електричну частину акустико-емісійної системи на базі аналізу літературних джерел.

### **3.1 Структурна схема**

В даний час розроблено і використовується велика кількість різноманітних АЕ систем для комплексного моніторингу об'єктів різного рівня складності. Всі АЕ системи, що використовуються для контролю виробничих об'єктів повинні розроблятися з урахуванням стандартів (ДСТУ EN ISO 18081:2019 Неруйнівний контроль. Акустико-емісійний контроль. Виявлення витoku за допомогою акустичної емісії (EN ISO 18081:2016, IDT; ISO 18081:2016, IDT)), відповідно до яких системи АЕ мають типову структуру апаратури:

- комплект перетворювачів АЕ;
- комплект попередніх підсилювачів;
- кабельні з'єднувальні лінії та мережеві лінії зв'язку;
- блоки попередньої обробки та перетворення АЕ;
- ПК із необхідним математичним забезпеченням;
- засоби відображення інформації [17].

На рисунку 3.1 зображено спроектовану структурну схему автоматизованої акустико-емісійної системи для контролю магістральних трубопроводів відповідно до стандартної структури.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>47</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

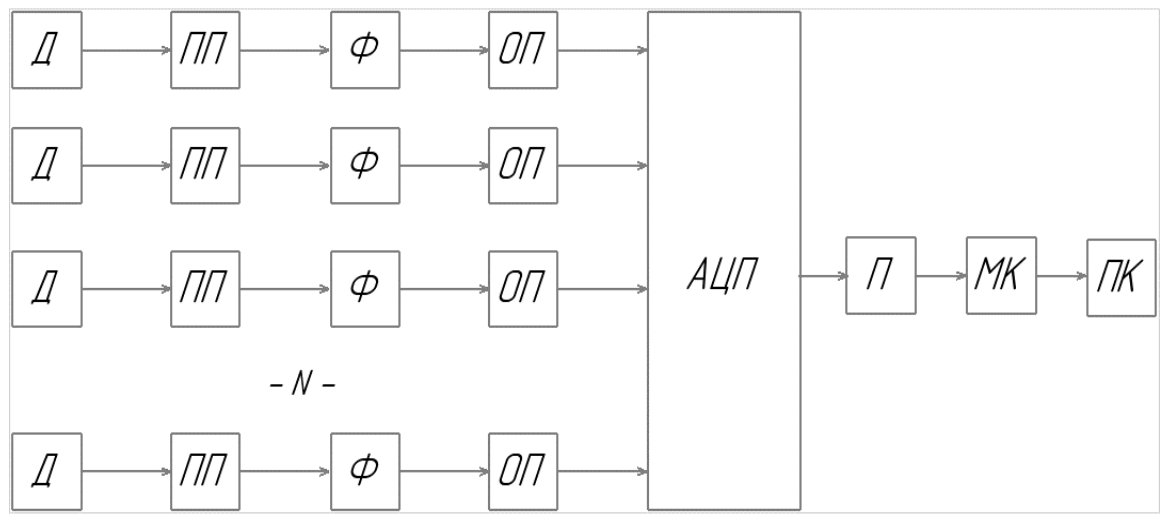


Рисунок 3.1. Структурна схема акустико-емісійної структури

На структурній схемі рисунок 3.1. наведені 4 канали (наявна можливість збільшення кількості каналів) за допомогою яких реалізується контроль трубопроводу акустико-емісійним методом, де Д - датчик акустичної емісії, ПП – попередній підсилювач, Ф – смуговий фільтр, ОП - основний підсилювач, АЦП – аналогово-цифровий перетворювач, П – пам'ять FIFO (First in, first out), МК – мікроконтролер, ПК-персональний комп'ютер.

Основні елементи акустичного тракту:

- Об'єкт контролю (ОК) - матеріальний об'єкт, що знаходиться в твердому агрегатному стані, на який встановлюються перетворювач (ПАЕ), в даній роботі магістральний трубопровід;
- ПАЕ - датчик (Д), що перетворює акустичний сигнал, який випромінюється дефектом ОК, в електричний сигнал, параметри якого використовуються з метою оцінки джерел;
- Попередній підсилювач (ПП) - пристрій, що використовується для підсилення електричного сигналу, отриманого з ПАЕ і подальшої передачі підсиленого сигналу по лінії зв'язку;

- Пристрій обробки АЕ інформації - це пристрій призначений для реєстрації та обробки сигналу АЕ [17].

### 3.2 Функціональна схема

На основі схеми (рис.3.1) розроблена функціональна схема (рис. 3.2).

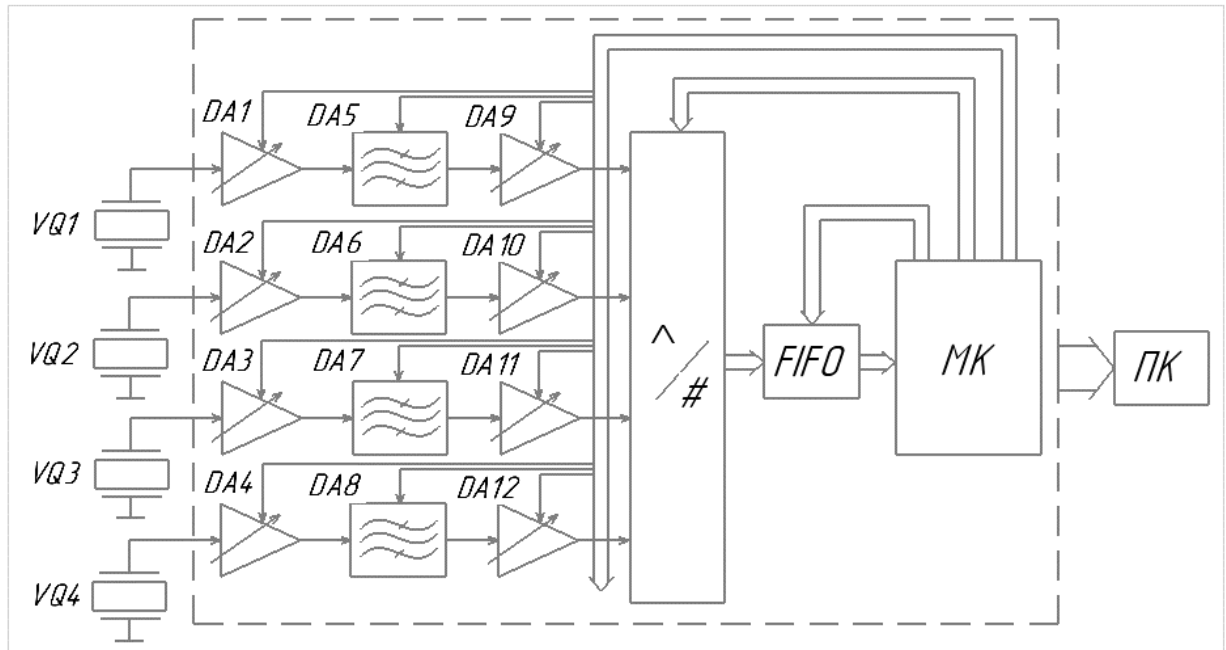


Рисунок 3.2. Функціональна схема

Робота схеми починається з подачі живлення на мікроконтролер, ПЕП працює в режимі приймача і приймає хвилю, яка поширюється в об'єкті контролю при його навантаженні від розвиваючихся дефектів. Спрацьовує прямий п'єзоефект – ультразвукова хвиля повертається на ПЕП і спричиняє появи електричного потенціалу на гранях п'єзокристала. Отримані електричні імпульси потрапляють на попередній підсилювач. В подальшому підсилений сигнал фільтрується за допомогою смугового фільтру, який пропускає сигнал в деякому діапазоні частот, відтинаючи шуми і пропускаючи тільки інформаційну його частину. В такому вигляді сигнал надходить на схему основного підсилювача з

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

змінним коефіцієнтом підсилення, де відбувається його повторне підсилення за керуючим сигналом з мікроконтролера.

АЦП послідовного наближення по чергово опитує кожен канал акустико-емісійної системи та петворює аналогові сигнали на цифрові і потім записує отриманий код в пам'ять, в даному проекті ми використовуємо пам'ять типу FIFO. Збережений масив даних передається на мікроконтролер, який в свою чергу аналізує отриману інформацію та передає її на пристрій виводу, наприклад ПК.

Таким чином залишається остання стадія контролю, а саме інтерпретування даних спеціалістом або автоматизованим програмним забезпеченням на базі штучного інтелекту та заповнення протоколу контролю.

### **3.3. Підбір та розрахунок елементів принципової схеми**

На основі функціональної схеми (рис. 3.2) підберемо електричні елементи для принципової схеми акустико-емісійної системи контролю магістральних трубопроводів..

#### **3.3.1 Попередній та основний підсилювачі**

AD604 — це підсилювач зі змінним коефіцієнтом посилення (VGA) (рис.3.3) для систем, які вимагають повністю диференціального тракту сигналу, низької потужності, низького рівня шуму та чіткого коефіцієнта підсилення по частоті.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>50</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

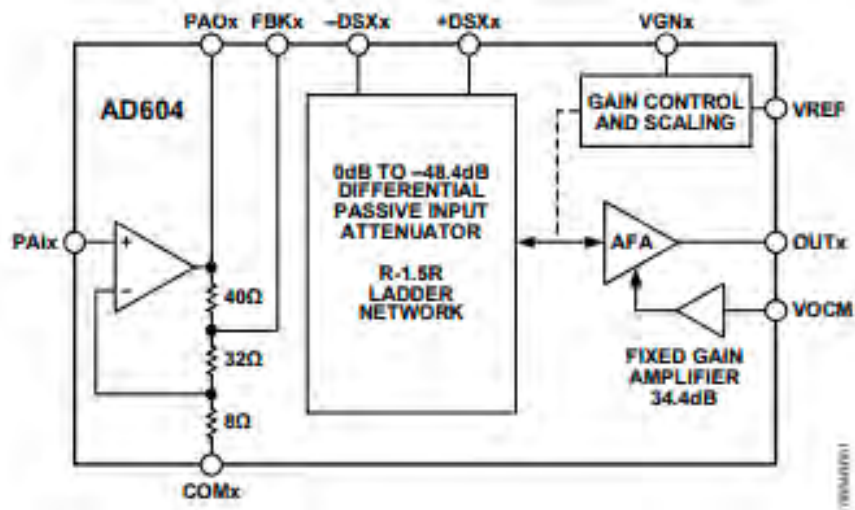


Рисунок 3.3. Функціональна схема AD604

Основна функція підсилення є лінійною в дБ і контролюється напругою, що подається на пін GAIN (рис.3.3). У нормальному режимі роботи, регулюючи напругу на пині GAIN від 0,1 В до 1,1 В за допомогою мікроконтролера можна регулювати підсилення від найнижчого значення 0 дБ до максимального 80 дБ з відхиленням 12,5 мВ/дБ.

Діапазон номінального підсилення можна зміщувати вгору або вниз через додаткову схему з підсилювачем. Наприклад, керування контактами INPD та INMD за допомогою резисторів 50 Ом зсуває діапазон підсилення на 20 дБ, тобто від 20 дБ до 100 дБ, і знижує вхідний шум пристрою до 1,5 нВ/√Гц.

AD8338 використовує одну напругу живлення від 3,0 В до 5,0 В і є дуже енергоефективним, споживаючи лише 3 мА струму спокою при рівні середньому підсиленні. AD8338 доступний у розмірі 3 мм×3 мм і призначений для промислового температурного діапазону від -40 °С до +85 °С.

Основне рівняння залежності напруги на пині GAIN та коефіцієнта підсилення в дБ наступне:

$$G(\text{dB}) = \frac{V_{\text{GAIN}}}{12.5 \text{ mV}} - 8 \text{ dB} \quad (3.1)$$

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>51</b>

де значення  $V_{GAIN}$  подається у Вольтах.

Крім того, рівняння підсилення (3.1) може бути виражено чисельною величиною:

$$G_N = 0.398 \times 10^{\frac{V_{GAIN}}{250 \text{ mV}}} \quad (3.2)$$

Оскільки мінімальне значення рівня сигналу на вході перетворювача рівне 15 мкВ, для керування підсилювачем AD604 необхідно обрати таку напругу, щоб коефіцієнт підсилення міг забезпечити збільшення мінімального прийнятого сигналу для оцифрування даних АЦП, які зазвичай працюють в діапазоні вхідних напруг від 3 до 5 В.

Тобто, щоб збільшити рівень сигналу від 15 мкВ до 3 В коефіцієнт підсилення має бути рівним

$$K_u = \frac{3}{15 \cdot 10^{-6}} = 200\,000$$

Щоб забезпечити такий коефіцієнт підсилення необхідно використати два послідовно підключених підсилювача AD8338 (ПП та ОП на рисунку 3.1) з таким налаштуваннями, щоб добуток коефіцієнтів підсилення був рівний мінімум 200 000 для мінімального рівня сигналу прийнятого перетворювачем. Мікросхема AD8338 має змінний коефіцієнт підсилення, тому зможе забезпечити дану умову та за допомогою мікроконтролера тримати напругу в межах заданого діапазону.

### 3.3.2 Смуговий фільтр

Смуговий фільтр – це мікросхема, яка дозволяє пропускати необхідний діапазон частот в околі центральної резонансної частоти. Частоти, які не ввійшли в даний діапазон, тобто нижче або вище заданої смуги пропускання пригнічуються.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>52</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

В даному роботі смуговий фільтр використовується з метою пригнічення завод у вигляді шумів. Типова характеристика смугового фільтра показана на рисунок 3.4.

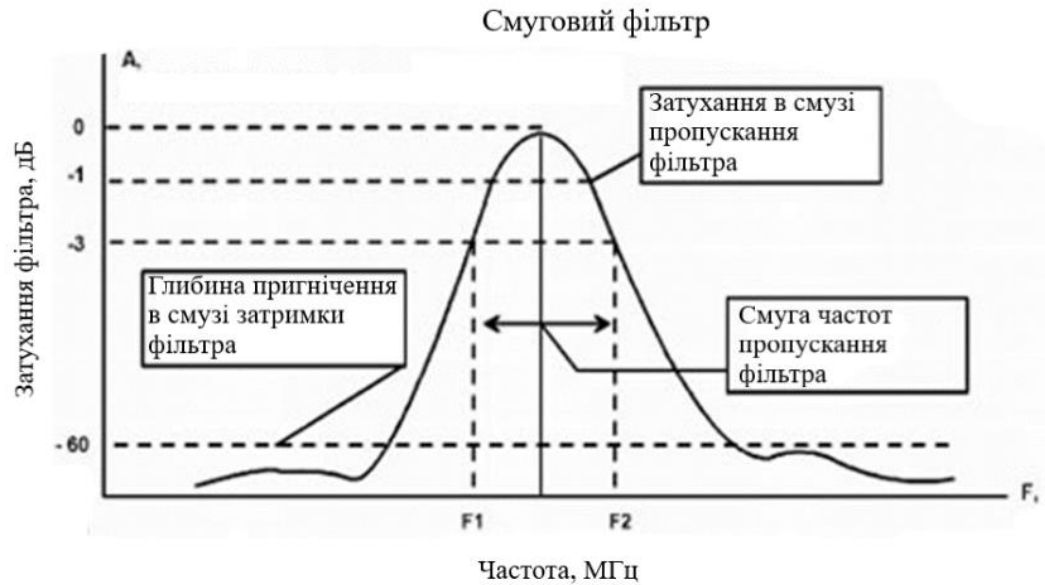


Рисунок 3.4. Характеристика смугового фільтра

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) акустико-емісійного сигналу витоку з трубопроводу. Полосу пропускання призначимо як діапазон частот на рівні 1.9 дБ.

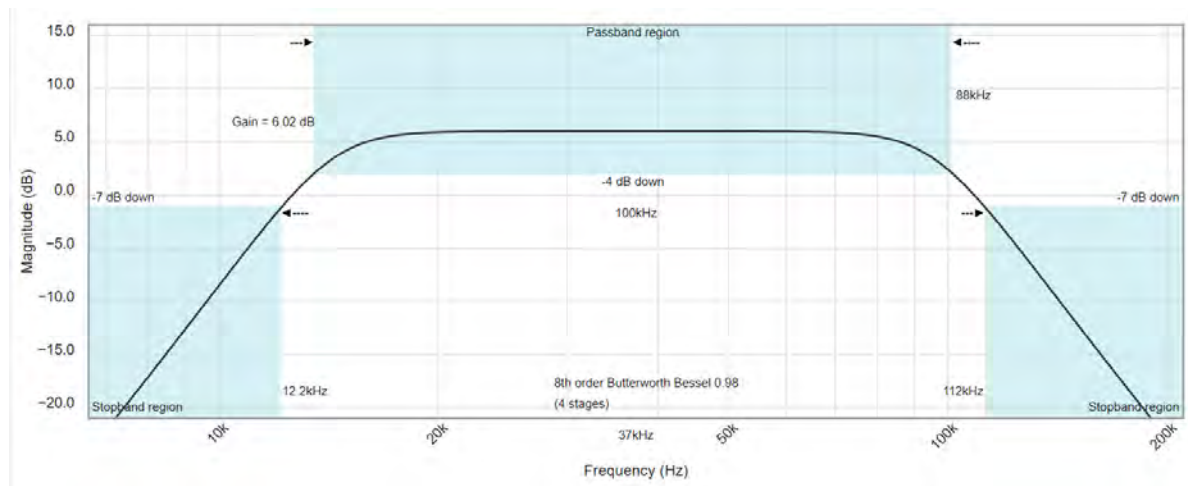


Рисунок 3.5. АЧХ широкосмугового перетворювача

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>53</b>



З АЧХ (рис.3.5) видно, що смуга пропускання фільтру буде рівною від 14 кГц до 100 кГц. ( $101 \text{ кГц} - 13 \text{ кГц} = 88 \text{ кГц}$ ).

За допомогою програми Analog Filter Wizard (<https://tools.analog.com/en/filterwizard/>) було спроектовано Фільтр Баттерворта 4-го порядку (рис.3.6) у відповідності до параметрів контролю.

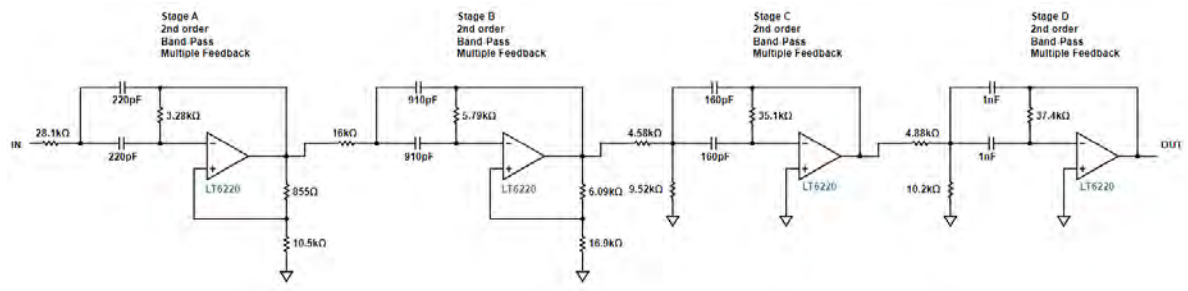


Рисунок 3.6. Смуговий фільтр

### 3.3.3 Аналогово-цифровий перетворювач

В даній роботі використаємо аналогово-цифровий перетворювач AD7490 (рис. 3.7). Він має низку переваг, AD7490 – 16-канальний, 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) зі швидкістю перетворення 1 MSPS та вбудованою схемою вибірки-зберігання, розроблений для недорогих, компактних, простих у використанні системах з низьким споживанням енергії.

Для забезпечення всіх характеристик АЦП необхідно використовувати однополярне джерело живлення 1,8 В та LVPECL-/CMOS-/LVDS-сумісне джерело тактових імпульсів. Підтримується режим енергозбереження для кожного каналу окремо.

Для забезпечення універсальності та зниження вартості, система АЦП має кілька особливостей, такі як програмований генератор тактових імпульсів, впорядкування даних та програмований цифровий генератор тестових сигналів.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>54</b>

Цифровий генератор тестових сигналів дозволяє відтворювати вбудовані детерміновані та псевдовипадкові сигнали поряд із довільними тестовими сигналами, що задаються користувачем через послідовний інтерфейс (SPI).

AD7490 доступний у RoHS-сумісному 64-вивідному корпусі LFCSP. Мікросхема працює у промисловому температурному діапазоні від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

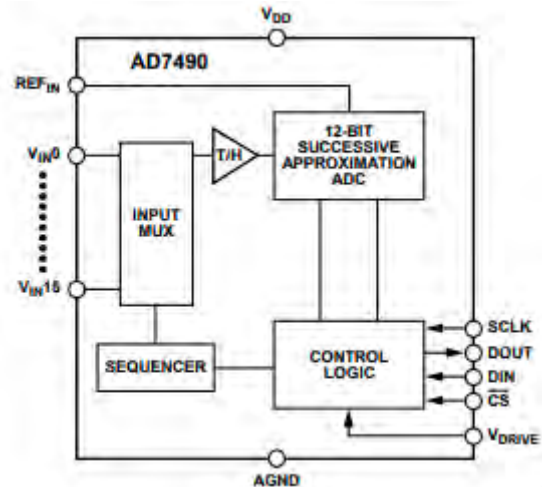


Рисунок 3.7. Функціональна схема АЦП паралельного серії AD7490

Розрахунок АЦП проводимо виходячи з теореми Котельникова, тобто частота дискретизації повинна бути як мінімум у 2 рази більше максимальної частоти вхідного сигналу, тобто:

$$f_{\text{АЦП}} > f_{\text{сиг.макс}} \cdot 2 \quad (3.1)$$

$$f_{\text{АЦП}} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ (кГц)}$$

Частота АЦП повинна бути не менше 200 кГц.

Призначимо  $f_{\text{АЦП}} = 1 \text{ (МГц)}$ .

Далі розрахуємо розрядність АЦП.

$$q = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{2^N} \quad (3.2)$$

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>55</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $U_{max} = 2$  (В) – максимальна опорна напруга,  $U_{min} = 0$  (В) – мінімальна опорна напруга,  $N$  – кількість розрядів АЦП.

Також необхідно враховувати, що похибка АЦП повинна бути не більше ніж 2%.

Візьмемо розрядність АЦП з даташиту AD9257  $N = 12$  та перевіримо, не перевищуємо ми похибку у 2%.

$$q = \frac{2 - 0}{2^{12}} = 0,4 \text{ (мВ)}$$

Так як на вхід АЦП піде сигнал з підсилювача, а  $U_{\text{підс.мін}} = 30$  (мВ), то можемо розрахувати похибку:

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{q}{U_{\text{підс.мін}}} \cdot 100\% = \frac{0,4 \cdot 100}{30} = 1,3\% \quad (3.3)$$

Оскільки  $\delta_{\text{АЦП}} = 1,3\% < 2\%$ , то розрядність АЦП підібрано правильно.

### 3.3.4 Пам'ять (FIFO – First in first out)

FIFO (First in, first out - «першим прийшов - першим пішов»). Запам'ятовуючі пристрої типу FIFO використовуються для короткочасного зберігання цифрової інформації, при цьому пошук інформації відбувається в тому ж порядку та послідовності, що інформація зберігалася. В апаратній реалізації пам'ять FIFO складається з безлічі покажчиків читання і запису, пам'яті і логіки управління. Мікросхема FIFO являє собою двох портовий ОЗУ, де один порт призначений для запису інформації, а другий - для зчитування. В такій мікросхемі немає входів, щоб вказати адресу, запис і зчитування даних проводиться в порядку їх надходження через одну вхідну точку і одну вихідну [15].

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>56</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

В якості мікросхеми FIFO ми будемо використовувати SN74V245 (рис.3.8), яка підтримує тактову частоту до 133 МГц і мають час циклу читання/запису 7,5 нс.

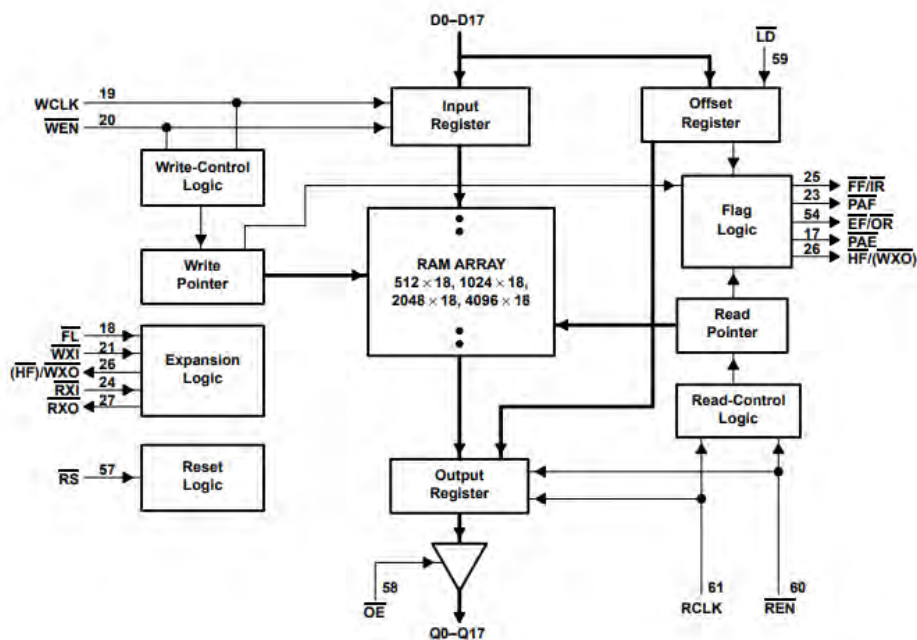


Рисунок 3.8. Функціональна схема мікросхеми SN74V245

### 3.3.5 Мікропроцесор

Для даної роботи було вирішено використовувати мікроконтролер сімейства STM32F7, вони мають цілу низку переваг: високопродуктивне ядро процесора Cortex-M7 забезпечує широкий функціонал та максимальну швидкодію; поєднання продуктивності та високої енергоефективності дозволяє використовувати ці мікроконтролери в додатках зі значними обмеженнями за рівнем споживання;

наявність розвиненої екосистеми, що поєднує широкий модельний ряд мікроконтролерів, готові рішення, програмні та апаратні засоби розробки та налагодження.

Усі пристрої STM32F7 оснащені трьома 12-розрядними АЦП, двома ЦАП, малопотужним RTC, тринадцятьма 16-розрядними таймерами загального

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>57</b>

призначення, включаючи два ШІМ-таймери для керування двигуном, двома 32-бітними таймерами загального призначення.

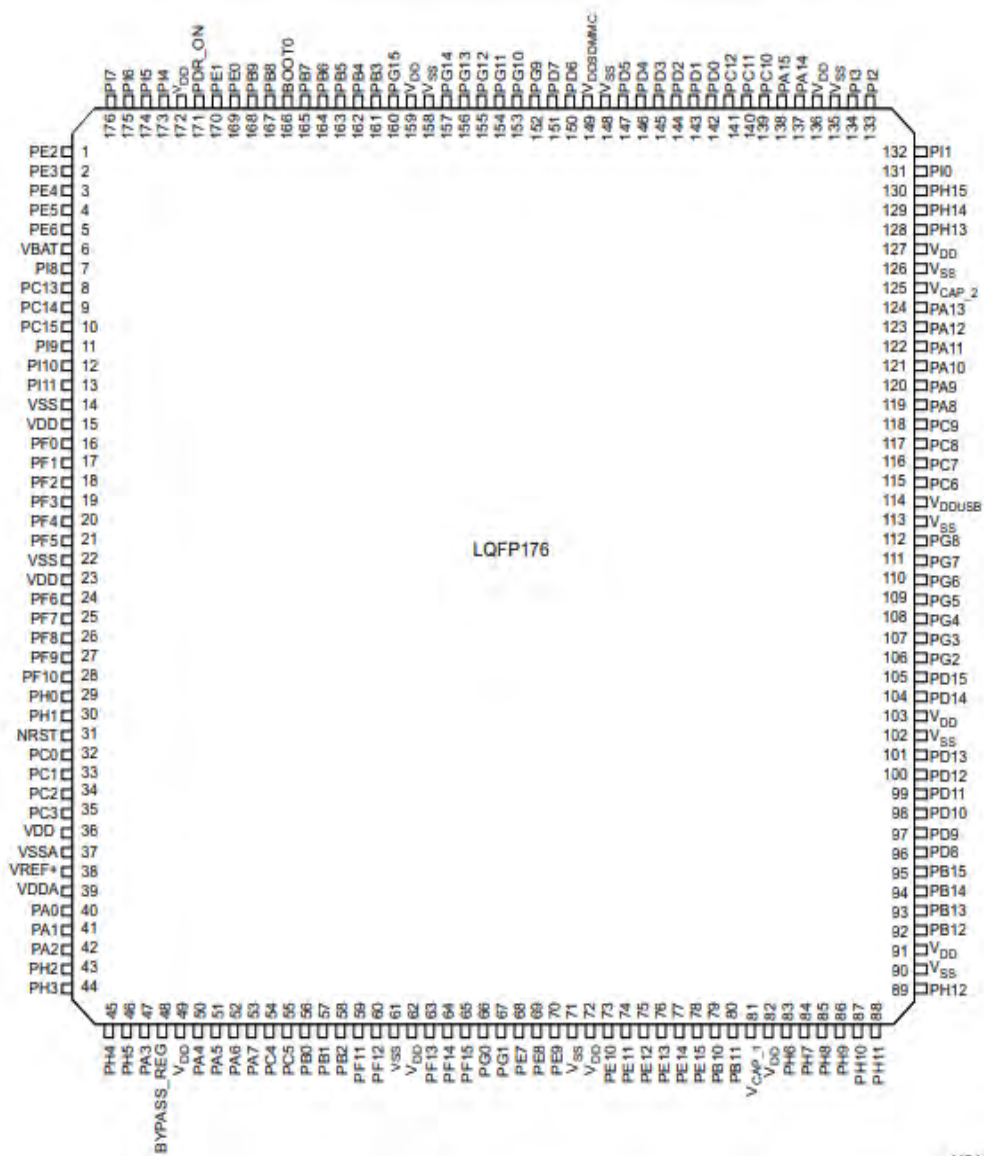


Рисунок 3.10. Корпус мікропроцесору серії STM32F7

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>58</b>

## РОЗДІЛ 4. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

Завдяки своїй чутливості до витоків і швидкості їх виявлення в режимі реального часу технологія акустичної емісії привернула загальну увагу.

Місце обробки інформації в процесі роботи акустико-емісійної системи відбувається на кроці 5.

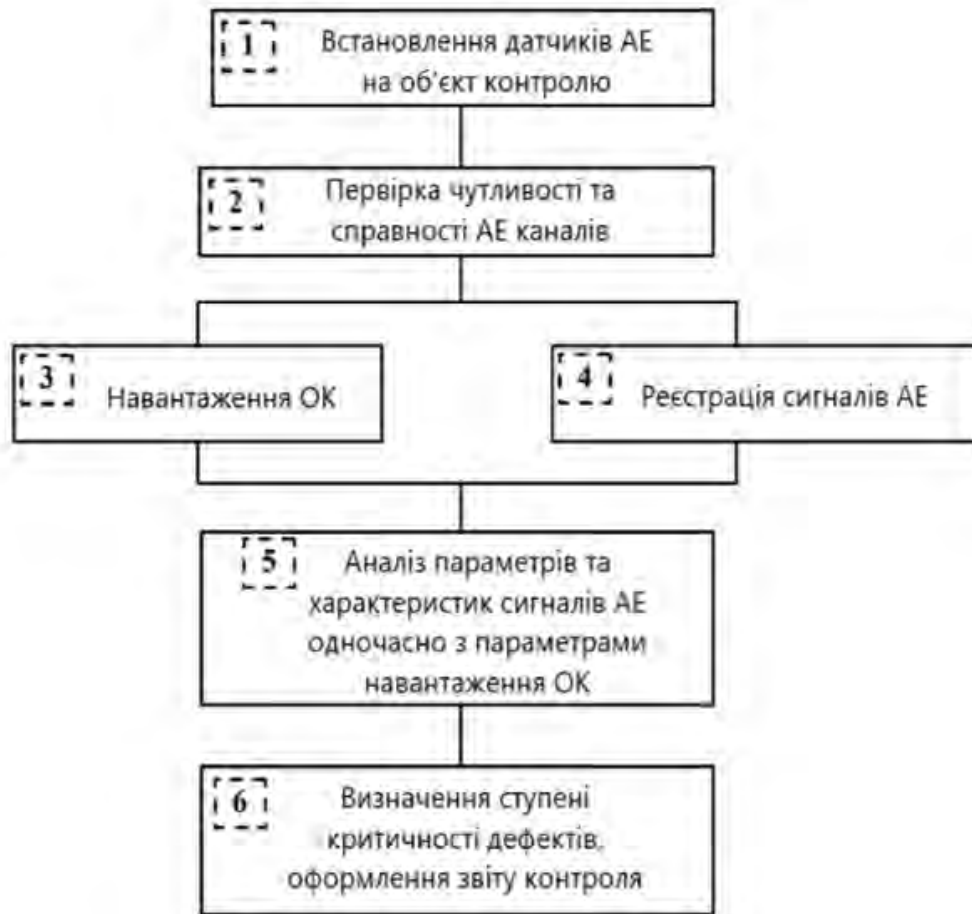


Рисунок 4.1. Алгоритм проведення акустико-емісійного контролю [14]

Сигнал акустичного випромінювання дефекту в трубопроводі містить інформацію про витік, однак шум у сигналі часто приховує пов'язану з витіком інформацію, роблячи традиційні параметри функції акустичної емісії, такі як кількість та енергія пікових значень, менш ефективними.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>59</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Пристрій обробки АЕ інформації містить у собі засоби відображення інформації та засоби управління АЕ системою, а також набір необхідного математичного забезпечення для чисельної оцінки прийнятого сигналу АЕ за різними параметрами проте не завжди це можна зробити якісно за допомогою виключно апаратної частини. Перспективним напрямом реалізації обробки даних видаються методи комп'ютерного зору, засновані на автоматизації обробки й аналізу зображень [22].

#### 4.1 Обробка даних на базі штучного інтелекту

Розглянемо один з варіантів обробки результатів контролю додатковим програмним забезпеченням (ПЗ) з використанням технології штучного інтелекту (ШІ). ШІ легко покращує процес автоматизації в кожній сфері життя і неруйнівний акустико-емісійний контроль не виключення, штучний інтелект допомагає виконувати завдання аналізу більш ефективно та результативно.

Методи глибокого навчання дозволяють виділяти ознаки дефектів із зображення акустичних сигналів без втручання людини. Проте залишається проблема через факт неочікуваних витоків все ще перешкоджає ідеальному аналізу результатів контролю. Методи глибинного навчання виділяють ознаки для їх ідентифікації, але вони не є 100% точними.

Витік у трубопроводі призводить до хвиль напруги. Датчики АЕ, встановлені на трубопроводах, реєструють ці хвилі напруги, коли вони проходять через стінки трубопроводу. Акустичні хвилі, пов'язані з витоком, викликають перехідні процеси в сигналі АЕ. Таким чином, традиційні характеристики АЕ, такі як час зростання, час затухання та лічильники, можуть бути вилучені з сигналу АЕ шляхом визначення порогу вище рівня безперервного фонового шуму. Попередньо визначений поріг для виділення ознак АЕ може призвести до помилкових тривог через наявність шуму в сигналі АЕ. Крім того, виділення

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>60</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

характеристик АЕ із сигналу та визначення порогу вище рівня безперервного фонового шуму потребує значного досвіду оператора. Щоб вирішити цю проблему, пропонується нова модель на основі глибокого навчання, яка витягує пов'язані з витоком характеристики з сигналу АЕ без втручання людини.

Щоб отримати характеристики, пов'язані з витоком, спочатку отримують акустичні зображення із сигналів акустичної емісії. Акустичні зображення (АЕ зображення) представляють собою частотно-часові масштаби сигналу акустичної емісії у вигляді зображення.

Акустичні зображення містять достатньо інформації про витік, оскільки інформація, пов'язана з витоком, має більш енергетичне представлення на скалограмі порівняно з шумом. Для виділення характеристик, пов'язаних із витоком, з акустичних зображень, вони були надані як вхідні дані для згорткового автокодеру та згорткової нейронної мережі.

Згортковий автокодер виділяє глобальні особливості, тоді як згорткова нейронна мережа витягує локальні особливості.

Запропонований метод перевірено еспериментально в джерелі [16] шляхом використання набору даних, отриманих на випробувальному стенді промислового трубопроводу. Запропонований метод виявлення течі був застосований до металеві сталевої труби.

Щоб використати пов'язаний із витоком перехідний процес у сигналі АЕ, запропонований метод перетворює сигнал АЕ в зображення АЕ. Потім запропонована модель глибокого навчання, витягує ознаки із зображень АЕ, отриманих з апаратної частини для виявлення витоків трубопроводу. Ідентифікація витоків проти нормального сигналу здійснюється на основі вилучених ознак.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>61</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



## Запропонований спосіб

Загальний алгоритм запропонованого методу проілюстровано на рисунку 4.2 [16].

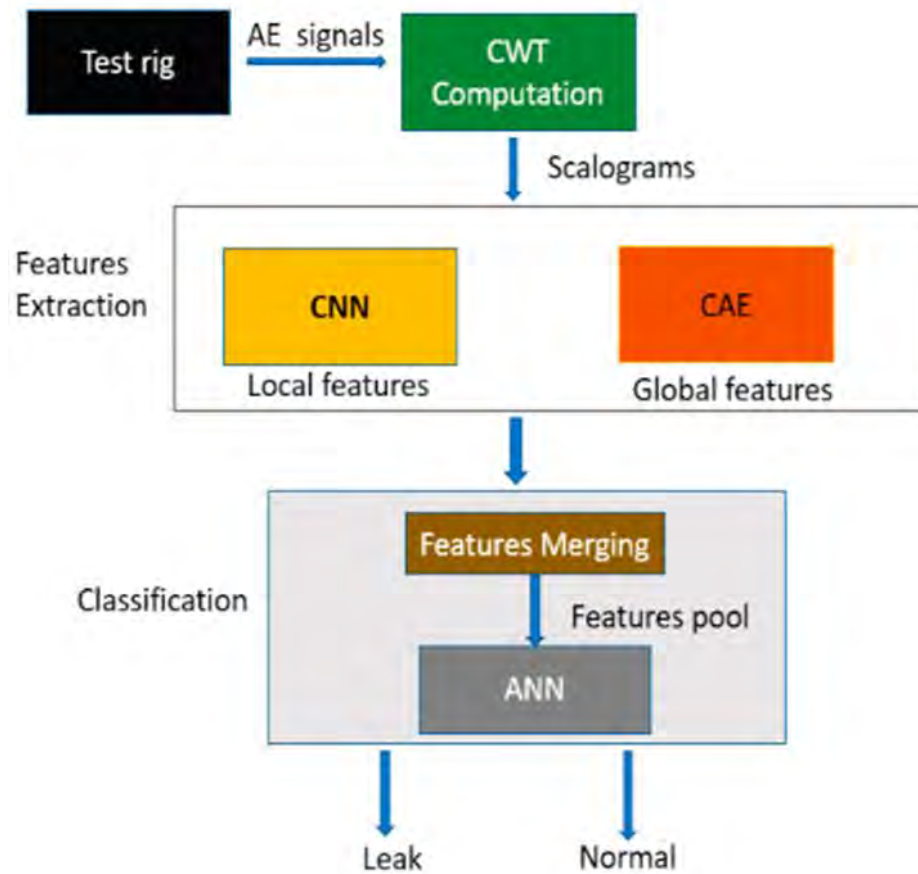


Рисунок 4.2. Алгоритм обробки результатів акустико-емісійного контролю на базі штучного інтелекту

### Етапи методу обробки інформації для виявлення витоків:

Крок 1: Сигнали АЕ збираються з випробувального стенда трубопроводу за допомогою датчиків АЕ;

Крок 2. Зображення АЕ отримують із сигналу АЕ шляхом його перетворення за допомогою CWT (Continuous wavelet transform). Скалограми CWT, отримані з сигналу АЕ, представляють сигнал у часовій області на різних

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>62</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

шкалах часу й частоти в 3D-зображенні, яке в цій статті називається зображенням АЕ. Зміна інтенсивності кольору на зображеннях АЕ показує зміну енергії в різних масштабах часу та частоти;

Крок 3: Щоб отримати дискримінантні ознаки, пов'язані з витоком, зображення АЕ надаються як вхідні дані для САЕ та CNN для вилучення глобальних і локальних особливостей відповідно. Згорточна нейронна мережа (ConvNet або CNN) — це штучна нейронна мережа (ANN - artificial neural networks), яка використовує алгоритми глибокого навчання для аналізу зображень, класифікації візуальних елементів і виконання завдань комп'ютерного зору.

Багато згорткових фільтрів CNN, які оброблюють вхідні скалограми, щоб отримати шаблони певних локальних частин АЕ сигналу, використовуються для вилучення половини набору корисних функцій, які називаються «локальними функціями». У той же час друга частина згорткового автокодувальника САЕ завершує обробку другої половини набору задних функцій, які «глобальними функціями». Локальні функції представляють зміни в енергії на більш детальному рівні, тоді як глобальні функції є загальними характеристиками акустичного сигналу в акустичному зображенні.

Ці функції високого рівня є основою вхідних даних, які допомагають автокодеру реконструювати вхідну скалограму.

Крок 4: Глобальні та локальні функції об'єднуються в один вектор об'єктів. Щоб визначити стан витоку трубопроводу, набір із глобальними та локальними функціями використовується для оцінки працездатності ОК через штучну нейронну мережу ANN.

Вектор ознак подається до ANN- неглибоку штучну нейронну мережу. Один вектор ознаки надається як вхідні дані для ANN для ідентифікації стану витоку трубопроводу за різних розмірів витоку та тиску. Як результат простір

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>63</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

ознак, отриманий від CNN–CAE, класифікується на стани «витоку» та «без витоку» трубопроводу за змінних умов витоку та тиску.

#### 4.2 Метод пошуку координат дефекту

Швидке та точне визначення місцезрештування дефекту досягається за допомогою чутливого методу акустичної емісії та ефективної обробки отриманих даних. Для визначення координат використовують такі способи, як пошук сигналу за напрямом, кореляційний та амплітудний.

Використовуючи спосіб пошуку сигналу за напрямком блок перетворювачів повертають довкола загальної осі до отримання максимального сигналу на виході. Максимум сигналу має місце, коли джерело сигналу знаходиться на прямому перпендикулярному відрітку, що з'єднує перетворювачі. Перевагою способу пошуку джерела сигналу за напрямом - отримання найбільшого відношення рівня сигналу до рівня власних шумів. Недоліком є двозначність вказання напрямку до місця розташування витоку.

Для локації течії в об'єктах із закритим доступом до поверхні застосовують кореляційний спосіб, який полягає у знаходженні на осі часу затримки максимуму взаємної кореляційної функції сигналів від джерел, розташованих між рознесеними перетворювачами АЕ. Затримка пропорційна відстані до джерела.

Принцип роботи пристроїв, заснованих на амплітудній локації, полягає в порівнянні амплітуд акустичних сигналів, що приймаються в різних точках поверхні об'єкта контролю. Координати джерела визначають за відомим згасанням акустичних коливань у вибраному діапазоні частот. Спосіб амплітудної локації найбільш підходить для контролю закритих об'єктів складної конструкції.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>64</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Наведений загальний метод аналізу даних контролю, підлягає автоматизації шляхом розробки програмного забезпечення.

Отже, з розглянутого розділу можна зробити висновок, що вже наявні в доступі та активно використовуються технології обробки великих об'ємів даних акустико-емісійного на для бази штучного інтелекту та різні алгоритми знаходження місцезоташування витоків. Об'єднавши ці два напрямки з'являється можливість для автоматизації процесу аналізу даних без участі висококваліфікованого спеціаліста, достатньо обізнаності оператора промислових установок в принципі роботи програми для реакції на сигнали системи та прийняття відповідних рішень.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>65</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

## **РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ВИТОКУ РІДИН В ТРУБОПРОВОДІ»**

### **5.1 Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту**

З огляду на розглянуті розділи 1-4 отримали висновок, що розробка автоматизованої акустико-емісійної системи для контролю витoku рідин в трубопроводі є актуальним рішенням ряду проблем як для промисловості так і для суспільства вцілому.

В даному розділі проведемо аналіз стартапу, основна ідея якого полягає в постійному моніторингу стану протяжних підземних та наземних трубопроводів за допомогою автоматизованої акустико-емісійної системи. Така система дозволить максимально швидко виявляти наявність дефекту, його місце розташування та локалізувати проблему, щоб не допустити втрат цінного продукту (нафта, аміак), впливу на навколишнє середовище та пошкодження важливої громадської інфраструктури.

Беручи до уваги, успішне застосування методу (АЕ) акустичної емісії для виявлення витоків у заповнених рідиною трубопроводах, дистанційний моніторинг трубопроводів може бути реалізований спеціально для локального постійного моніторингу відомих проблемних зон у підземних трубопроводах. Сучасні технології дозволяють розробити систему АЕ на сонячних батареях з бездротовим підключенням до Інтернету, яка підходить для віддаленого моніторингу, керування трубопроводами та значно розширюють можливості контролю.

Опис змісту стартап-проекту зазначено у таблиці 5.1.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>66</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка автоматизованої акустико-емісійної системи для контролю витоків в протяжних підземних трубопроводах	Постійний моніторинг трубопроводу для отримання даних про появу витoku, щоб швидко усунути дефект та повернути систему до робочого стану	Швидкість отримання даних
		Всі дані надходять в реальному часі
		Контроль всього підземного трубопроводу
		Локальний доступ до трубопроводу для встановлення датчиків

Отже, акустико-емісійна система має ряд переваг для вирішення проблем контролю витоків в протяжних підземних трубопроводах, адже фізично важко гарантувати цілісність трубопроводу довжиною одиниці або десятки кілометрів, який розташований під землею.

Інформаційна картка стартап-проекту наведена нижче, у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Інформаційна карта стартап-проекту

Назва стартап-проекту	Автоматизована акустико-емісійна система для контролю витoku рідин в трубопроводі
Проблематика, яку вирішує стартап- проект	Збільшення швидкості та точності визначення розташування місця витoku в підземних трубопроводах
Головні цілі та завдання проекту	Розробка акустико-емісійної системи: розрахунок параметрів контролю для підбору електричних елементів та розробки конструкції приладу, визначення принципів обробки результатів
Головні цільові групи, на які спрямований проект	Спеціалісти з неруйнівного контролю
Необхідні ресурси	Фінансові ресурси та інтелектуальні для розробки приладу
Загальні очікувані результати	Зручна у використанні система, яка потребує мінімум часу для впровадження та надає можливість постійного моніторингу цілісності підземного трубопроводу

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>67</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Після цього зробимо аналіз потенційних техніко-економічних властивостей нашої ідеї, які вигідно відрізняють її в порівнянні з ринковими пропозиціями інших конкурентів;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, 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 порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтрльні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.3) [23].

Таблиця 5.3. 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	Конкурент 1 Enigma	Конкурент 2 A-Line PCI-1			
1	Загальна вартість	22000	155000	30000			+
2	Можливість постійного моніторингу ОК	+	-	-			+
3	Автоматизована обробка результатів контролю	+	-	-		+	
4	Потреба у навчанні	+	+	+	+		

У таблиці 5.3. визначено перелік основних техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначені основні конкуренти в даній області, що вже давно існують на ринку та визначено слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту.

За таблицею 5.3 можна зробити висновок, що виявлена тільки одна слабка сторона стартап-проект – необхідність навчання персоналу для експлуатації даної системи або найняти працівників з відповідною кваліфікацією. Сильними сторонами є відносно низька вартість системи в порівнянні з аналогами, наявність автоматизованої обробки результатів контролю та можливість використання приладу для постійного моніторингу ОК.

Далі наведено аудит технологій, за допомогою яких є можливим розробити та реалізувати ідею стартап-проекту.

Технологічна можливість реалізації ідеї проекту включає в себе визначення технології, яку буде використано для втілення та розробки проекту, перевірка існування потрібних технологій або необхідність їх розробки та перевірка її доступності.

У таблиці 5.4 наведено аналіз даних складових:

Таблиця 5.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Автоматизована акустико-емісійна система для контролю витоку рідин в	Розрахунок конструктивних параметрів датчиків контролю та їх реалізація;	Наявна	Доступна

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>69</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



1	трубопроводі	розробка електричної схеми власними силами (2й та 3й розділи)		
		Покупка вже готових датчиків та схеми по подібним параметрам	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: вирішено розроблювати датчики та електричну схему власними силами для досягнення максимально якісних параметрів контролю, описано у другому та третьому розділі.				

За результатами даної таблиці бачимо, що за наявних технологій в нас є можливість самостійно реалізувати акустико-емісійну систему, використовуючи доступні компоненти для датчиків та електричної схеми, які були описані у попередніх розділах.

## 5.2 Аналіз ринкових можливостей стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Цей аналіз допомагає спланувати напрям розвитку, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.5).

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>70</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Таблиця 5.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	2
	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	20 000
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	95%

Аналіз Таблиці 5.5 показує, що ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому розробка даної системи є перспективною, а вихід на ринок доцільним.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.6).

Таблиця 5.6. 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	Швидка та точна система для визначенні місця розташування витоків/дефектів в підземному трубопроводі	Підприємства, приватні компанії, фізичні особи	Орієнтація деяких цільових груп може потребувати більш складні та точні системи	- Ефективність, - Низька ціна, - Висока швидкість - Простота встановлення - Довговічність

В даній таблиці були описані сегменти ринку і цільова аудиторія та її основні вимоги до товару, основні характеристики системи, які формують

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>71</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

поведінку клієнтів відносно розроблюваної системи.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 5.7). Тож буде доцільно провести аналіз факторів ризику та можливостей при виведенні товару на ринок.

Таблиця 5.7. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Новизна	Даний продукт є схожим на вже існуючі, але є суттєво відмінний функціонал, який може викликати початкову недовіру в потенційних клієнтів	Наукове обґрунтування та підтвердження можливостей, що дає продукт, рекламна кампанія Демонстрація успішно реалізованих експериментів та надання контактів клієнтів, які вже успішно користуються системою.
2.	Невідомість	Клієнти не мають довіри до нової компанії	Пропозиції по обслуговуванню і знижки для клієнтів
3.	Клієнтська база	На подібному ринку існує складність набору клієнтської бази	Рекламування продукції, надання безкоштовно в навчальні центри та заклади
4.	Конкуренція	Вихід на ринок конкурента	Знизити ціну на систему, запропонувати знижку при обслуговуванні, особливі умови підтримки протягом певного терміну, постійно вдосконалити систему
5.	Обов'язкова наявність комп'ютера	Для використання продукту є необхідність в наявності персонального комп'ютера	Адаптація ПЗ під будь-яку операційну систему, допомога в налаштуванні та встановленні ПЗ

В Таблиці 5.7. було визначено можливі фактори загроз, такі як: новизна, невідомість системи, клієнтська база, наявність конкуренції та обов'язкова

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>72</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

наявність комп'ютера. Вони в майбутньому можуть перешкоджати ринковому впровадженню нашого проекту. Також було визначено можливу реакцію компанії на загрози та шляхи їх усунення.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Простота встановлення	Простота встановлення великої кількості датчиків на поверхню трубопроводу	Акцентування уваги на простоті використання
2.	Легкість Інтерпретації результатів	Система на виході дає оброблені дані з датчиків та тільки необхідну інформацію	Акцентування уваги на використанні користувачем (при бажанні) зроблених висновків самою системою
3.	Відсутність систем з повністю ідентичним функціоналом	На даний час відсутні системи з такою ж точністю і ціною	Акцентування уваги покупців на меншій ціні
4.	Можливість держзакупок	Можливість закупок державними установами	Участь в тендерах
5.	Виставки, конференції	Можливість представити систему на тематичних виставках та конференції	Представлення системи на виставках пов'язаних з Обладнання для неруйнівного контролю

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>73</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

В таблиці 5.8. були визначені фактори можливостей такі як: простота використання, легкість інтерпретації результатів, відсутність систем з повністю ідентичним функціоналом, можливість держзакупок та приймання участі у тематичних виставках та конференціях. Вони будуть сприяти ринковому впровадженню даного проекту.

Далі в таблиці 5.9 проведемо аналіз ринку для визначення загальних рис конкуренції, наявних на ринку та можливості подальшого формування стратегії.

Таблиця 5.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції: Оліпологія	Існує декілька схожих систем	Якісне обслуговування і продукція, доступна ціна
2. За рівнем конкурентної боротьби: Міжнародний	Представники в багатьох країнах	Вихід продукції на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою: Внутрішньогалузева	В межах однієї галузі	Зниження цін, проведення акцій для клієнтів
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Пропонуються товари одного виду	Зручний, зрозумілий та простий інтерфейс, реклама
5. За характером конкурентних переваг: Нецінова	Відсутність проектів з такими особливостями	Введення нових і підтримка існуючих особливостей які необхідні для клієнтів
6. За інтенсивністю: Марочна	Існуючі виробники володіють аудиторією і відомістю в цій галузі	Отримання держзамовлень і розширення ринку

В даній таблиці ми зробили аналіз ринку збуту нашого продукту і

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>74</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

визначили загальні риси конкуренції на ньому, як видно з таблиці, немає факторів, які б сильно обмежували вихід даного продукту на ринок.

Далі в таблиці 5.10 проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
А-Line PCI-1		Можливість створення аналогу продукту відомими компаніями	Постачальники не мають ніякого впливу на ринок	Ціна і якість обслуговування	Присутні
Висновки:	Невелика конкуренція	Постійне вдосконалення системи щоб потенційні конкуренти не могли стати прямими конкурентами	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та доступної за ціною системи	Це не має значного впливу на конкуренцію, тому їх дуже мало і вони мають значно більшу ціну

Після аналізу таблиці можна зробити висновок, що за даного рівня конкуренції робота на даному ринку можлива. Були визначені визначені характеристики, які повинен мати проект та дії, які повинна проводити компанія, щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

В таблиці 5.11 визначимо фактори конкурентоспроможності на основі аналізу конкуренції із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища.

Таблиця 5.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціновий	Невисока вартість
2	Параметри	Прилад має достатню точність та швидкість
3	Сервісне обслуговування	Якісне обслуговування кваліфікованим персоналом
4	Програмне забезпечення	Обробка результатів контролю на базі вбудованого ПЗ з зручним інтерфейсом для аналізу результатів
5.	Кількість конкурентів	Системи що існують зараз на ринку не можуть аналізувати зображення на предмет наявності захворювання

За визначеними факторами конкурентоспроможності в таблиці 5.11 проведемо аналіз слабких та сильних сторін проекту.

Таблиця 5.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Системи автоматизованого аналізу рентгенівських знімків легень»

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	20							+
2	Точність	15				+			
3	Швидка система	17			+				
4	Наявність патентів	10	+						
5	Технічна підтримка	15			+				
6	Додатковий функціонал	15	+						

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>76</b>

За даними таблиць 5.11 та 5.12 можна побачити, що фактори конкурентоспроможності дадуть значну перевагу при виходу на ринок з новою системою акустико-емісійного неруйнівного контролю витоків з трубопроводів. Основні перевага даного продукту в якісному виконанні та наявності додаткових функцій відсутніх у конкурентів.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, тобто матриці аналізу сильних – Strength та слабких – Weak сторін, загроз – Troubles та можливостей – Opportunities (див. таблицю 5.13), на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін [24, 25].

Таблиця 5.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вартість</li> <li>2. Мала кількість конкурентів</li> <li>3. Сервісне обслуговування</li> <li>4. Наявність додаткових функцій</li> <li>5. Простота впровадження системи</li> <li>6. Покращені характеристики</li> </ol>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Новизна та наявність недовіри</li> <li>2. Невідомість для покупців</li> <li>3. Обов'язкова кваліфікація користувача</li> <li>4. Обов'язкова наявність персонального комп'ютера</li> </ol>
<p><b>Можливості:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відсутність систем з ідентичним функціоналом</li> <li>2. Простота використання</li> <li>3. Легкість та зручність інтерпритації результатів контролю</li> <li>4. Можливість держзакупок</li> <li>5. Участь у тематичних конференціях та виставках</li> </ol>	<p><b>Загрози:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Невідомість</li> <li>2. Відсутність клієнтської бази</li> <li>3. Новизна</li> <li>4. Конкуренція</li> </ol>

На основі SWOT-аналізу розробляються 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.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>77</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



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

Таблиця 5.14. 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	3-4 місяці
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Середня	2 місяці
3	Отримання держзамовлень	Середня	5 місяців
4	Розширення функціональних можливостей	Висока	6 місяці

Проаналізувавши дані з таблиці 5.14 можна зробити висновок, щодо можливості ринкового впровадження стартап-проекту. Основною альтернативою нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу та розширення функціональних можливостей. Це можливо за рахунок характеристик розробленої системи та високим рівнем обслуговування, а також можливості впровадження покращень системи на базі відгуків споживачів.

### 5.3 Розробка MVP

MVP (Minimum Viable Product). Необхідно показати можливість втілити ідею в життя на основі першої мінімальної версії працюючого продукту, яким вже можуть користуватися клієнти [24, 26].

Таблиця 5.24 Формування MVP продукту стартапу

Проблема, що вирішується	Потрібно постійно моніторити наявність дефектів в трубопроводі, тому що дефекти в трубопроводах завжди мають значний фінансовий, екологічний або громадський вплив.
Ідея продукту	Розробити прилад, який дозволить виявляти дефекти, що розвиваються та вже наявні з високою точністю, з ефективною системою обробки даних, простою у використанні, дешевизною порівняно з конкурентами.
MVP 1	Дефектоскоп стаціонарного типу
MVP 2	Компактний дефектоскоп з невеликим екраном
MVP 3	Портативний дефектоскоп
MVP 4	Автоматизований система контролю

*Головна проблема:* Коли людство почало масово виробляти різні металеві деталі для транспорту, промисловості, будівництва і т.д. постало питання в контролі якості нових виготовлених деталей та вже використовуваних, адже дефекти в деталі можуть призвести до руйнування всього об'єкта та нанести значної шкоди, як людям так і бізнесу, процесу виробництва, природі.

MVP 1: Габаритний дефектоскоп, який важко переміщувати, працює від мережі, необхідний постійний контролю спеціалістом з значним досвідом, невисока точність. Як дізнаватися точні характеристики дефекту та місце розташування, а не тільки інформацію про наявність?

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>79</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

MVP 2: Компактний дефектоскоп, працює від мережі, вища точність, має невеликий екран для відображення появи дефекту на графіку та отримання його додаткових характеристик, залучення спеціаліста. Як контролювати об'єкти довгої протяжності або великих розмірів ?

MVP 3: Портативний дефектоскоп працює від акумулятора, менші габарити, екран для відображення дефекту, автоматичний розрахунок розмірів дефекту та положення, бездротова передача даних, залучення спеціаліста. Як впровадити постійний контроль промислової конструкції?

MVP 4: Автоматизована обробка отриманих результатів контролю (виключається людський фактор), немає необхідності залучення спеціаліста достатньо навчального курсу для оператора об'єкту, виводить всі результати на монітор, а також зберігає результати в пам'яті, можливе передавання результатів одразу на комп'ютер або телефон.

#### **5.4 Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проекту**

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>80</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Таблиця 5.15. 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	Державні інспекційні служби	Висока	Середній	Середня	Середня
2	Навчальні центри/заклади	Висока	Середній	Низька	Висока
3	Приватні Сертифікаційні організації	Висока	Середній	Висока	Середня
4	Приватні промислові компанії	Середня	Високий	Висока	Середня
5	Приватні особи	Середня	Низький	Низька	Висока
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати з усіма цільовими групами потенційних клієнтів.					

На базі результатів аналізу 5.15 можна вибрати декілька потенційних груп користувачів: державні інспекційні служби, навчальні центри, приватні сертифікаційні, організації, приватні промислові компанії, приватні особи. Серед даних груп користувачів найбільш перспективним є приватні промислові компанії (в технологічному процесі задіяні трубопроводи), адже саме вони найбільше зацікавлені в таких автоматизованих акустико-емісійних системах контролю трубопроводів, найменша зацікавленість прогнозується серед приватних осіб тому що дана система найкраще підходить для використання на промисловості.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 5.16).

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>81</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Вдосконалення	Диференційний маркетинг	Ціна, підвищені характеристики, розширений функціонал	Стратегія диференціації

За базову для даного стартап-проекту візьмемо стратегію диференціації, яка передбачає надання товару важливих, з точки зору споживача, відмінних властивостей, які створюють систему, яка відрізняється від тієї, що наявна в конкурентів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 5.17).

Таблиця 5.17. 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	Компанія буде працювати з усіма	Компанія не буде копіювати основні характеристики конкурентів	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці 5.17 проведено аналіз поведінки в конкуренції на основі чого було обрано стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект (таблиця 5.18).

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>82</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Таблиця 5.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту (триключових)
1	Ціна, якість, швидкість, точність, обслуговування	Стратегія диференціації	Ціна, точність, швидкість, простота впровадження, зручність інтерпретації результатів після обробки	Ефективність. Ціна. Технічна підтримка.

Результатом аналізу ринкової стратегії проведеного в даному підрозділі за допомогою таблиць 5.15 – 5.18 є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач.

У таблиці 5.19 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Низька ціна	Невисока вартість порівняно з конкурентами, доступність	Узгодження ціна-якість, збільшення кількості клієнтів, програми лояльності для нових клієнтів
2	Якісне обслуговування	Швидке і якісне, кваліфіковане, обслуговування	Беззаперечна якість в обслуговуванні, суворий відбір обслуговуючого персоналу

В результаті аналізу було отримано ключові переваги нашого товару, а також зроблено висновки, які переваги потрібно створити, щоб залишатися конкурентно спроможними.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>83</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару: уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 5.20).

Таблиця 5.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована акустико-емісійна система для контролю витoku рідин в трубопроводі		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Точність, швидкість	Нм	Тх
	2. Вартість (Низька системи та її обслуговування)	М	Е
	3. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	Якість: тестування в реальних умовах експлуатації		
Пакування: кейс з набором всіх пристроїв необхідних для монтування та підключення системи			
Марка: назва організації розробника			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Демонстрація можливостей системи		
	Після продажу: після продажне підтримка та обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патент			

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або спеціалізованими програмними методами які захищають від несанкціонованого втручання в роботу програми, і унеможливають роботу програми без ліцензійної покупки.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>84</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (таблиця 5.21).

Таблиця 5.21. 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	30000 – 100000	15000-25000	200 000	18 000-28 000

В даній таблиці проведено аналіз ринкової ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За допомогою отриманих даних встановлюємо верхню та нижню межу на нашу систему.

Система збуту нашого проекту має наступний вигляд (табл. 5.22).

Таблиця 5.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	По одиночні Замовлення Продаж в розбрід	Прямий продаж	Висока	Проведення збуту власними силами

Було розроблено варіант комунікацій між споживачами та виробниками.

В нашому випадку це робота напряду через прямий продаж.

Розробимо концепцію маркетингової комунікації, котра опирається на

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>85</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



попередньо обрану основу для позиціонування, обрану специфіку поведінки користувачів (таблиця 5.23).

Таблиця 5.23. 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, своєчасна підтримка	Інтернет, виставки, конференції	Ціна, точність, швидкість	Акцентувати увагу на новизну і відсутність аналогів на нашому ринку, а також акцентування ціни	Ціна-якість, простота, точність, ефективність

Отже, результатом налізу маркетингової програми даного підрозділу є ринкова програма яка включає концепцію товару, який будуть використовувати наші потенційні користувачі на базі цього та опису рівнів товару, проведений аналіз цін та визначені межі ціни для системи даного стартап-проекту. Після аналізу системи збуту для даної систему обрано як найоптимальніший варіант збут власними силами. Визначено основні шляхи комунікації з клієнтами та ключові моменти для зацікавлення та підтримання інтересу клієнтів як потенційних так і постійних.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>86</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

## 5.5 Висновок до розділу

Аналіз стартап-проекту під назвою «Автоматизована акустико-емісійна система для контролю витоку рідин в трубопроводі» показав можливість ринкової реалізації проекту. За результатами проведені аналіз різноманітних напрямків можна зробити висновок, що дана система має потенціал для виходу на ринок та має запас конкурентоспроможності.

Очікується, що попит на наведену систему акустичного-емісійного обладнання буде зростати через розвиток інфраструктури та обладнання в країнах, що розвиваються, і їх старіння в розвинених країн. Крім того, технологічний прогрес в апаратному і програмному забезпеченні обладнання для акустичної емісії та поява можливості автоматичної аналітики великих об'ємів даних на базі штучного інтелекту дозволить розширити функціональні можливості таких систем та підтримувати конкурентоспроможність на ринку.

В результаті проведеного аналізу також були визначені слабкі сторони, що дозволить сконцентруватися на даних пунктах та частково або повністю усунути, що значно збільшить привабливість системи на ринку.

Оскільки за аналізом базової стратегії конкурентної поведінки було обрано частково зайняття конкурентної ніші одним з основних завдань для розробників даного стартап-проект буде це постійна турбота про підтримку і розвиток конкурентоспроможності продукту, формування лояльності і прихильності споживачів за допомогою впровадження якісної та кваліфікованої підтримки, концентрація на сильних сторонах та їх розвиток відповідно до рівня технологічного прогресу у світі.

Виготовлений прилад буде відповідати міжнародним стандартам ISO для приладів акустико-емісійного неруйнівного контролю, планована вартість не буде перевищувати інше схоже за функціоналом обладнання при значних перевагах для контролю трубопроводів. Новизна, сертифікованість, набутий

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>87</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

досвід місцевого ринку та нижча вартість порівняно з подібними іноземними системами надасть змогу з часом вийти на міжнародний ринок.

Організований захист на ідею виконаної системи у вигляді патенту.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>88</b>

## ВИСНОВОК

Розробка приладу для автоматизованого акустико-емісійного контролю трубопроводів для транспортування води, нафти або аміаку є перспективним та критично важливим напрямком, оскільки подібні системи використовуються у всьому світі, дефекти в трубопроводах завжди мають значний фінансовий, екологічний або громадський вплив.

Акустична емісія є чудовим інструментом для виявлення та локалізації витоків у заглиблених та протяжних магістральних трубопроводах. Даний вид контролю дозволить швидко реагувати на виникнення критичних дефектів та попереджувати їх появу, виявляючи зростаючі дефекти. Доступ до трубопроводу потрібен тільки локально для монтажу датчиків АЕ, що значно спрощує контроль підземної інфраструктури. Автоматизована обробка результатів проведення контролю облегшить процес аналізу даних, зробить його більш ефективним та незалежним від людського фактору. Також можливості сучасних смартфонів, які мають значну обчислювальну потужність і великі ресурси пам'яті, роблять їх привабливими для застосування в таких областях неруйнівного контролю, як моніторинг стану конструкцій, контроль цілісності об'єктів під-вищеної небезпеки [24, 27], що дозволить зробити процес контроль не прив'язаним до конкретного приладу чи робочого місця.

Наразі в багатьох різних напрямках промисловості хімічній і нафтохімічній шукаються нові рішення в області діагностичних досліджень, які дозволяють точно оцінити технічний стан підземних внутрішньозаводських трубопроводів, що працюють протягом тривалого часу, підвищити їх надійність і безпеку експлуатації. Система акустико-емісійного автоматизованого контролю найкраще підійде для вирішення цього питання.

В даній роботі проведено аналіз об'єкту контролю типу магістральні трубопроводи, дефектів, які в ньому виникають та реалізації виявлення даних

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>89</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

дефектів за допомогою акустико-емісійної системи. Проведено розрахунки перетворювача акустичної емісії та відображено на складальному кресленнику. Спроектовано електричну частину системи у вигляді структурної, функціональної та принципової схем, виконано розрахунок та підбір електричних елементів. Проаналізовано можливості автоматизації процесу обробки результатів даних на предмет виявлення факту появи дефекту та знаходження його місця розташування за допомогою штучного інтелекту та інших алгоритмів обробки інформації. Розроблено повний алгоритм проведення акустико-емісійного контролю магістральних трубопроводів. Також проведено аналіз ринку та перспектив реалізації системи за допомогою розробки старта проекту.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>90</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] Damage mechanism identification in composites via machine learning and acoustic emission [Електронний ресурс] / [C. Muir, B. Swaminathan, A. Almansour та ін.] // npj Computational Materials volume 7, Article number: 95 (2021). – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nature.com/articles/s41524-021-00565-x>.

[2] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263

[3] Humbare R. Acoustic Emission Equipment Market by Product Type. Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019–2027 [Електронний ресурс] / R. Humbare, V. Kumar // Electronic Systems and Devices. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.alliedmarketresearch.com/acoustic-emission-equipment-market-A06648>.

[4] Трубопроводи: еволюція транспортування рідин і газів [Електронний ресурс] // Метінвест. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://metinvestholding.com/ua/media/news/truboprovodi-evolyuciya-transportirovki-zhidkosteji-gazov>.

[5] Білецький В. С. Трубопровід [Електронний ресурс] / В. С. Білецький, Ю. Г. Світлий // Велика українська енциклопедія. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://vue.gov.ua/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4>.

[6] 16 types of Pipelines and their construction method [Електронний ресурс] // The Construction Encyclopedia – Режим доступу до ресурсу: [https://theconstructor.org/structural-engg/structural-design/types-pipeline-construction-method/1854/#5\\_Water\\_Pipeline](https://theconstructor.org/structural-engg/structural-design/types-pipeline-construction-method/1854/#5_Water_Pipeline).

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>91</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

[7] Агабалаев Р. Класифікація дефектів трубопровода [Електронний ресурс] / Расим Агабалаев // Національний дослідницький університет імені І.М. Губкіна. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://ppt-online.org/508248>.

[8] Anastasopoulos A. Acoustic emission leak detection of liquid filled buried pipeline [Електронний ресурс] / A. Anastasopoulos, D. Kourousis // ResearchGate. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/266178689\\_Acoustic\\_emission\\_leak\\_detection\\_of\\_liquid\\_filled\\_buried\\_pipeline](https://www.researchgate.net/publication/266178689_Acoustic_emission_leak_detection_of_liquid_filled_buried_pipeline)

[9] Palmer-Jones R. International Conference on The Evaluation and Rehabilitation of Pipelines Prague, October 2008 © Page 1 of 27 A Proposal for the Development of an International Recommended Practice in Pipeline Defect Assessment and Repair Selection [Електронний ресурс] / R. Palmer-Jones, S. Turner // Penspen – Режим доступу до ресурсу: <https://www.penspen.com/wp-content/uploads/2014/09/defect-assessment-and-repair.pdf>

[10] Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с

[11] Аміакопровід Тольятті — Одеса [Електронний ресурс] // Wikipedia – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Аміакопровід>.

[12] Citation: Ahmad, S.; Ahmad, Z.; Kim, C.-H.; Kim, J.-M. A Method for Pipeline Leak Detection Based on Acoustic Imaging and Deep Learning. Sensors 2022, 22, 1562. <https://doi.org/10.3390/s22041562>

[13] BARAN I. ACOUSTIC EMISSION TESTING OF UNDERGROUND PIPELINES OF CRUDE OIL OF FUEL STORAGE DEPOTS [Електронний ресурс] / I. BARAN, I. LYASOTA, K. SKROK // 32nd European Conference on Acoustic Emission Testing. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.ndt.net/article/ewgae2016/papers/15\\_paper.pdf](https://www.ndt.net/article/ewgae2016/papers/15_paper.pdf).

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>92</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

[14] Бабак В. П. Теоретичні основи інформаційно-вимірjувальних систем : посібн. / В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Єременко ; під. ред. чл.-кор. НАН України В. П. Бабака. — Київ, 2014. — 832 с

[15] Нижник Ю. «Ультразвуковий дефектоскоп для контролю осей колісних пар трамваїв» [Електронний ресурс] / Юлія Нижник. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://asnk.kpi.ua/index.php/studentu/biblioteka-2/54-anotatsii/spetsialisty/671-nizhnik-yu-m-ul-trazvukovij-defektoskop-dlya-kontrolyu-osej-kolisnikh-par-tramvayu>.

[16] Ахмад С.; Ахмад З.; Кім К.-Х.; КімЖ.-М. Метод виявлення витoku трубопроводу на основі акустичного зображення та глибокого навчання. Датчики 2022 рік, 22, 1562. <https://doi.org/10.3390/s22041562>

[17] Марасанов В. В. Статистична Обробка Сигналів Акустичної Емісії Та Їх Параметрів [Електронний ресурс] / В. В. Марасанов, О. В. Шарко, А. В. Шарко. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jun/12972/1198-107.pdf>.

[18] Згорткові нейронні мережі (CNN): Вступ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://techukraine.net/згорткові-нейронні-мережі-cnn-вступ/>.

[19] How to Inspect a Structure Using Acoustic Emission Testing? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://theconstructor.org/practical-guide/155456/#Continuous\\_Acoustic\\_Emission\\_Test](https://theconstructor.org/practical-guide/155456/#Continuous_Acoustic_Emission_Test).

[20] Шаповалов Е.В. Современные методы и средства неразрушающего контроля сварного соединения, выполненного контактной точечной сваркой (Обзор) / Е.В. Шаповалов, Р.М. Галаган, Ф.С. Клишар, В.И. Запара // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Київ. – 2013. – № 1. – С. 10-22.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>93</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



[21] Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Галаган Р.М., Муравйов О.В., Момот А.С. Бездротові технології в автоматизації неруйнівного контролю. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том 32 (71), № 5. с. 25-29.

[22] Сторожик Д. В. Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов, А. Г. Протасов, В. Г. Баженов, Г. А. Богдан // Наукові вісті КПП. – 2020. № 2. – С. 82-87.

[23] Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

[24] Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с. – Назва з екрана.

[25] Куц Ю.В. Новітні системи та технології: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.

[26] Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.

[27] Куц Ю.В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>94</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

**Додаток №1**

**Складальний кресленик**

Надається за запитом до розробників

**Додаток №2**

**Деталювання кришка**

Надається за запитом до розробників

**Додаток №3**

**Деталювання корпус**

Надається за запитом до розробників

**Додаток №4**

**Специфікація до складального креслення**

Надається за запитом до розробників

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>95</b>

**Додаток №5**  
**Структурна схема**

Надається за запитом до розробників

**Додаток №6**  
**Функціональна схема**

Надається за запитом до розробників

**Додаток №7**  
**Принципова схема**

Надається за запитом до розробників

**Додаток №8**  
**Специфікація до принципової схеми**

Надається за запитом до розробників

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
						<b>96</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

**Додаток №9**

**Алгоритм роботи системи**

Надається за запитом до розробників

					<b>ПК11.100000.000ПЗ</b>	<b>Лист</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>97</b>