

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОГРАМУВАННЯ

До захисту допускається  
в.о. завідувача кафедри \_\_\_\_\_ О.І. Захожай  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

На тему:

**МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ  
БАГАТОКАНАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИМІРЮВАННЯ  
ВІДСТАНИ ДЛЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Освітній рівень “Магістр”

Спеціальність 126 “Інформаційні системи та  
технології”

Студент групи ІСТ-23дм:

А.А. Орловський

Науковий керівник роботи:

О.І. Захожай

Київ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет	Інформаційних технологій та електроніки
Кафедра	Інформаційних технологій та програмування
Освітній рівень	Магістр
Спеціальність	126 Інформаційні системи та технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ О.І. Захожай

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Орловському Андрію Анатолійовичу

1. Тема роботи **Метод та інформаційна технологія багатоканального ультразвукового вимірювання відстані для засобів автоматизації,**  
керівник проекту (роботи) **Захожай Олег Ігорович, д.т.н., доц.,**  
затверджені наказом вищого навчального закладу від «\_\_» 11 2023 р. № \_\_\_\_/15.15
2. Строк подання студентом роботи **01.12.2023**
3. Вихідні дані до роботи **Матеріали науково-дослідної практики, науково-методична література; дані інтернет-мережі;**
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) **Метод багатоканального ультразвукового вимірювання, інформаційна технологія підвищення достовірності отриманого результату вимірювання**

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Електронна презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 21.10.2023

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз питання та постановка завдання дослідження	21.10.23 – 01.11.23	
2	Розробка методу підвищення достовірності ультразвукового вимірювання відстані	01.11.23 – 09.11.23	
3	Розробка інформаційної технології підвищення достовірності ультразвукового вимірювання відстані	09.11.23 – 16.11.23	
4	Оформлення роботи та підготовка доповіді	16.11.23 – 01.12.23	
4			
5			

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Орловський А.А.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Захожай О.І.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 сторінок, 34 рисунки, 1 таблиця, 22 джерела посилань.

Об'єктом дослідження є методи та інформаційні технології обробки даних в системах ультразвукового вимірювання лінійних відстаней.

Мета роботи – удосконалення процесів обробки даних в системах ультразвукового вимірювання лінійних відстаней в напрямку покращення точності і розширення діапазону вимірювання.

Відповідно до поставленого завдання в роботі проводиться розробка нового методу покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків, розробка нового алгоритму пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в багатоканальній системі ультразвукового вимірювання, а також адаптація методу градієнтного спуску для пошуку областей вимірювання для кожного датчика. Запропоновано нову інформаційну технологію визначення достовірного результату вимірювання в системах ультразвукових датчиків, що базується на використанні апарату розпізнавання образів.

Робота виконана за період навчання в магістратурі з 01 вересня 2022 року по 01 грудня 2023 року на кафедрі інформаційних технологій та програмування.

**УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАТЧИК, УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА, ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ВІДСТАНЕЙ, ПОКРАЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ, РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАННЯ, МЕТОД ГРАДІЄНТНОГО СПУСКУ.**

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз предметної області.....	11
1.1 Загальні відомості щодо ультразвукових систем вимірювання...	11
1.2 Області застосування ультразвукових датчиків .....	14
1.3 Різновиди ультразвукових датчиків.....	19
1.4 Аналіз питання і постановка задачі.....	22
1.5 Висновки до розділу 1.....	23
2 Аналіз і моделювання ультразвукових систем вимірювання лінійної відстані .....	25
2.1 Особливості ультразвукової хвилі.....	25
2.2 Методика вимірювання відстані.....	27
2.3 Дослідження характеристик датчиків.....	29
2.4 Моделювання ультразвукового датчика.....	34
2.5 Висновки до розділу 2.....	37
3 Розробка методу та інформаційної технології покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків.....	39
3.1 Метод покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків.....	39
3.2 Інформаційна технологія пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в багатоканальній системі ультразвукового вимірювання.....	43
3.3 Метод визначення достовірного результату вимірювання в запропонованому методі ультразвукового вимірювання.....	47

3.3 Висновки до розділу 3.....	56
4. Інформаційна технологія багатоканального ультразвукового вимірювання лінійної відстані.....	57
4.1 Структурно-логічна схема послідовності виконання операцій в інформаційній технології багатоканального ультразвукового вимірювання лінійної відстані .....	57
4.2 Імітаційне моделювання системи ультразвукових датчиків .....	60
4.3 Висновки до розділу 4.....	64
Висновки.....	66
Перелік посилань.....	68

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Методи і засоби ультразвукового вимірювання відстані широко використовуються у сучасній техніці для рішення різноманітних прикладних задач, у тому числі в автоматизованих системах контролю та управління [1, 2]. Серед найпоширеніших застосувань ультразвукових систем вимірювання можна відокремити [2]:

- системи контролю положення та переміщень фізичних об'єктів;
- системи ідентифікації механічних перешкод;
- робото-технічні системи визначення положень технологічних об'єктів і матеріалів (у тому числі сипучих і прозорих);
- визначення рівня заповнення резервуарів, визначення їхнього об'єму та конфігурації;
- визначення діаметру та швидкості переміщення механічних об'єктів;
- контроль деформацій, провисань, розривів механічних деталей та конструкцій;
- підрахунок кількості механічних об'єктів и контроль проміжків.

Таке широке використання ультразвукових систем вимірювань пов'язане з низкою наступних переваг:

- безконтактний, неруйнівний контроль та вимірювання;
- широкий діапазон відстані, що вимірюється;
- інваріантність до широкого спектру можливих перешкод, включаючи електромагнітні та радіоактивні;
- можливість ефективного використання за умови значного запилення, забруднення, туману, задимленості та ін.;
- можливість функціонування у агресивних середовищах.

За умови постійного збільшення попиту на ультразвукові системи вимірювання існує необхідність покращення експлуатаційних показників, підвищення точності та розширення діапазону вимірювань. Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій забезпечує необхідну теоретико-

методологічну базу для вдосконалення систем різноманітного застосування. В цьому сенсі стає актуальним питання запровадження методів і засобів автоматизованої обробки даних в системах ультразвукового вимірювання.

Ультразвукові датчики можуть виявитися дуже корисними при вирішенні широкого кола завдань автоматизації виробництва в різних галузях промисловості. Вони широко використовуються для безлічі застосувань: для управління процесом виробництва і пакувальних операцій, у системах контролю проходження листа в друкарнях, у системах автоматичного паркування, для позиціонування деталей для роботів, визначення рівня і висоти заповнення резервуарів, вимірювання відстаней, контролю провиса, розривів тощо.

Хімічні та фізичні властивості середовища не впливають на результат вимірювання, отриманий ультразвуковими датчиками, тому без проблем може вимірюватися рівень агресивних, абразивних, в'язких і клейких речовин.

Але також існують недоліки та труднощі у реалізації гнучких систем вимірювання з широкими діапазонами та високою точністю, такі як:

- віддзеркалення від нестационарних перешкод можуть викликати помилки виміру;
- точність виявлення істотно знижується через спотворень, що вносяться багаторазово відбитим сигналом;
- додатковим обмеженням діапазону вимірювання є наявність «сліпої» зони, що призводить до кореляції точності відповідно до поточного значення відстані, що вимірюється.

Таким чином, враховуючи таке швидке розширення сфери застосування ультразвукових систем, а також існуючі недоліки та труднощі у реалізації гнучких систем вимірювання з широкими діапазонами і високою точністю необхідно рішення актуального завдання: покращення точності і розширення діапазону вимірювань, що важливо для подальшого розширення застосування систем ультразвукових датчиків.



З погляду на вищезгадане, можна зробити висновок, що тема роботи «Метод та інформаційна технологія багатоканального ультразвукового вимірювання відстані для засобів автоматизації» є актуальною.

**Об'єкт дослідження.** Ультразвукова система вимірювання лінійних відстаней.

**Предмет дослідження.** Методи та інформаційні технології покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків.

**Мета роботи.** Удосконалення систем ультразвукового вимірювання лінійних відстаней в напрямку покращення точності і розширення діапазону вимірювання.

**Основні задачі роботи.** Для рішення поставленої мети роботи необхідно розв'язання наступних основних задач:

- аналіз методів і засобів покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків;
- розробка нового методу та інформаційної технології покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків;
- розробка нового алгоритму пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в багатоканальній системі ультразвукового вимірювання;
- адаптація методу градієнтного спуску для пошуку областей вимірювання для кожного датчика;
- розробка методу визначення достовірного результату вимірювання в системах ультразвукових датчиків.

**Дослідницька новизна роботи** полягає у наступному:

- розроблено метод та інформаційну технологію покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків, що полягає у використанні системи з  $n$  ультразвукових датчиків різних характеристик;
- розроблено алгоритм пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в багатоканальній системі ультразвукового вимірювання, який є подальшим розвитком методу градієнтного спуску;

– запропонований новий метод визначення достовірного результату вимірювання в системах ультразвукових датчиків, що базується на використанні апарату розпізнавання образів.

**Практична цінність отриманих результатів.** Результати роботи можуть бути використані в системах ультразвукового вимірювання для покращення точності та розширення діапазону вимірювання. Окремі положення роботи можуть бути використані у будь-яких системах паралельного вимірювання для визначення достовірного результату із заданим рівнем статистичної вірогідності.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1 Загальні відомості щодо ультразвукових систем вимірювання

Ультразвуковий датчик передає ультразвукові хвилі в повітрі і виявляє відбиті хвилі від об'єкта. Існує безліч застосувань для ультразвукових датчиків, наприклад, в системах охоронної сигналізації, в системах автоматичного відкриття дверей [3-7], в системах паркування, в робототехніці, в системах гідролокаційного спостереження тощо.

Ультразвуковий датчик зазвичай використовує перетворювач, який виробляє електричний вихідний сигнал у відповідь на отриману ультразвукову енергію. Нормальний діапазон частот для людського слуху приблизно від 20 до 20 000 Гц. Ультразвукові хвилі - це звукові хвилі, які вище діапазону людського сприйняття і, таким чином, мають частоту вище 20 000 Гц. Будь-яку частоту вище 20 000 Гц можна вважати ультразвуковою. Більшість промислових процесів, у тому числі майже всі джерела тертя, створюють деякий ультразвукової шум.[5-8]

Ультразвуковий перетворювач виробляє ультразвукові сигнали. Ці сигнали передаються через чутливу середу і той же перетворювач може бути використаний для виявлення сигналів, що повертаються. У більшості випадків, чутливе середовище просто повітря. Приклад ультразвукового перетворювача наведено на рисунку 1.1.

Ультразвукові датчики зазвичай мають п'єзоелектричний керамічний перетворювач, який перетворює електричний сигнал збудження в ультразвукові сплески енергії. Енергетичні сплески відправляються з ультразвукового датчика, відбиваються від об'єктів, і повертаються на датчик, як ехо.[9, 10]

Датчики являють собою пристрої, які перетворюють електричну енергію в механічну енергію, або навпаки. Датчик, перетворює отримані еха в аналогові електричні сигнали, які виводяться з перетворювача. Ультразвукові

перетворювачі працюють випромінюючи ультразвукові хвилі через середовище, таке як повітря.

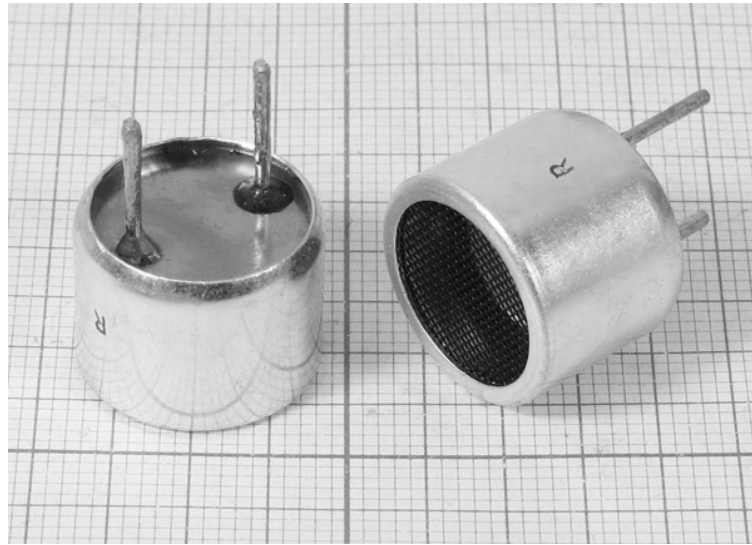


Рисунок 1.1 – Ультразвуковий перетворювач



Рисунок 1.2 - Ультразвуковий датчик

Датчики зазвичай створюють ультразвукові коливання з використанням п'єзоелектричних матеріалів, таких як деякі форми кристалів або керамічних полімерів. П'єзоелектричні матеріали вібрують у відповідь на змінні напруги певних частот, застосовуваних в матеріалі.[9, 12]

П'єзоелектричні елементи аналогічні ідеальним аналоговим конденсаторам тим, що п'єзоелектричні елементи зазвичай включають в себе два

електроди, розділених п'єзоелектричним матеріалом, який функціонує як діелектрик.

Загальна ємність датчика залежить від площі і товщини п'єзоелектричного матеріалу. Ультразвукові перетворювачі доступні в різних технічних формах. Ультразвукові перетворювачі зазвичай утворюються або з п'єзоелектричних елементів або з мікрооброблених ультразвукових елементів перетворювача.

Для промислового застосування, твердотільні датчики зазвичай використовуються, через їх надійність. Вони в основному включають в себе п'єзокерамічний пристрій як елемент для перетворення між електричними і звуковими сигналами і резонансного шару адаптера, з яким передача звуку в повітрі оптимізується. [13]

П'єзоелектричні елементи звичайно виконані з п'єзоелектричної кераміки, такої як цирконат-титанат свинцю (ЦТС), з безліччю елементів розташованих для формування датчика.

П'єзокерамічні ультразвукові перетворювачі є пріоритетними для промислового застосування, тому що вони є ефективними та екологічно стійкими. Схематичне уявлення п'єзокерамічного ультразвукового перетворювача представлено на рисунку 1.3. [13]

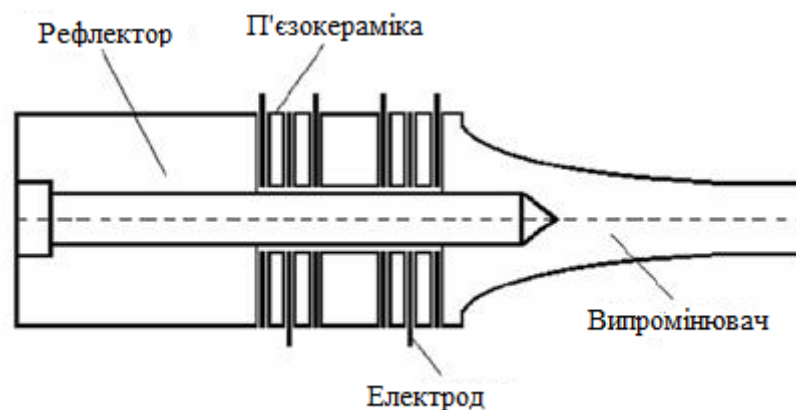


Рисунок 1.3 - Конструкція п'єзокерамічного ультразвукового перетворювача

Ці датчики були використані в промисловості для численних застосувань, проте не були здатні до виявлення об'єкта малої дальності, до недавнього часу.

Мікрооброблений ультразвуковий перетворювач (МУП) формується з використанням відомих напівпровідникових технологій виробництва, результатом чого є осередок ємнісного ультразвукового датчика, яка містить гнучку мембрану, підтримувану по краях над кремнієвій підкладці.[14]

Мембрана підтримується підкладкою і формує порожнину. МУП може бути електрично запитаний для отримання відповідної ультразвукової хвилі. Аналогічним чином мембрана з МУП може бути використана для отримання ультразвукових сигналів шляхом захоплення відбитої ультразвукової енергії і перетворення цієї енергії в рух з напругою зсуву мембрани, який потім генерує сигнал прийому.

Ємнісні мікрооброблені ультразвукові перетворювачі (єМУП) являють собою крихітні пристрої мембранного типу з електродами, які перетворюють звукові вібрації прийнятого ультразвукового сигналу в модульовану ємність.

Для передачі ємнісний заряд модулюється вібрацією мембраною пристроєм і тим самим передає звукову хвилю.[9]

Загалом, ультразвукові перетворювачі виконані шляхом включення одного або декількох п'єзоелектричних елементів, які електрично з'єднані з системою пульсуючого прийому.

## 1.2 Области застосування ультразвукових датчиків

Технології ультразвукових датчиків заробили головне становище в різних областях, включаючи медицину [7], неруйнівного контролю та моніторингу технологічних процесів, геофізики [10], і гідролокаційного спостереження. Ультразвукові датчики потоку були використані протягом декількох років для проведення інтраопераційних або екстракорпоральних вимірювань кровотоку.

Інтраопераційні вимірювання потоку, як правило, проводяться з метою моніторингу кровотоку в різних судинах під час судинної, серцевої, пересадки, пластичної та реконструктивної хірургії. Час проходження ультразвукових датчиків потоку виявляє різницю акустичного поширення часу між верхнім і

нижнім ультразвуковою передачею в рухомій рідині і обробляє цю інформацію, щоб отримати швидкість потоку рідини.[9]

Ультразвукові перетворювачі покладаються на інтерференцію хвиль для їх ефектів формування пучка, і, як правило, включають в себе безліч окремих елементів перетворювачів, організованих як одновимірний (лінійний) масив або двовимірний масив. Ультразвук використовується як неінвазивний метод для отримання представленої інформації про структуру об'єкта, яка прихована від очей, і широко відомий як медичний діагностичний інструмент, а як інструмент для неруйнівного контролю та аналізу в технічному мистецтві.

Ультразвукові діагностичні системи візуалізації широко використовуються для виконання ультразвукової візуалізації та вимірювання. Ультразвукові датчики зображення виступають в якості передавачів і приймачів ультразвукової енергії.

Перший датчик діє як передавач, випромінюючий ультразвукову енергію в пачці високочастотних імпульсів, як правило, в діапазоні від 2 до 10 МГц.

Потім передавач відключений, а датчик діє як приймач, який прослуховує повернуті відлуння на переданої частоті. [1]

Ультразвукові датчики використовуються для вимірювання відстані. Наприклад, використання ультразвукових датчиків в системі паркування.

Система використовує ультразвукові датчики, врізані в передньому і задньому бамперах для вимірювання дистанції до найближчих об'єктів по відбитому від них ультразвуку.

Система видає переривчастий застережливий звук (і, в деяких варіантах виконання, відображає інформацію про дистанцію на дисплеї, вбудованому в приладову панель, в дзеркало заднього виду або встановленим окремо) для індикації того, як далеко знаходиться машина від перешкоди. [10]

Приклад застосування ультразвукових датчиків в системі паркування зображений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Застосування ультразвукових датчиків в системі парковки

Ультразвукові дальноміри зазвичай використовують ультразвукові частоти, які не сприймаються людським вухом. Ці високі частоти мають за своєю суттю більш короткі довжини хвиль, які призводять до більшої точності позиціонування, ніж чутних частот. Системи допомоги при парковці сьогодні, як правило, складаються з електронного блоку управління і декількох ультразвукових датчиків.

Кожен ультразвуковий датчик володіє окремою лінією передачі даних, для того щоб поліпшити оцінку відбиття інформації від декількох ультразвукових датчиків, потрібен певний момент часу. Таким чином, оцінка декількох ультразвукових датчиків на основі однієї переданої звукової хвилі дозволяє отримати більш точні висновки, які будуть зроблені з приводу позиції і діапазону перешкоди.[10]

Ультразвукові датчики використовуються в робототехніці для виявлення об'єктів, розташованих уздовж шляху переміщення робота. Приклад використання наведено на рисунку 1.5.





Рисунок 1.5 – Застосування для виявлення об'єктів уздовж шляху переміщення робота

Такі ультразвукові датчики виконані з можливістю перетворення імпульсного сигналу в ультразвукову хвилю енергії, яка, в свою чергу, випромінюється уздовж шляху переміщення.[10]

Ультразвукові датчики, як правило, використовуються в таких застосуваннях, як виявлення та ідентифікація твердих предметів, вимірювання форми і орієнтації заготовки, виявлення можливих зіткнень між об'єктами, щоб уникнути зіткнення, кімнатне відеоспостереження, вимірювання витрати, і визначення типу матеріалу шляхом вимірювання поглинання звуку.

Ультразвукові датчики використовуються для вимірювання близької та дальньої відстані. Ці пристрої зазвичай передають короткий сплеск ультразвуку до об'єкта, який відбиває звук назад до датчика. Потім система вимірює час повернення луна до датчика і обчислює відстань до мети, використовуючи швидкість звуку в середовищі.[14]

Датчики - це пристрої, які сконструйовані так, що вони можуть виявити або кількісно визначити фізичні параметри, такі як тиск, температура, положення

або швидкість в діапазоні вимірювань. В автоматизованих промислових застосуваннях, датчики використовуються для багатьох цілей. Датчики використовуються для різноманітних застосувань, включаючи виявлення присутності або відсутності виробів і визначенням відстані або близькості виробу до датчика, наприклад, може знадобитися для управління процесом. Ультразвукові системи зондування забезпечують набагато більш ефективний і дієвий метод виявлення діапазону вимірювань. [14]

Ультразвукові датчики широко використовуються для управління процесом виробництва та упаковки. Такі застосування зондування включають виявлення присутності / відсутності об'єкта, визначення розміру об'єкта, виявлення рівня продукту, виявлення орієнтації об'єкта, веб-контроль матеріалу, виявлення несанкціонованого / безпечного ущільнення, і виявлення поверхні покриття.

Як було зазначено раніше, ультразвукові датчики широко застосовуються для вимірювання відстані. Принцип вимірювання відстані, який називається "методом імпульсного відображення", використовується для вимірювання часу відбиття від об'єкта, між передачею імпульсу і прийому імпульсу ультразвукової хвилі. [15]

Ультразвукові датчики знайшли застосування і в системах виявлення та контролю рівня радіаційного випромінювання.

Коли присутні об'єкти, які знаходяться в межах області дії датчиків, що відбивають ультразвукові хвилі, і коли має бути виявлений конкретний об'єкт, вигідне більш точне фокусування ультразвукової хвилі.

Інтенсивність випромінювання визначається розмірами ультразвукової випромінюючої поверхні і частоти. Зробити випромінювання більш сфокусованим і збільшити відстань вимірювання можливо за рахунок установки приймача звуку на зовнішній поверхні ультразвукового датчика. [15]

### 1.3 Інформаційні системи ультразвукового вимірювання відстані

Сучасні ультразвукові датчики, що використовуються у складі систем вимірювання, поділяються на два різновиди: з суміщеними і роздільними приймачем і передавачем [16, 17].

Вимірювальна схема з суміщеними приймачем і передавачем має істотний недолік, який полягає в тому, що після випромінювання сигналу має пройти деякий час, перш ніж закіняться коливання мембрани випромінювача і стане можливим її робота на прийом зворотного сигналу. Цей інтервал часу називається «мертвим» часом датчика. Процес передачі та прийняття ультразвукового сигналу проілюстрований на рисунку 1.6.

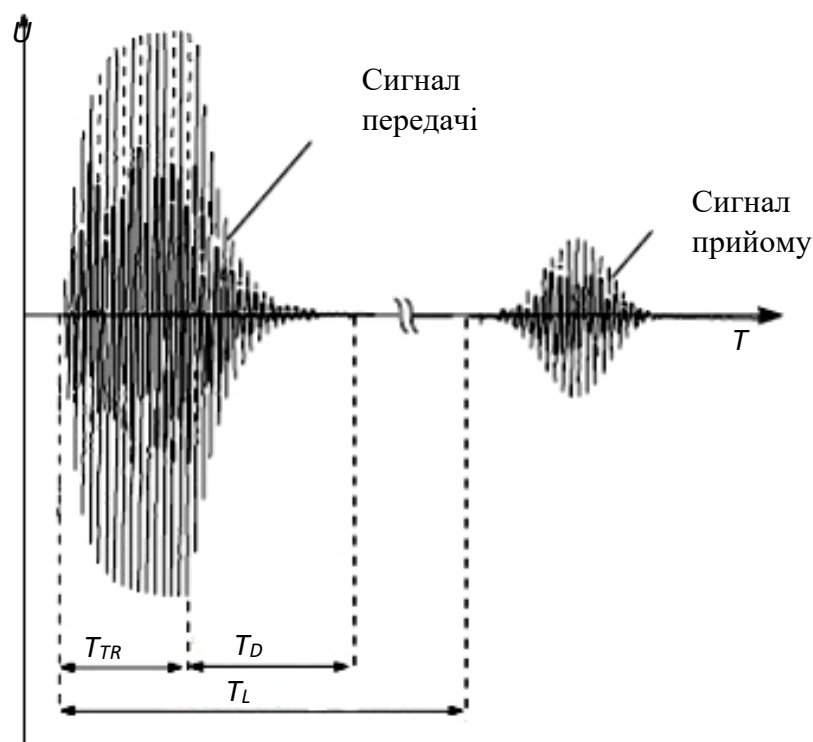


Рисунок 1.6 – Сигнали передачі та прийому ультразвукового датчика

Сигнал передачі можна умовно поділити на два етапи, тривалість яких позначена як  $T_{TR}$  – час формування сигналу передачі і  $T_D$  – «мертвий» час датчика. Інтервал часу між сигналом передачі та сигналом прийому, позначений

як  $T_L$ , характеризує вимірювальну відстань до перепони, що викликала відбиття сигналу передачі. При цьому, відстань до об'єкта може бути визначена як

$$L = \frac{C \cdot T_L}{2}, \quad (1.1)$$

де  $C$  – швидкість поширення ультразвукової хвилі у просторі вимірювання.

При цьому, можливість вимірювання мінімальної відстані, обмежена необхідністю виконання умови

$$T_L > T_{TR} + T_D. \quad (1.2)$$

Виходячи з (1.1) і (1.2), мінімальна відстань, що може бути визначена датчиком з характеристикою  $T_D$  на основі управляючого сигналу довжиною  $T_{TR}$ , може бути визначена як

$$L_{\min} = \frac{C \cdot (T_{TR} + T_D)}{2}. \quad (1.3)$$

Виходячи з (1.3), основним недоліком систем з суміщеними приймачем і передавачем є наявність мінімальних значень відстані, що не можуть бути реєстровані датчиком. При чому, таке обмеження визначається конструктивними особливостями системи вимірювання та характеристиками конкретно обраного для цієї задачі ультразвукового датчика.

Основним недоліком систем вимірювання з роздільними приймачем і передавачем є складність реалізації, а також завищення результатів вимірювання на основі того, що для датчиків такої конструкції неможливе встановлення передавача та приймача на одній осі. Схема такої системи вимірювання проілюстрована на рисунку 1.7. Виходячи з наведеної схеми, системою вимірювання буде отримане значення  $T_L$ , що відповідає часу проходження шляху

$L_1+L_2$ . Однак, дійсна дистанція до перешкоди представляє собою  $L$ . При чому, очевидно, що

$$2L \neq L_1 + L_2. \quad (1.4)$$

Відповідно до (1.4) створюється помилка визначення відстані, яка залежить від геометричних аспектів розташування приймача та передавача. Відповідно до схеми на рисунку 1.7, розбіжність у вимірюванні може бути легко розрахована і внесена у якості поправки до інформаційно-вимірювальної системи. Однак, таке рішення легко реалізується у випадку, коли взаємне розташування приймача та передавача залишається незмінним, а розташування перешкоди ортогональне до осі визначення дійсної відстані  $L$ . У випадку динамічної зміни взаємного положення елементів системи вимірювання величина поправки не буде постійною, що значно ускладнює отримання точного результату вимірювання.

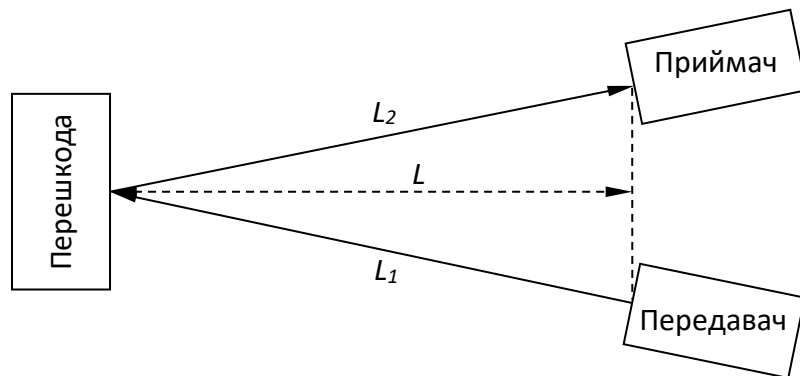


Рисунок 1.7 – Схеми вимірювання з використанням роздільних передавача та приймача

Максимально припустима відстань вимірювання обмежена кінцевою потужністю передавача, чутливістю приймача та характеристиками опору середовища прямому поширенню ультразвукової хвилі та відповідним коефіцієнтом загасання сигналу.

Таким чином, на основі вищезгаданого можна зробити висновок, що існуючі підходи до побудови схем вимірювання та інформаційні системи визначення достовірного значення відстані потребують вдосконалення у напрямку підвищення точності та розширення діапазону вимірювань.

#### 1.4 Аналіз питання і постановка задачі

У результаті проведеного аналізу, встановлено, що ультразвукові датчики широко використовуються:

- для управління процесом виробництва і пакувальних операцій;
- в системах контролю проходження листа в друкарнях;
- в системах автоматичного паркування;
- для контролю присутності і позиціонування матеріалів, в тому числі прозорих.
- для позиціонування деталей для роботів;
- для визначення рівня і висоти заповнення резервуарів;
- вимірювання відстаней;
- вимірювання діаметру, швидкості;
- контролю провисання, розривів.

Але також існують недоліки та труднощі у реалізації гнучких систем вимірювання з широкими діапазонами та високою точністю.

Хімічні та фізичні властивості середовища не впливають на результат вимірювання, отриманий ультразвуковими датчиками, тому без проблем може вимірюватися рівень агресивних, абразивних, в'язких і клейких речовин.

Однак, необхідно враховувати, що на точність результатів вимірювань впливає безліч факторів, такі як:

- наявність «сліпої» зони - найважливішого параметра ультразвукового датчика;
- віддзеркалення від нестационарних перешкод можуть викликати помилки виміру;

- точність виявлення істотно знижується через спотворень, що вносяться багаторазово відбитим сигналом.

Отже, враховуючи таке швидке розширення сфери застосування ультразвукових систем потрібно рішення актуального завдання: покращення точності і розширення діапазону вимірювань, що важливо для подальшого розширення застосування систем ультразвукових датчиків.

Основними завданнями дослідження:

- аналіз методів і засобів покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків;
- розробка нового методу та інформаційної технології покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків;
- розробка нового алгоритму пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в багатоканальній системі ультразвукового вимірювання;
- адаптація методу градієнтного спуску для пошуку областей вимірювання для кожного датчика;
- розробка методу визначення достовірного результату вимірювання в системах ультразвукових датчиків.

Таким чином, існує досить актуальне завдання – покращення точності і розширення діапазону вимірювань системи ультразвукових датчиків.

### 1.5 Висновки до розділу 1

В результаті проведеного аналізу предметної області були розглянуті загальні відомості щодо ультразвукових систем вимірювання, області застосування, різновиди ультразвукових датчиків, їх недоліки та переваги, а також шляхи зменшення впливу цих недоліків на ефективність та точність вимірювань датчиків.

Також в даному розділі проведено аналіз та існуючих недоліків та труднощів у реалізації гнучких систем вимірювання з широкими діапазонами та високою точністю.

Можна зробити висновок, що ультразвукові датчики можуть виявитися дуже корисними при вирішенні широкого кола завдань автоматизації виробництва в різних галузях промисловості.

Аналіз існуючих різновидів ультразвукових датчиків вказав на обмеженість діапазону вимірювання лінійної відстані, що пов'язана з конструктивними особливостями.

Додатковим обмеженням діапазону вимірювання є наявність «сліпої» зони, що призводить до кореляції точності відповідно до поточного значення відстані, що вимірюється.

Був встановлений актуальний напрямок вдосконалення систем ультразвукового вимірювання відстані у напрямку покращення точності та розширення діапазону вимірювання.



## 2 АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОЇ ВІДСТАНІ

### 2.1 Особливості ультразвукової хвилі

У складі ультразвукових датчиків в більшості випадків використовуються п'єзоелектричні керамічні перетворювачі, які дозволяють отримувати ультразвукові коливання (УЗК) високої частоти, забезпечуючи тим самим кращу спрямованість поширення ультразвукових хвиль. Крім п'єзоелектричного ефекту, для отримання УЗК широко використовується і електростатичний метод, реалізований електростатичними перетворювачами.

П'єзоелектричні кристали мають властивість змінювати розміри (деформуватися) при впливі на певні поверхні кристала електричної напруги - таким чином електрична енергія може бути перетворена в механічну. І навпаки, коли тиск прикладається до зовнішньої поверхні кристала, утворюється заряд, який може бути перетворений в напругу.

П'єзокераміку отримують шляхом спікання п'єзоелектричних мікрокристалів з присадками (сполучними речовинами). Так як після спікання диполі мікрокристалів розташовуються довільним чином, то отримана кераміка поляризується за допомогою прикладання високої напруги при високій температурі. Завдяки цьому уздовж осі поляризації створюється максимальне розтягнення матеріалу. Для згаданих матеріалів при впливі напруги в декілька сотень вольт розтягнення становить  $d/l = 10^{-4}$ .

Дуже важливим при формуванні УЗК в повітрі є коректна реалізація переходу між ультразвуковим генератором і навколишнього повітряного середовища: для отримання ефективного випромінювання повинна бути створена велика амплітуда коливань, а для цього необхідний «механізм» трансформації, який перетворив би невелику амплітуду зміни параметрів конденсатора (електростатичний метод) або п'єзокерамічного елемента (ПКЕ) у велику амплітуду, що поширюється в повітряному середовищі коливань. [9]

Однією з найважливіших характеристик випромінювання є довжина хвилі. Швидкість поширення хвилі виражається множенням частоти і довжини хвилі. Швидкість електромагнітної хвилі  $3 \times 10^8$  м/с, швидкість поширення звукової хвилі в повітрі дорівнює 344 м/с (при 20 °С). На цих швидкостях, довжини хвиль менші, це означає, що може бути отриманий більш високий спектр відстані і напрямку. За більш високої роздільної здатності, можна отримати більш високі вимірювання, зроблені з більшою точністю.

Не менш важливою характеристикою ультразвукової хвилі є відбиття. Для того, щоб виявити присутність об'єкта, ультразвукові хвилі відбиваються на об'єктах. Тому метал, дерево, бетон, скло, гума і папір, і т.д. відбивають приблизно 100% ультразвукових хвиль. Тому ці об'єкти можуть бути легко виявлені.

Дуже важко виявити тканину, бавовну, шерсть тощо, оскільки вони поглинають ультразвукові хвилі. Це може бути часто важким, також, для виявлення об'єктів, що мають велику хвилясту поверхню, через неправильне відображення. [7]

Слід також враховувати вплив температури. Швидкість поширення звукової хвилі виражається формулою:

$$c = 331,5 + 0,607t \quad (2.1)$$

де  $t$  – температура (°С).

Тобто, так як швидкість звуку змінюється залежно від температури безперервно, необхідно перевіряти температуру постійно, щоб виміряти відстань до об'єкта точно.

Сила ультразвукових хвиль, що поширюються в повітрі, загасає пропорційно з відстанню. Це обумовлено втратою дифузії на сферичній поверхні через явище дифракції і втрату на поглинання енергії що поглинається середовищем. [8]

Як показано на рисунку 2.1, чим вище частоти ультразвукової хвилі, тим більше швидкість згасання і хвиля досягає меншої відстані.

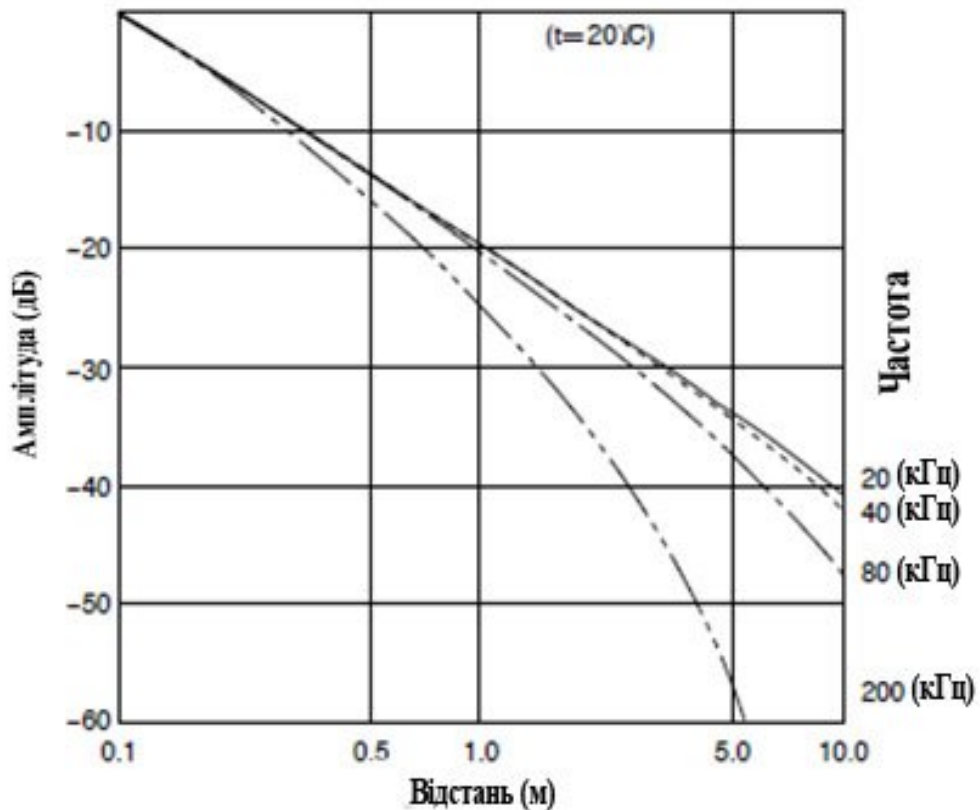
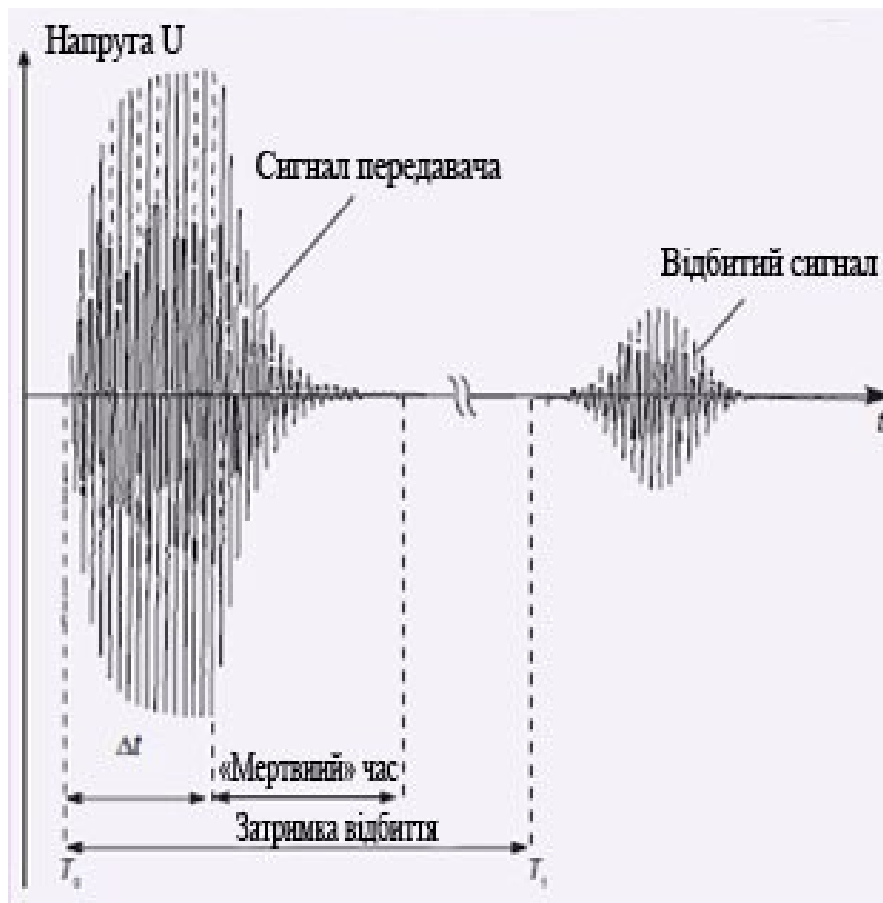


Рисунок 2.1 - Згасання характеристик звукового тиску по відстані.

## 2.2 Методика вимірювання відстані

Методи вимірювання відстані за допомогою ультразвукових датчиків, засновані на принципі вимірювання часу проходження сигналу. При цьому обробка відбитого від об'єкта сигналу проводиться в тій же точці, що і випромінювання.

Такий метод відноситься до методів безпосереднього виявлення. Як зображено на рисунку 2.2 в момент часу  $T_0$  ультразвукової передавач випромінює сигнал - пачку імпульсів тривалістю  $\Delta t$ , яка поширюється в навколишньому середовищі зі швидкістю звуку  $C$ . Коли сигнал досягає об'єкта, частина сигналу відбивається і приходить в приймач в момент часу  $T_1$ . [16]



\*

Рисунок 2.2 – Сигнал на чутливому елементі ультразвукового датчика вимірювальної схеми з одною голівкою.

Електронна схема пристрою обробки сигналу визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час  $T_1 - T_0$ .

Для вимірювань відстані може застосовуватися як схема, що використовує одну і ту ж голівку датчика для випромінювання і прийому, так і схема, в якій випромінювання і прийом виробляють дві різні голівки.

Найважливішою характеристикою ультразвукового датчика є розмір зони виявлення. Зона обмежена мінімальним і максимальним відстанями виявлення, значення яких залежать від параметрів перетворювача.

Максимальна відстань виявлення вказується в коді маркування датчика. Зона виявлення ультразвукового датчика показана на рисунку 2.3.[18]

Залежно від використовуваних методів розрізняють декілька типів ультразвукових датчиків, основними з яких є датчики, які здійснюють вимірювання часу, що витрачається звуком на поширення до вимірюваного об'єкта і назад (безпосереднє виявлення), і датчики, що виконують перевірку прийому переданого сигналу (ретрорефлективний, або ретрорефлекторний метод).

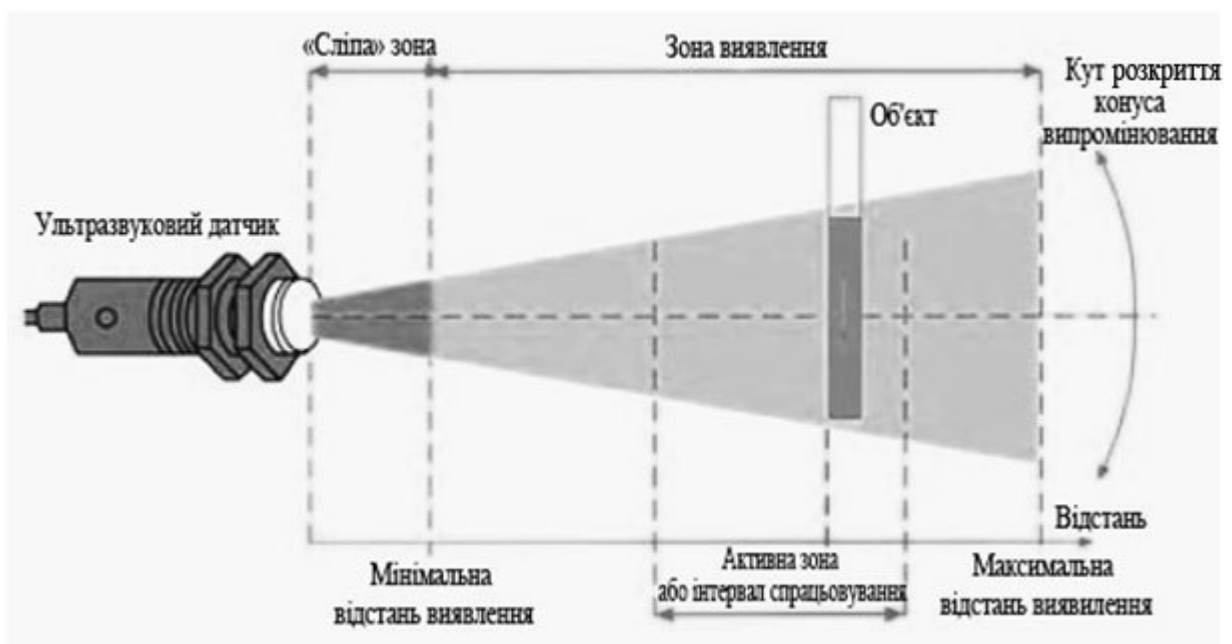


Рисунок 2.3 – Зона виявлення ультразвукового датчика

### 2.3 Дослідження характеристик датчиків

Розмір «сліпої» зони - найважливіший параметр ультразвукового датчика, багато в чому визначає його успіх на ринку, тому компанії-виробники приділяють особливу увагу зменшенню даного параметра.

Для цього використовується спосіб відстеження значення порога виявлення. На дуже близьких відстанях за час перехідного процесу сигнал встигає багато разів пройти шлях між сенсором і об'єктом. Точність виявлення істотно знижується через викривлення, що вносяться цим, багато разів відображеним, сигналом.

При цьому помилка методу росте дуже швидко з зменшенням відстані до об'єкта. Це призводить до необхідності компромісу між чутливістю виявлення, ймовірністю «помилкової тривоги» і точністю вимірювання відстані.

Рисунок 2.4 ілюструє метод відстеження порога виявлення (для середньої відстані). Він полягає в тому, що гранична напруга детектора, що подається на компаратор, формується напругою, змінною у часі і повторює форму обвідної «хвоста» пачки імпульсів, одержуваної при згасанні коливачів мембрани. [15]

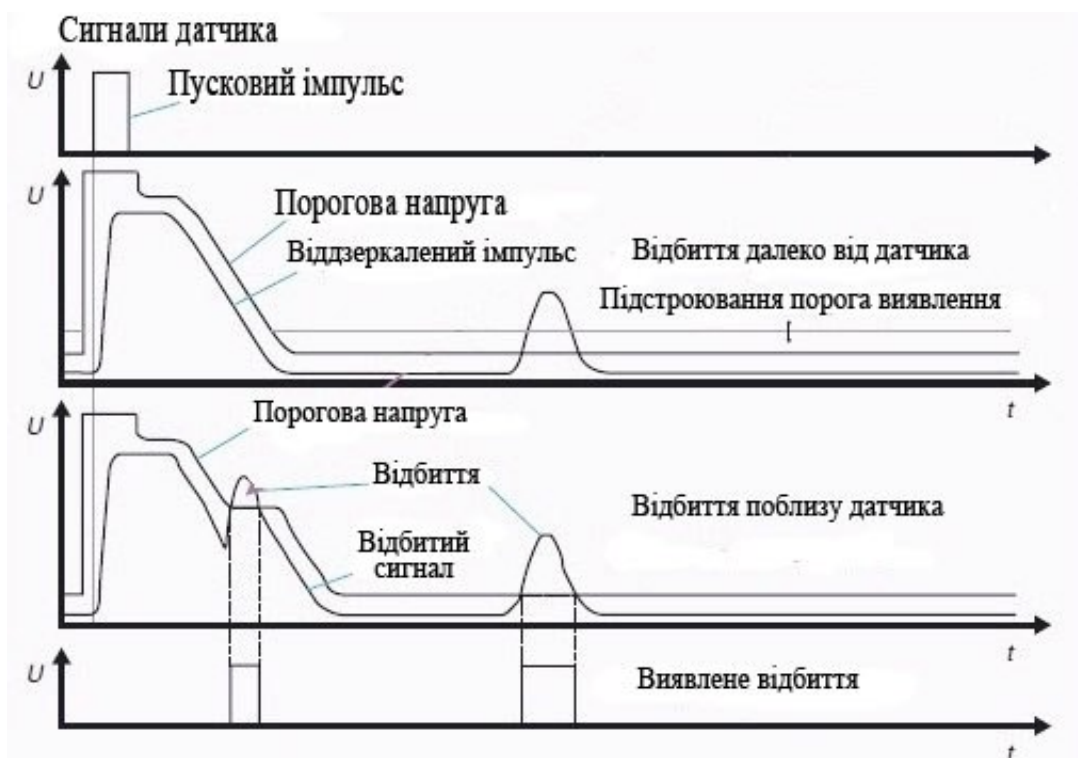


Рисунок 2.4 – Зменшення «мертвого» часу датчика

На рисунку 2.5 наведені осцилограми, що ілюструють явище багаторазового відбиття сигналу від об'єкта в паузі між пачками зондуєчих імпульсів випромінювача. Відстань до об'єкта тут перевищує границю «сліпої» зони.

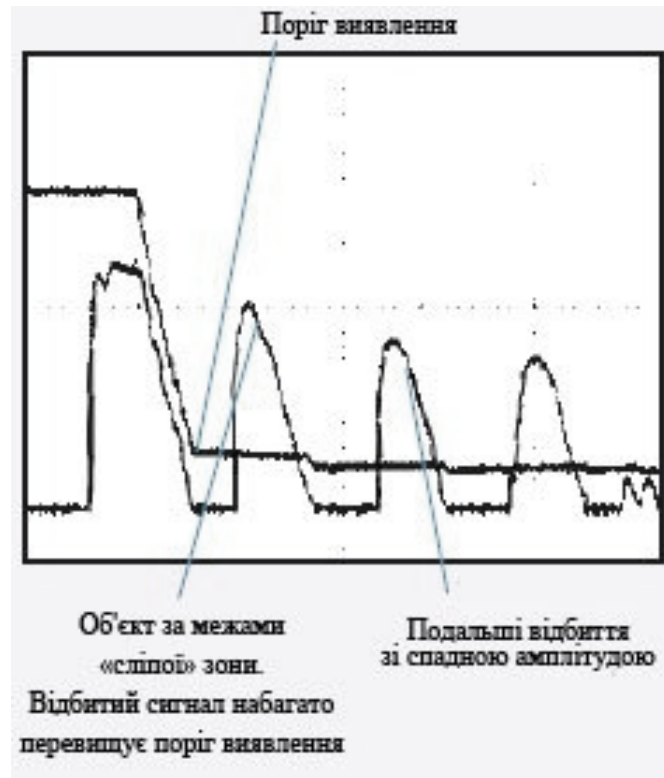


Рисунок 2.5 – Ефект багатократних віддзеркалень при великій відстані до об'єкта

На рисунку 2.6 зображена ситуація, що виникає при знаходженні об'єкта в «сліпій» зоні при використанні відстеження порога виявлення. [15]

Проблема полягає в тому, що детектор не здатний визначити, який за рахунком з багаторазово відбитих сигналів перевищив значення порога виявлення. На рисунку зареєстрованим виявився другий з відбитих сигналів, що призвело до подвоєння фактичного відстані до об'єкта.

Але ця ситуація є неприпустимою: датчик встановлюється і налаштовується таким чином, щоб об'єкти не потрапляли в «сліпу» зону.

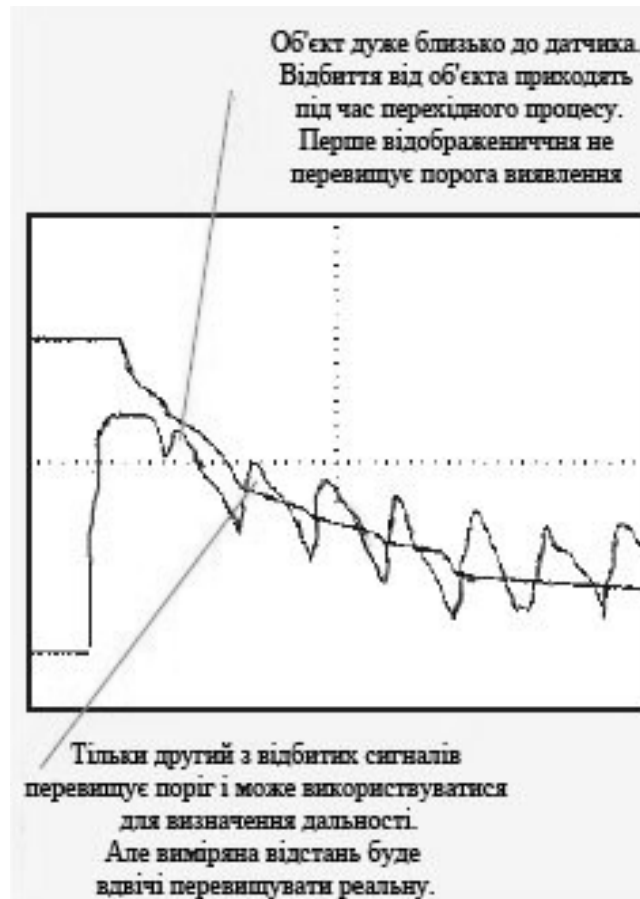


Рисунок 2.6 – Ефект багатократних віддзеркалень при знаходженні об'єкта в «сліпій» зоні

Рисунок 2.7 ілюструє подальше погіршення точності з наближенням об'єкта. Напруга на сенсорі приймає форму гребінки з більш дрібними флуктуаціями, і помилка вимірювання відстані продовжує зростати.

Приблизні характеристики ультразвукових датчиків по дальності наведені в таблиці 2.1. Застосування методу відстеження порога чутливості дозволило зменшити «сліпу» зону в 2-2,5 рази.

Однак використання датчиків поблизу кордону «сліпої» зони вимагає ретельного опрацювання. Тому в характеристиках датчика по дальності в таблиці 1 наводиться як діапазон зондування, так і діапазон настройки. [15]

Під діапазоном зондування тут розуміється діапазон подій виявлення, який визначається тільки фізичними можливостями датчика (потужність



випромінюваного променя і його спрямованість) і параметрами зразкового об'єкта.

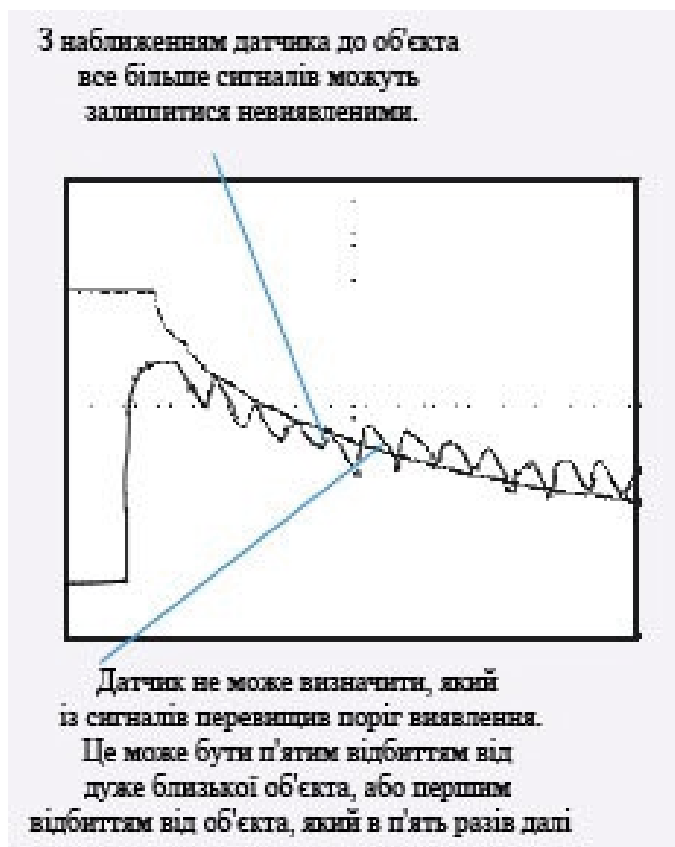


Рисунок 2.7 - Втрата точності вимірювання при подальшому наближенні об'єкта

Таблиця 2.1 – Характеристики датчиків зі скороченою «сліпою» зоною і функцією настройки діапазону регулювання

Дальність, мм (частота)	«Сліпа» зона, мм	Діапазон зондування, мм	Діапазон налаштування, мм
500 (390 кГц)	0...30	30...350	50...500
2000 (175 кГц)	0...80	80...2000	120...2000
4000 (85 кГц)	0...200	200...4000	240...4000

6000 (65 кГц)	0...350	350...6000	400...6000
---------------	---------	------------	------------

Діапазон настройки - це діапазон подій, в якому забезпечується можливість регулювання датчика «по місцю» з метою його оптимального використання в конкретному застосуванні (з урахуванням характеристик об'єкта та його орієнтації щодо чутливого елемента датчика). [15]

Ультразвукові датчики безпосереднього виявлення забезпечуються набором засобів, що дають можливість гнучкої установки ближньої та дальньої межі вимірювального вікна.

#### 2.4 Моделювання ультразвукового датчика

Більшість перших технічних застосувань ультразвуку було виконано на основі п'єзоефектів (прямого і зворотного) у спеціально оброблених кварцових пластинках. Перетворювачі на основі природного кварцу володіють виключно високою добротністю і використовуються в даний час, переважно, в різного роду резонаторах. Багато інших показників краще у штучно створених п'єзокерамік, тому саме їх широко застосовують для створення випромінювачів і приймачів ультразвуку.

Основним елементом п'єзокерамічного випромінювача є пластина п'єзокристала (або відповідне покриття на спеціальних плівках, мембранах, діафрагмах). Пластина, як правило, має металізацію (обкладки, електроди) з двох сторін і спеціальний тип кріплення. При подачі на обкладинки електричної напруги відбувається деформація пластинки (по товщині, гнучка тощо). Характер цієї деформації визначається властивостями матеріалу, способом закріплення і прикладеною напругою. При змінній напрузі певної частоти пластина коливається на цій частоті (або на її гармоніках) випромінюючи звукові / ультразвукові хвилі в навколишній простір. (Крім двоелектродних систем

використовують також і трьохелектродні, в яких третій електрод, грає роль датчика для організації зворотного зв'язку.)

Амплітуда цих вимушених коливань п'єзовипромінювача залежить від амплітуди і частоти прикладеної напруги, геометрії, властивостей матеріалу пластинки і характеру її закріплення. Поступово збільшуючи частоту зовнішнього порушення можна виявити, що АЧХ механічних коливань має резонансний характер, аналогічний кривій АЧХ послідовного електричного контура.

Модель п'єзоперетворювача, як елемента електричного кола, можна представити у вигляді складного R-L-C контуру.

Вищенаведене дозволяє вибрати в моделі електричної схеми, що зображена на рисунку 2.8, величини індуктивності  $L_1$ , коливальної ємності  $C_2$  і опору  $R_1$ .

Величина індуктивності  $L_1$  моделює механічну інерцію (залежну від маси пластинки, що коливається, та з'єднаних з нею елементів і "приєднаної маси" повітря). Величина коливальної ємності  $C_2$  моделює пружність пластинки при її коливаннях. Величина опору  $R_1$  пов'язана з внутрішніми втратами при циклічних деформаціях.

Уточнюючи схему заміщення, необхідно ще врахувати власну статичну ємність  $C$ , що утворена між обкладинками п'єзокварцевою пластинкою і виявляється у відсутності коливань.

Параметри моделі залежать від конкретного датчика, в цьому випадку використовуються параметри абстрактного датчика, які в процесі використання моделі підмінюються реальними, що визначають характеристики конкретного датчика. Тож чисельні значення параметрів обрані довільно, але так, щоб робота моделі напівкількісно узгоджувалася надалі зі схемою збуджуючого генератора. У даній схемі спостерігається резонанс напруги.

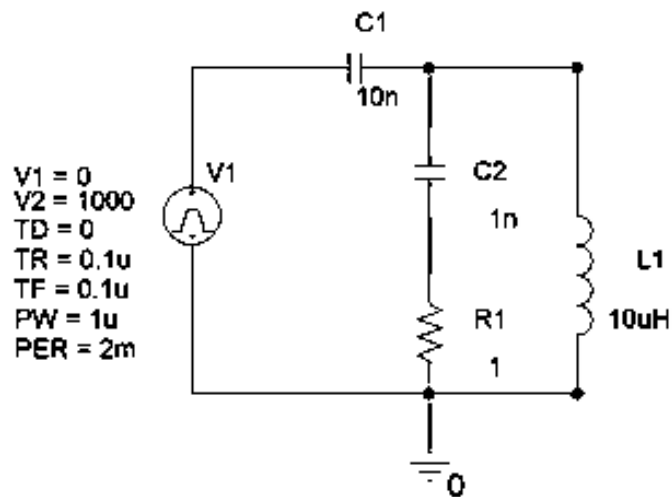


Рисунок 2.8– Модель п'єзоперетворювача

Дослідна модель для ілюстрування роботи ультразвукового датчика являє собою два п'єзокерамічних випромінювача, один генерує посилку сигналу, другий - «відбиття» відправленого сигналу. Резистивний діляк (R2, R3) відповідає за різницю сигналів, тобто регулює відстань, на яку налаштований датчик. Дослідна модель зображена на рисунку 2.9.

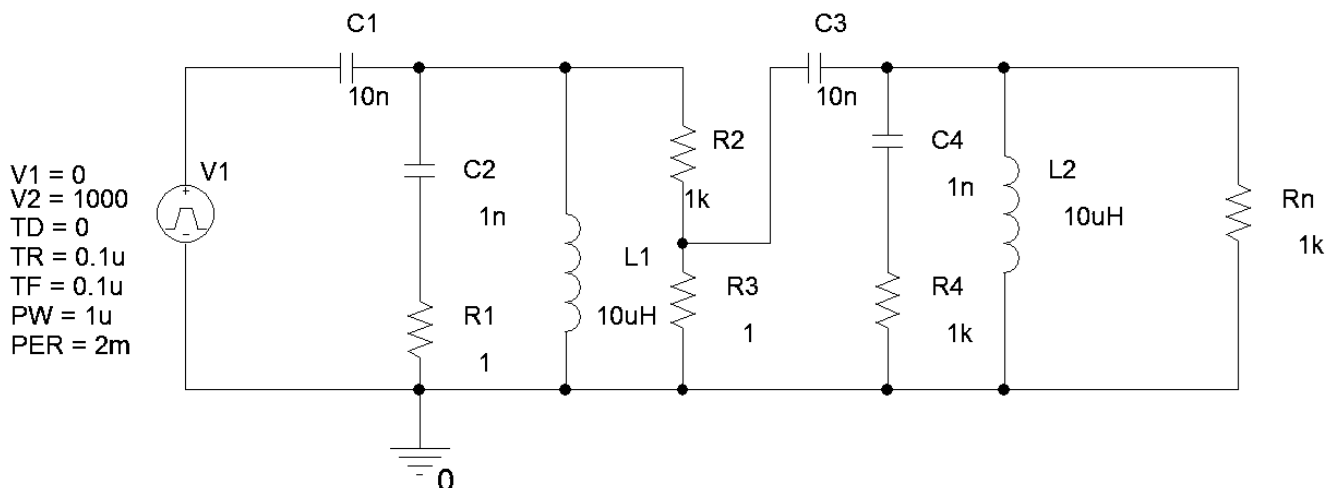


Рисунок 2.9– Схема генератора ультразвукових хвиль

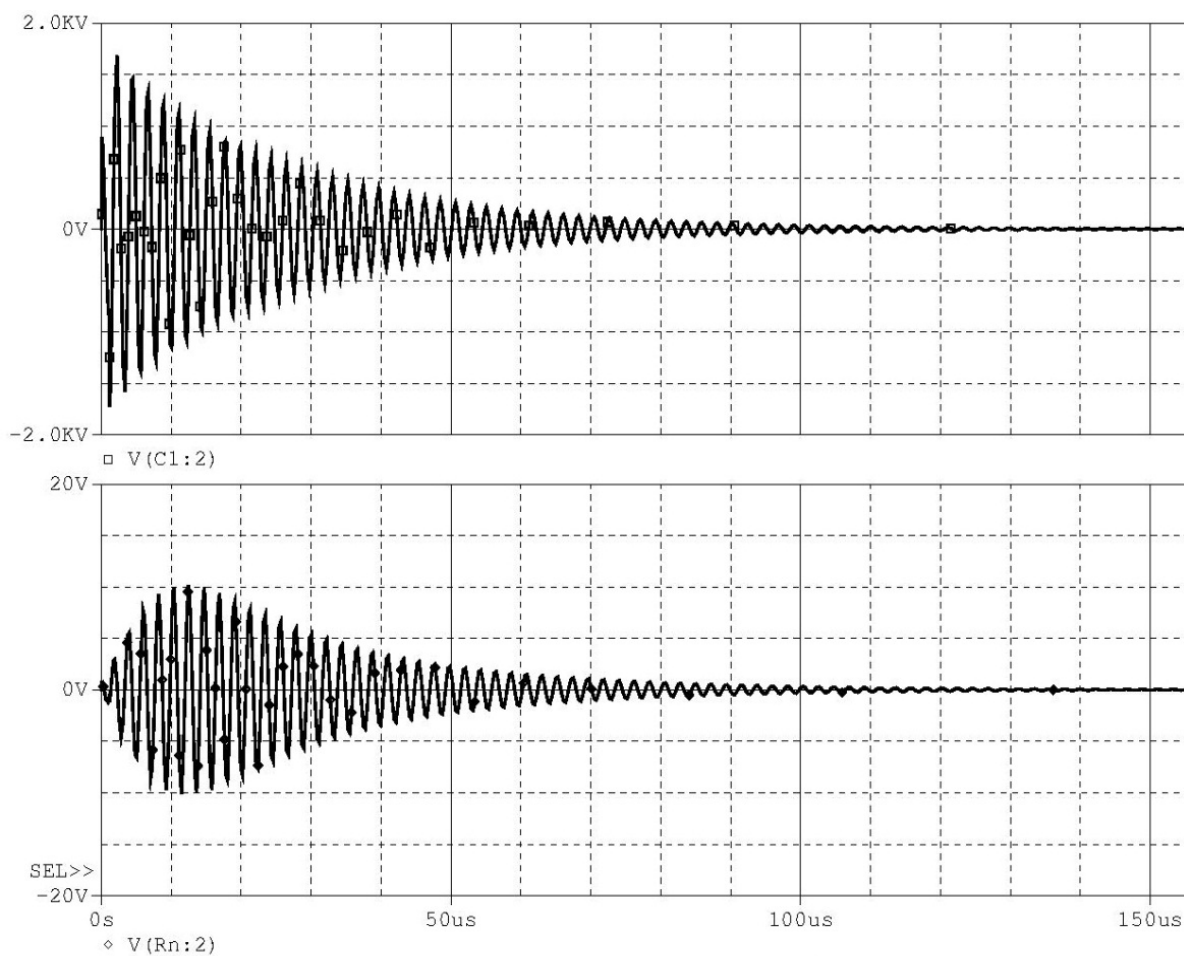


Рисунок 2.10– Часові діаграми моделі датчика

На рисунку 2.10 можна побачити що резонансні частоти прийнятого і «відбитого» сигналу, до того ж отриманні часові діаграми повністю співпадають з теоретичними. З цього можна зробити висновок, що модель адекватна і доцільно її подальше використання в напрямку здійснення прямої та зворотної задачі ідентифікації датчиків (визначення типу датчику за його характеристиками, а також визначення характеристик за наявним типом датчику).

## 2.5 Висновки до розділу 2

В даному розділі проведено аналіз фізичних процесів в ультразвукових датчиках, були розглянуті особливості та характеристики ультразвукових хвиль.

В результаті аналізу можна зробити висновок, що чим вище частоти ультразвукової хвилі, тим більше швидкість згасання і хвиля досягає меншої відстані.

В результаті проведеного аналізу розглянуто один з найважливіших параметрів ультразвукового датчика – розмір «сліпої» зони та метод зменшення впливу цього недоліку на точність ефективність та вимірювань датчиків. Виходячи з розглянутого методу можна зробити висновок, що з наближенням датчика до об'єкта все більше сигналів можуть залишитися невиявленими. Тому використання датчиків поблизу границі «сліпої» зони вимагає ретельного опрацювання.

Також було проведено моделювання схеми з ультразвуковим датчиком. В процесі моделювання було встановлено, що дослідна модель є адекватною та доцільно її подальше використання.

### **3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОКРАЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАННЯ СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ**

3.1 Метод покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків

З метою рішення цієї задачі пропонується використання ІТ ультразвукового вимірювання лінійних відстаней [19, 20] на основі гібридного розпізнавання образів. ІТ базується на використанні  $k$  ультразвукових датчиків з суміщеними передавачем та приймачем. В результаті чого, в системі формується  $k$  інформаційних каналів отримання результатів вимірювання відстані, які підлягають подальшій обробці з метою отримання у будь який момент часу найбільш достовірного результату вимірювання.

Виходячи з того, що характеристики ультразвукових датчиків фактично визначаються їхньою конструкцією, то для розширення діапазону вимірювань необхідне використання сукупності  $k$  датчиків, в яких діапазони вимірювань доповнюють один одного. Принцип суміщення діапазонів вимірювання датчиків проілюстрований на рисунку 3.1 Згідно рисунку, кожен датчик характеризується діапазоном відстані, в якому може бути отриманий достовірний результат вимірювання. Ці діапазони схематично представлені лініями з позначеннями  $\Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_k$ . При цьому, кожному датчику характерна «мертва» зона з характеристиками  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_k$  відповідно. Очевидно, що у випадку спільної обробки результатів вимірювань, мінімальна відстань реєстрації буде співпадати з мінімальною характеристикою «мертвої» зони одного з  $k$  датчиків (на рисунку 3.1 це  $\Delta_1$ ). При цьому, максимальне припустиме значення достовірного вимірювання відстані буде співпадати з максимальним значенням відстані для одного з датчиків (на рисунку 3.1 це  $\Delta L_k$ ). Таким чином, загальний діапазон достовірного вимірювання відстані системою ультразвукових датчиків буде

визначатися як  $\Delta L$ , що значно ширший ніж будь який діапазон вимірювання кожного, окремо взятого датчика [19, 20].

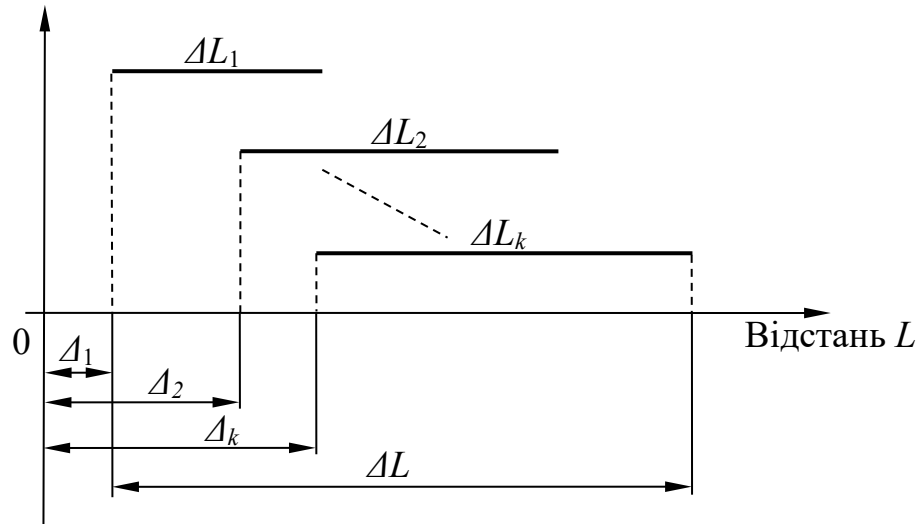


Рисунок 3.1 – Отримання загального діапазону вимірювання  $\Delta L$   
з використанням системи ультразвукових датчиків

Однак, використання сукупності датчиків створює додаткові складнощі визначення достовірного результату вимірювання. Це пов'язано з двома факторами:

- нерівномірність характеристики точності вимірювання у всьому діапазоні для кожного датчику;
- наявність зон перекриття діапазонів вимірювання окремих датчиків, що створює неоднозначність (багатоальтернативність) у визначенні остаточного результату.

Використання гібридного розпізнавання образів дозволяє виключити неоднозначність результату вимірювання. На рисунку 3.2 показана структурна реалізація системи ультразвукового вимірювання лінійних відстаней на базі гібридного розпізнавання [19].



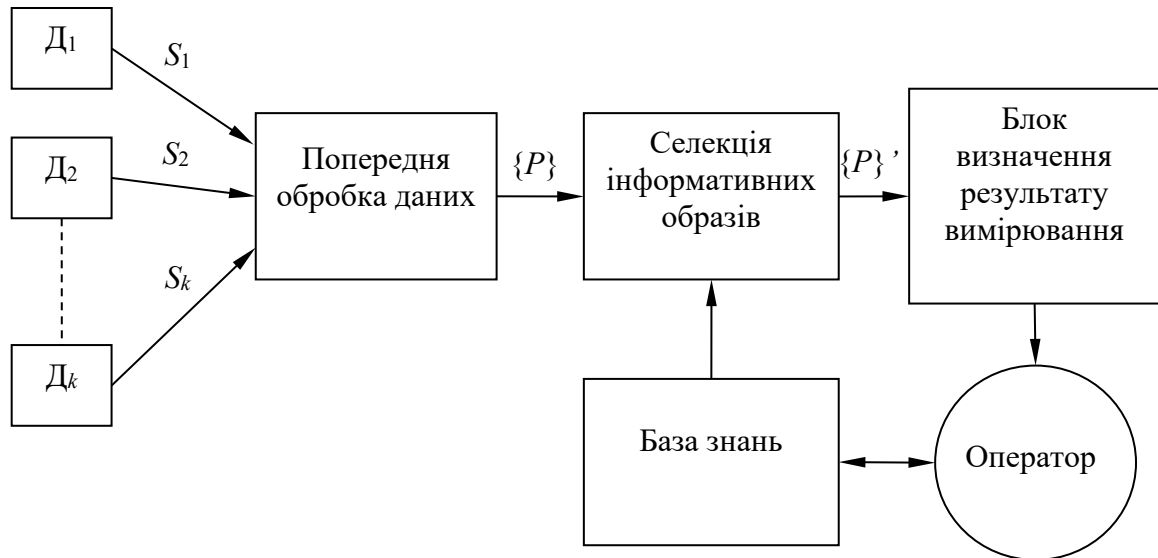


Рисунок 3.2 – Структурна реалізація системи ультразвукового вимірювання лінійних відстаней на базі гібридного розпізнавання

Відповідно до наведеної структурної реалізації данні виміру поточної відстані до об'єкта надходять по  $k$  інформаційним каналам ( $S_1$ - $S_k$ ) від датчиків  $D_1$ - $D_k$  та піддаються попередньої обробці. На цьому етапі здійснюється нормування даних та формування на їх основі  $k$  образів, що характеризують кожен канал вимірювання. Надалі, сформована множина образів  $\{P\}$  підлягає селекції та на її основі формується множина інформативних образів  $\{P\}'$ . Сукупність  $\{P\}'$  містить образи, що відповідають тим каналам виміру, що за наявних умов вимірювання забезпечують максимальну достовірність результату. При чому

$$\{P\}' \subset \{P\}. \quad (3.1)$$

Селекція множини  $\{P\}$  на дві групи – інформативні та неінформативні здійснюється на основі наступної апріорної інформації бази знань:

- дані про типи ультразвукових датчиків;
- розміри «сліпої» зони датчика  $\{\Delta_k\}$ ;
- діапазони вимірювання датчиків  $\{\Delta L_k\}$ ;

– дані про розподіл точності вимірювання у всьому діапазоні датчика  $\{p_k(r)\}$ .

Можливість додання до бази знань характеристик датчиків, що використовуються у системі, надається оператору на основі його експертних знань та евристичних здібностей. В результаті чого, інформаційну модель системи розпізнавання представляється у вигляді

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_k \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_k \end{pmatrix} = \begin{cases} R_1, \{Ch_1|G\}, \\ R_2, \{Ch_2|G\}, \\ \dots \\ R_k, \{Ch_k|G\}, \end{cases} \quad (3.2)$$

де  $R_1-R_k$  – сукупність апостеріорних даних про вимір відстані кожним з  $k$  датчиків;

$\{Ch_l|G\} - \{Ch_k|G\}$  – сукупність апріорних характеристик  $k$  датчиків за умови наявності критеріальної характеристики  $G$ , за якої може бути здійснена селекція достовірного (або достовірних) результатів вимірювання.

Відповідно до моделі (5.18) кожна ознака  $R_1-R_k$  характеризує одне й теж саме значення виміру відстані. Якщо представити, що система складається з  $k$  ідеальних ультразвукових датчиків, кожен з яких на всьому діапазоні вимірювання дозволяє отримати абсолютно достовірний результат, то очевидно, що  $R_1 = R_2 = \dots = R_k$ . Однак, у випадку реальних умов, на кожній відстані отримуються результати вимірювання з різною достовірністю, тому  $R_1 \approx R_2 \approx \dots \approx R_k$ . При чому ступінь наближення до достовірного результату для кожного датчика на різній відстані буде різним. Таким чином, для визначення достовірного результату в усьому загальному діапазоні системи вимірювання  $\Delta L$  використовуються характеристики розподілу точності вимірювання від відстані. Така характеристика визначається апріорно для кожного датчика, виходячи з його типу, та на основі його технічної документації. Проведені дослідження

широкого спектру ультразвукових датчиків показав що розподіл точності вимірювання в усьому діапазоні, за незначним припущенням, можна представити як нормальний розподіл. Якщо ймовірнісні характеристики отримання достовірного результату для кожного датчика представити в одній системі, то характеристика розподілу ймовірності отримання достовірного результату вимірювання відстані для всієї системи з  $k$  ультразвукових датчиків буде представлена у вигляді, наведеному на рисунку 3.3.

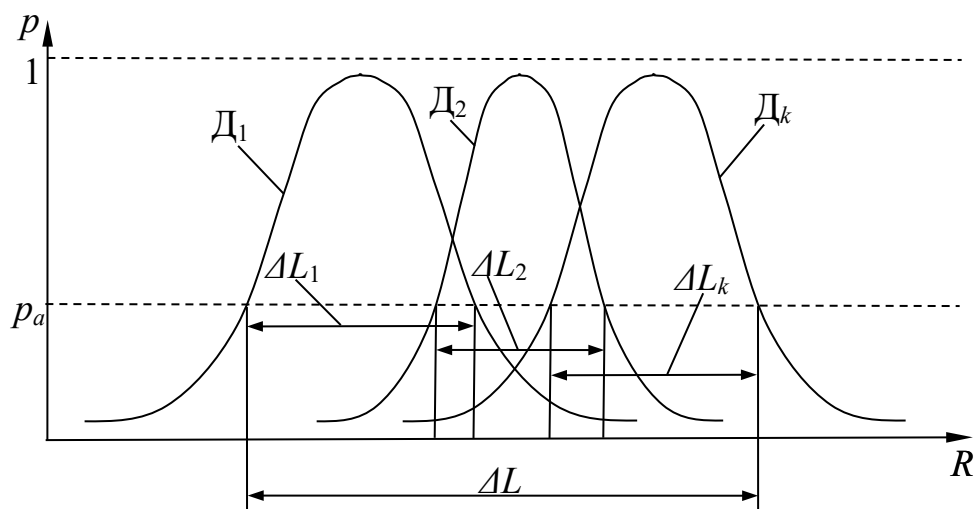


Рисунок 3.3 – Розподіл ймовірностей отримання достовірного результату вимірювань системою ультразвукових датчиків

3.2 Інформаційна технологія пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в багатоканальній системі ультразвукового вимірювання

За реальних умов реалізації ІТ, задачею експерта є визначення мінімально допустимого рівня достовірності результату вимірювання, що на рисунку 3.3 показаний як  $p_a$ . Відповідно до цього, стає можливим визначення допустимих діапазонів вимірювання для кожного датчика ( $\Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_k$ ). Максимальна точність для кожного датчика прагне одиниці. Таким чином, допустимі характеристики точності можуть бути отримані тільки у діапазоні  $[p_a, 1)$ .

В ІТ ультразвукового вимірювання, отримання найбільш достовірного результату (той що належить діапазону  $[p_a, 1)$ , та має найбільше можливе значення в цьому діапазоні) можливий завдяки апріорній побудові уздовж усього діапазону вимірювання лінії отримання достовірних результатів вимірювання. Ця лінія фактично визначає критеріальну характеристику  $G$  за якою здійснюється селекція достовірного значення вимірюної відстані. Визначення цієї лінії можливо через порівняння значень функцій розподілу  $p_k(R)$  для кожного датчика. Якщо достовірний результат вимірювань позначити як  $R$ , то критерій селекції цього значення з сукупності буде визначатися як

$$\forall R_i, R_i \in \Delta L \Leftrightarrow \exists R_i = R, p_i(R_i) = \max p_i(R). \quad (3.3)$$

Визначення лінії отримання достовірних результатів вимірювань проілюстровано на рисунку 3.4. Вона складається з відрізків  $\Delta L_1', \Delta L_2', \dots, \Delta L_k'$ , які є частинами визначених раніше діапазонів датчиків  $\Delta L_1', \Delta L_2', \dots, \Delta L_k'$ . Відповідно до (3.3), серед отриманих вимірів  $R_1-R_k$  датчиків  $D_1-D_k$  найбільш достовірним значенням  $R$  буде вважатися вимір  $R_i$  датчика  $D_i$ , для якого забезпечується максимум функції розподілу.

Однак, в цьому випадку, побудова безперервної лінії отримання достовірних результатів вимірювань можлива тільки за умови перекриття локальними діапазонами вимірювань датчиків усього необхідного діапазону  $\Delta L$ . Так, згідно прикладу, представленому на рисунку 3.4, лінія отримання достовірних результатів буде проходити від точки  $A$  до точки  $B$ , далі від точки  $B$  до  $C$ , та від  $E$  до  $F$ . Таким чином, у діапазоні  $AB$  достовірний результат буде відповідати датчику  $D_1$ , у діапазоні  $BC$  – датчику  $D_2$ , а для діапазону  $EF$  – датчику  $D_k$ .

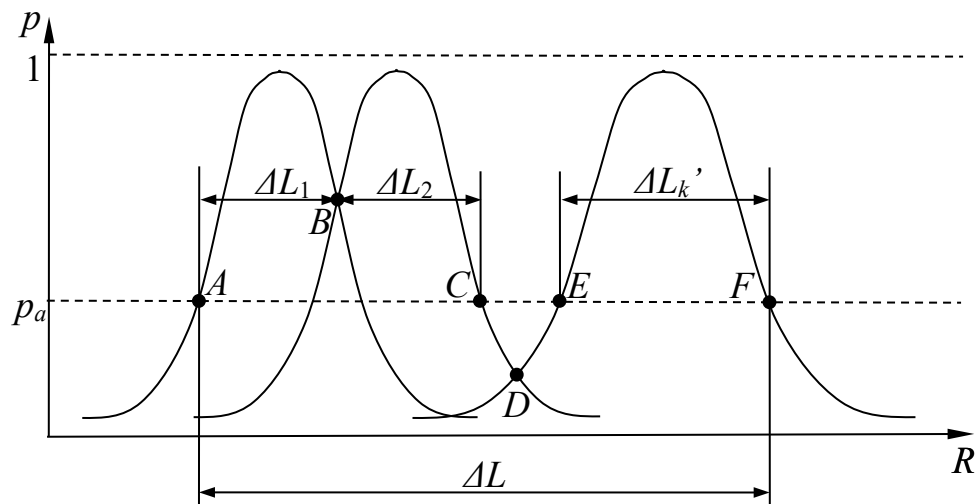


Рисунок 3.4 – Визначення лінії отримання достовірних результатів вимірювань у системі ультразвукових датчиків

Слід зазначити, що під час синтезу ІТ ультразвукового вимірювання може скластися ситуація, коли не буде безперервною лінія  $AF$  в усьому діапазоні  $\Delta L$ . Такий випадок також проілюстрований на рисунку 3.4. На рисунку видно, що на діапазоні  $CE$  неможливе отримання достовірного результату, так як область в околиці точці  $D$  лежить нижче мінімально припустимого рівня достовірності результату вимірювання. Цей факт дозволяє під час синтезу ІТ здійснити автоматичне визначення кількості необхідних датчиків з відповідним діапазоном.

У випадку коректного синтезу ІТ ультразвукового вимірювання необхідне обов'язкове виконання умови

$$p(A) \in [p_a, 1) \wedge p(B) \in [p_a, 1) \wedge p(C) \in [p_a, 1) \wedge \dots \wedge p(D) \in [p_a, 1) \wedge \dots \wedge p(E) \in [p_a, 1) \wedge p(F) \in [p_a, 1). \quad (3.4)$$

Якщо умова (3.4) не виконується, то обрана кількість датчиків не дозволяє з заданим рівнем  $p_a$  перекрити увесь діапазон  $\Delta L$ . Найбільш раціональним є введення до системи датчику, для якого максимально достовірний результат вимірювань співпадає з точкою мінімуму діапазону розриву лінії отримання

достовірних результатів вимірювань  $R_{ecs}$ . Критерій визначення такої точки  $R_{ecs}$  буде мати вигляд

$$\forall R_i, p_i(R_i) \notin [p_a, 1] \Leftrightarrow \exists R_i = R_{ecs}, p_i(R_i) = \min p_i(R). \quad (3.5)$$

На рисунку 3.5 проілюстрований процес усунення розриву лінії отримання достовірних результатів вимірювань за рахунок введення  $k+1$ -го датчику з максимумом, що співпадає з точкою  $R_{ecs}$ .

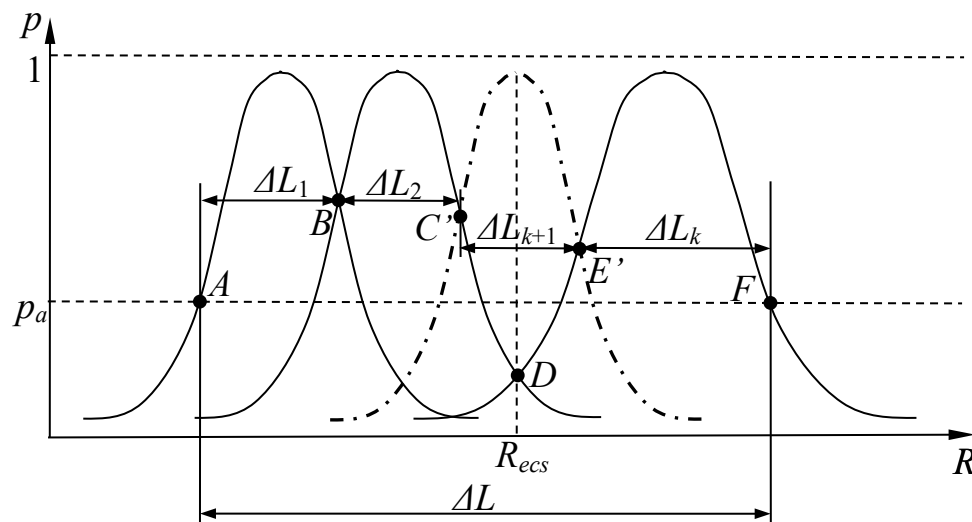


Рисунок 3.5 – Усунення розриву лінії отримання достовірних результатів вимірювань через введення додаткового датчику

Введення до системи  $k+1$ -го датчику призвело до зміни граничних точок  $C$  і  $E$  (згідно рисунку 3.5) на точки  $C'$  і  $E'$  відповідно. Таким чином, скорегована лінія отримання достовірних результатів вимірювань буде проходити через послідовність точок  $A, B, C', E', F$  та повністю відповідати умові безперервності у всьому діапазоні  $\Delta L$ , що, в свою чергу буде складатися з діапазонів вимірювань датчиків:  $\Delta L_1, \Delta L_2', \dots, \Delta L_{k+1}, \dots, \Delta L_k'$ .

### 3.3 Метод визначення достовірного результату вимірювання в запропонованому методі ультразвукового вимірювання

Як вже вказувалося раніше, результатом роботи системи ультразвукових датчиків є сукупність вимірів відстані, кожен з яких має різну достовірність. В цьому випадку виникає необхідність селекції цих показників і визначення характеристики, що має максимальну достовірність при поточних умовах вимірювання та отриманого значення відстані. В цьому випадку задача селекції представляє собою динамічну багатопараметричну задачу, з високим рівнем коваріації характеристик. Так як достовірність результатів вимірювань кожного датчика буде залежити від його типу, поточної дальності виміру, умов навколишнього середовища, наявності додаткових перешкод.

Останнім часом для рішення багатопараметричних задач широко використовується апарат розпізнавання образів, що дозволяє здійснювати прийняття рішення в умовах часткової або повної невизначеності, а також за умови стохастичності поведінки об'єкта і навколишнього середовища.

На сьогодні, широке використання систем розпізнавання образів пов'язане з ростом складності, багатокритеріальності і стохастизму об'єктів інформатизації. Використання традиційної концепції обробки інформації, що включає побудову математичної моделі, розробку алгоритму і проведення розрахунків, ускладнюється в наслідок збільшення часової складності процесу аналізу, або значного ускладнення математичної моделі [22].

У деяких випадках, створення повної моделі, що задовольняє поставленій задачі, зовсім стає неможливим. В таких умовах, використання апарату розпізнавання образів, що базується на неповному описі об'єктів, стає доцільним і дозволяє здійснити класифікацію при одночасному зниженні часової складності цього процесу.

Слід зазначити, що для прийняття управлінських рішень важлива не тільки достовірність результату вимірювання, але й оперативність визначення цього достовірного результату. Тому додатковим критерієм визначення достовірного

результату вимірювання системи ультразвукових датчиків є часова складність процесу аналізу даних.

Точність і часова складність, як основні складові, що визначають ефективність функціонування ультразвукової системи вимірювання відстані в істотній залежності від сукупності даних (в теорії розпізнавання вони називаються ознаками) за якими здійснюється прийняття рішення щодо визначення достовірного результату.

У випадку використання апарату розпізнавання образів, кожен датчик, представляє собою об'єкт, що характеризується образом, який, в свою чергу, представляє сукупність характеристик – ознак. Аналітично задача розпізнавання образів і визначення достовірного результату вимірювання може бути сформована на основі матричного представлення (3.6).

$$\{S\} \subset \{P\} \quad (3.6)$$

Крім інформації про отримані поточні значення відстані до інформаційної моделі системи розпізнавання необхідно включити ознаки, що характеризують характеристики кожного датчика, а також критерії визначення достовірності результатів вимірювань. Уся ця сукупність даних формує базу знань для подальшого прийняття рішення стосовно достовірного результату вимірювання. Тоді інформаційна модель системи розпізнавання буде мати наступний вигляд.

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_n \end{pmatrix} = \begin{cases} \Delta R_1, \{Ch_1|G\}, \\ \Delta R_2, \{Ch_2|G\}, \\ \dots \\ \Delta R_n, \{Ch_n|G\}. \end{cases}, \quad (3.7)$$



де множина  $\{Ch_n|G\}$  - представляє собою сукупність характеристик датчика  $n$  за умови наявності деякої критеріальної характеристики  $G$ , за якої може бути здійснена селекція достовірного (достовірних) результатів вимірювання.

В загальному плані, покращення точності розпізнавання залежить від розміру прецедентної вибірки і кількості обраних класифікуючих ознак. Однак, при зміні умов виміру кожним датчиком (об'єктом) отримання точної класифікації та визначення достовірного результату ускладнюється. В цьому випадку доцільно використання такого підходу, за яким отримання достовірного результату класифікації та визначення відстані буде здійснюватися у мінімальний проміжок часу.

Відомо, що для підвищення ефективності розпізнавання широко використовують спеціальні алгоритми бустінгу, комбінації алгоритмів. Однак, ускладнення алгоритмічного забезпечення призводить до збільшення часової складності процесу розпізнавання, але не завжди дозволяє значно підвищити ефективність класифікації в різних умовах спостереження за об'єктом.

В роботах для підвищення ефективності розпізнавання, у тому числі при зміні умов спостереження об'єкту, пропонується використання гібридних (комбінованих) систем розпізнавання образів ГСРО (КСРО). В таких системах, для рішення задач розпізнавання, використовуються декілька інформаційних потоків, які дозволяють оперувати з сукупністю образів одного об'єкту, однак ознаки цих образів повинні мати різну природу виникнення і, як наслідок, мати малий взаємний вплив. При цьому бажано, щоб інформативні ознаки образів були інваріантні до зовнішніх впливів і перешкод, що дозволить отримати точну класифікацію за умови наявності фону завад і викривлень. Такий підхід як раз максимально відбиває проблематику задачі, що вирішується. В цьому випадку інформаційна модель, що наведена вище, може бути представлена як модель гібридної системи розпізнавання з  $n$  інформаційними каналами.

В ГСРО один образ (або сукупність образів) дають кращий результат класифікації за одних умов, а інші – за других. Тобто, за різних умов, різні датчики з системи вимірювання будуть надавати максимально достовірний результат. Крім цього, додаткові образи (данні виміру інших датчиків) можуть бути використані для остаточного уточнення результату класифікації.

Крім вказаних переваг ГСРО існує і один з основних недоліків – значне збільшення кількості ознак об'єкту розпізнавання. В цьому випадку стає актуальним питання селекції раціональної сукупності образів з метою забезпечення точної класифікації і одночасного зниження часової складності процесу розпізнавання. Для побудови алгоритмів селекції необхідно визначити критерій, або систему критеріїв, що дозволило би визначати сукупність образів для розпізнавання об'єкту у поточних умовах спостереження.

Використання ГСРО, насамперед, пов'язане зі збільшенням інформаційного простору аналізу, так як задіяні декілька образів для розпізнавання одного об'єкту. Все це може позитивно вплинути на точність класифікації, але ж однозначно буде збільшена часова складність процесу аналізу інформативних ознак. При цьому, деякі образи, за різних умов спостереження, можуть бути малоефективні або зовсім неефективні для отримання точної класифікації. Тому, критерії селекції образів повинні дозволити для поточних умов спостереження за об'єктом виключити незначущі або малозначущі образи, що зменшить інформаційне поле аналізу і позитивно вплине на часову складність процесу класифікації.

Відомі різноманітні підходи до аналізу інформативності ознак образів. Серед них можна виділити п'ять основних груп:

- на основі дискретних методів пошуку у навчальній виборці інформативної зони;
- на основі методів кластеризації;
- на основі припущення о нормальності розподілу об'єктів у кластерах [10];

- на основі теоретико-інформаційного поняття ентропії;
- на основі непараметричних оцінок щільностей.

Однак, наведені вище методи, направлені на визначення інформативності сукупності інформаційних ознак образів, але в ГСРО, з погляду на те, що кожен об'єкт представляється сукупністю образів, стає необхідним визначення критеріїв селекції інформативних образів. Це дозволить виключати одразу групи найменш інформативних ознак, що відповідають усуненому від класифікації образу. Все це позитивно вплине не тільки на точність класифікації але і на часову складність аналізу. Таким чином можна відзначити, що розроблення нових критеріїв селекції інформативних образів в гібридних системах розпізнавання є актуальною науково-технічною задачею.

Відповідно до вищесказаного, в ГСРО для класифікації об'єкта за кожним з передвизначених класів може використовуватись або уся сукупність образів, або визначена сукупність, яка у поточних умовах спостереження дозволяє отримати кращий результат. Інші образи, що не входять до класифікаційної вибірки можуть бути або використані, за умови необхідності уточнення результату класифікації, або усунені від аналізу.

Припустимо, що у деякому просторі  $\Omega$  існує сукупність образів  $P_1-P_n$ , що описують об'єкт розпізнавання (відповідно, до наведеної вище інформаційної моделі). Ці образи мають різну природу походження і, відповідно, малу коваріацію між їхніми ознаками. На рисунку 4.7 наведена абстрактна структура цієї сукупності образів об'єкту розпізнавання. Априорі відомо, що виходячи з основної концепції гібридних систем розпізнавання, усі образи характеризують один об'єкт, який підлягає класифікації. Однак з урахуванням поточних умов спостереження за об'єктами кожен з образів дозволяє віднести об'єкт розпізнавання до передвизначеного класу з різною вірогідністю. До того ж, у різних умовах отримання інформаційних ознак, вірогідність отримання точної класифікації за кожним з образів буде відрізнятися. Так у розглянутому вище прикладі розпізнавання типу транспорту вірогідність точної класифікації за візуальним образом буде більшою за умови якісного відображення об'єкту, і

меншою за наявності значного рівня перешкод і викривлень. Відповідно до цього, можна зробити висновок, що один і той же образ за одних умов спостереження може бути використаний для аналізу, а з інших – виключений.

Для визначення раціональної сукупності образів для розпізнавання необхідне визначення деякої критеріальної характеристики  $G$ , яка дозволила б здійснити розподіл. На рисунку 3.6 така характеристика схематично представлена контуром  $G$ .

Характеристика  $G$  дозволяє здійснити розподіл наявної сукупності образів за наступними принципами. У випадку строгого розподілу визначається дві сукупності:

- 1)  $C_{інф} = \{P_5, P_4, P_7, P_8\}$  – образи що знаходяться у визначеній області  $G$  і відповідають визначеному критерію;
- 2)  $C_{нінф} = \{P_1, P_2, P_3, P_6, P_9, P_{10}-P_n\}$  – образи, що не відповідають визначеному критерію.

Для здійснення класифікації використовується перша сукупність, яка повністю відповідає критерію. Друга сукупність є неінформативною (або малоінформативною) і може бути усунена від аналізу.

У випадку нестрогого розподілу, може бути визначено три групи образів:

- 1)  $C_{інф} = \{P_5, P_4, P_7, P_8\}$  – вищезазначена сукупність образів, що повністю відповідають обраному критерію  $G$ ;
- 2)  $C_{уінф} = \{P_1, P_2, P_3, P_6, P_9\}$  – образи, що лежать на межі критеріальної характеристики  $G$ ;
- 3)  $C_{нінф}' = \{P_{10}-P_n\}$  – образи, що розташовані за межами обраної критеріальної характеристики  $G$ .

Серед визначених трьох груп, перша є найбільш інформативною і використовується для класифікації. Друга група, хоч і є менш інформативною,

але може бути використана для додаткового уточнення результатів класифікації. Це дозволяє ввести додаткову логічну семантику в процес розпізнавання. Третя група є найменш інформативною і усувається від розпізнавання.

Виходячи з того, що в ГСРО  $n$  образів характеризують деякий об'єкт, то очевидно, що кожен з цих образів дозволяє здійснити класифікацію за одним і тим же класом. Таким чином, ефективність використання того чи іншого образу для класифікації може бути визначена через введення спеціальної метрики, яка буде відображенням шуканого критерію селекції. В якості такої метрики пропонується використання принципу мінімуму відстані. Тоді, визначення доцільності включення кожного образу до однієї з селекційних груп буде визначатися за значенням метрики.

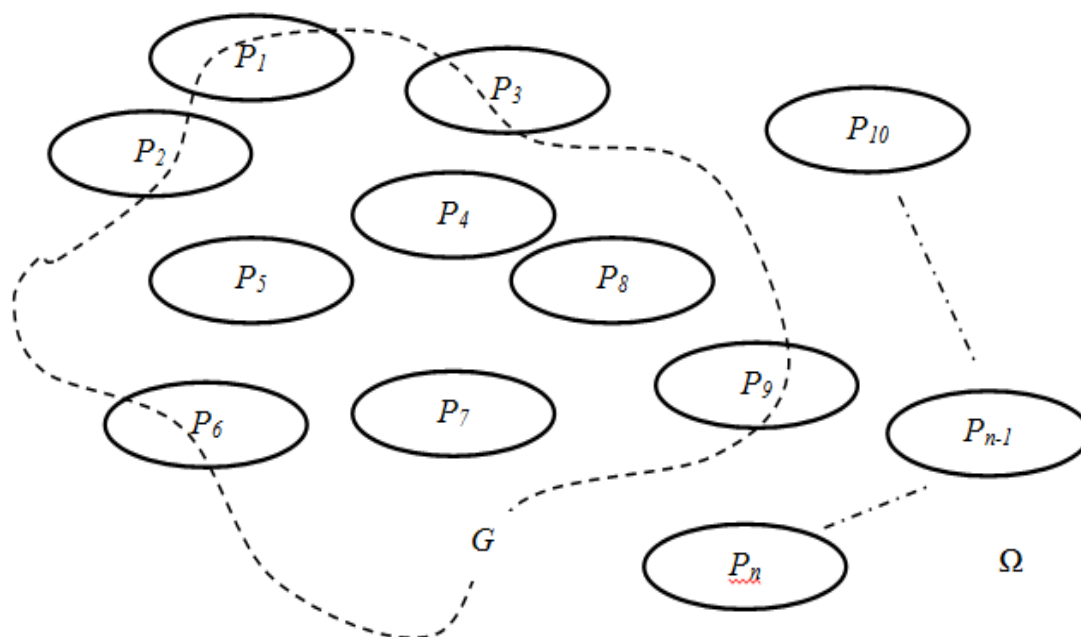


Рисунок 3.6 – Розподіл сукупності образів критеріальною характеристикою  $G$

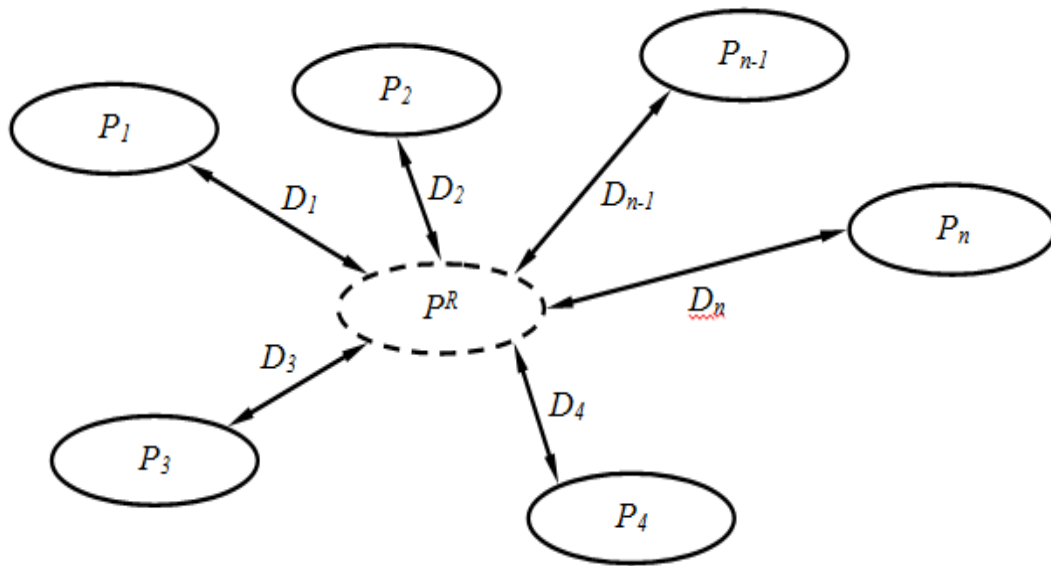


Рисунок 3.7 – Визначення метрики для передвизначених образів

Припустимо, що мається сукупність  $n$  інформаційних образів  $P_1-P_n$ , причому  $\{P\} \in \Omega$  (де  $\Omega$  – деякий евклідовий простір). Крім цього, заданий клас характеризується репрезентативним образом  $P^R$  (Рисунок 3.7).

Відносно репрезентативного образу, для кожного з  $n$  передвизначених образів можна визначити значення метрики  $D_n$ , як проілюстровано на рисунку 3.7.

Характеристика відстані для кожного з  $n$  образів може бути визначена наступним чином:

$$D_n = \| P_n - P^R \| = \sqrt{(P_n - P^R)'(P_n - P^R)}, \quad (3.8)$$

де  $D_n$  – характеристика відстані для  $n$ -го образу об'єкта.

Залежність (4.3) для зручності можна представити в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} D_n^2 &= (P_n - P^R)'(P_n - P^R) = P_n'P_n - 2P_n'P^R + P_n^{R'}P^R = \\ &= P_n'P_n - 2(P_n'P^R - \frac{1}{2}P^R'P^R) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Відповідно до отриманої залежності (3.9), вибір раціональної сукупності образів для класифікації можна здійснити за мінімальним значенням відстані  $D_n$ . При чому, слід зазначити, що мінімальне значення метрики буде визначатися максимальним значенням від'ємника залежності (3.9):

$$D_n \sim P_n' P^R - \frac{1}{2} P^{R'} P^R \quad (3.10)$$

Ті образи, що не відповідають заданій нормі відстані можуть бути не задіяні для розпізнавання.

Тоді, визначення критерію  $G$  зводиться до визначення  $D_R$  – максимально припустимої відстані образів від репрезентативного образу  $P^R$ . В цьому випадку, віднесення образу до раціональної сукупності буде здійснюватися за умови:

$$D_n \leq D_R \quad (3.11)$$

На основі вищевикладеного, критерій строгої селекції образів між двома розподілами  $C_{\text{інф}}$  і  $C_{\text{нінф}}$  буде визначатися наступним чином:

$$\forall P_n \in C_{\text{інф}} \Leftrightarrow D_n \leq D_R \quad (3.12)$$

$$\forall P_n \in C_{\text{нінф}} \Leftrightarrow D_n > D_R \quad (3.13)$$

Для здійснення нестрокої селекції між розподілами  $C_{\text{інф}}$ ,  $C_{\text{уінф}}$ ,  $C_{\text{нінф}}$  необхідно додатково визначити норму допуску  $\Delta D_R$  для умовно інформативної

сукупності образів  $C_{уінф}$ . Тоді критерій нестрогої селекції образів між розподілами  $C_{інф}$ ,  $C_{уінф}$  і  $C_{нінф}$  буде мати вигляд:

$$\forall P_n \in C_{інф} \Leftrightarrow D_n < (D_R - \Delta D_R) \quad (3.14)$$

$$\forall P_n \in C_{інф} \Leftrightarrow (D_R - \Delta D_R) \leq D_n \leq (D_R + \Delta D_R) \quad (3.15)$$

$$\forall P_n \in C_{інф} \Leftrightarrow D_n > (D_R + \Delta D_R) \quad (3.16)$$

В якості критерію оцінки достовірності розпізнавання було використано статистичну достовірність, яка істотним образом залежить від складності розпізнавання і репрезентативності образів.

$$D = F(S, N), \quad (3.17)$$

де  $S$  – складність розпізнавання;

$N$  – обсяг вибірки.

Для визначення статистичної достовірності було проведено серію експериментів, що дозволило визначити кількісні показники достовірності як:

$$D = \frac{N_{cor}}{N_{com}}, \quad (3.18)$$

де  $N_{cor}$  і  $N_{com}$  – кількість коректно розпізнаних образів і загальна кількість, відповідно.



### 3.3 Висновки до розділу 3

В даному розділі проведено розробку методу покращення точності та розширення діапазону вимірювань системи ультразвукових датчиків, а також алгоритму пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в гібридній системі ультразвукового вимірювання.

Для визначення лінійних відстаней пропонується новий метод, який ґрунтується на комбінуванні даних які надходять від декількох ультразвукових датчиків. Цей метод дозволяє досягти поставленої мети: збільшення точності та розширення діапазону вимірювання.

Завдяки розробленому алгоритму пошуку найбільш достовірного результату вимірювання можливо визначити кількість датчиків, що забезпечують необхідний рівень ймовірності даних.

Розроблений алгоритм є універсальним для систем вимірювання лінійних відстаней, коли необхідно визначити кількість датчиків, що забезпечують необхідний рівень ймовірності даних.

## 4 ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОЇ ВІДСТАНИ

4.1 Структурно-логічна схема послідовності виконання операцій в інформаційній технології багатоканального ультразвукового вимірювання лінійної відстані

На рисунку 4.1 представлена структурно-логічна схема послідовності виконання операцій в інформаційній технології ультразвукового вимірювання лінійних відстаней.

Згідно цієї схеми, вхідні дані про лінійну відстань до об'єкту у просторі сприймаються системою ультразвукових датчиків, діапазоні вимірювань яких співвідносяться згідно рисунку 3.1. Ці дані реєструються  $k$  датчиками, що забезпечує формування сукупності з  $k$  образів, які містять ознаки вимірювальної відстані.

Так як динамічні характеристики датчиків відрізняються, це призводить до того, що, навіть якщо команда, що ініціює випромінювання ультразвукового сигналу надходить одночасно на усі датчики, сигнали будуть відіслані з різними часовими затримками. Приймання зворотного, відбитого сигналу також здійснюється з різними часовими затримками, так як накопичується похибка з моменту відправлення сигналу. Таким чином, для часової синхронізації процесів обробки даних, після формування образів, здійснюється етап прив'язки результатів вимірювання датчиків до певних часових відліків:

$$\forall l(t), t_{i-1} \leq t \leq t_i \rightarrow l(t) = l(t_i). \quad (4.1)$$

де  $l(t)$  – поточне значення, отримане в момент часу  $t$ , що підлягає часовій прив'язці;

$t_i$  і  $t_{i-1}$  – граничні значення часу для інтервалу прив'язки;

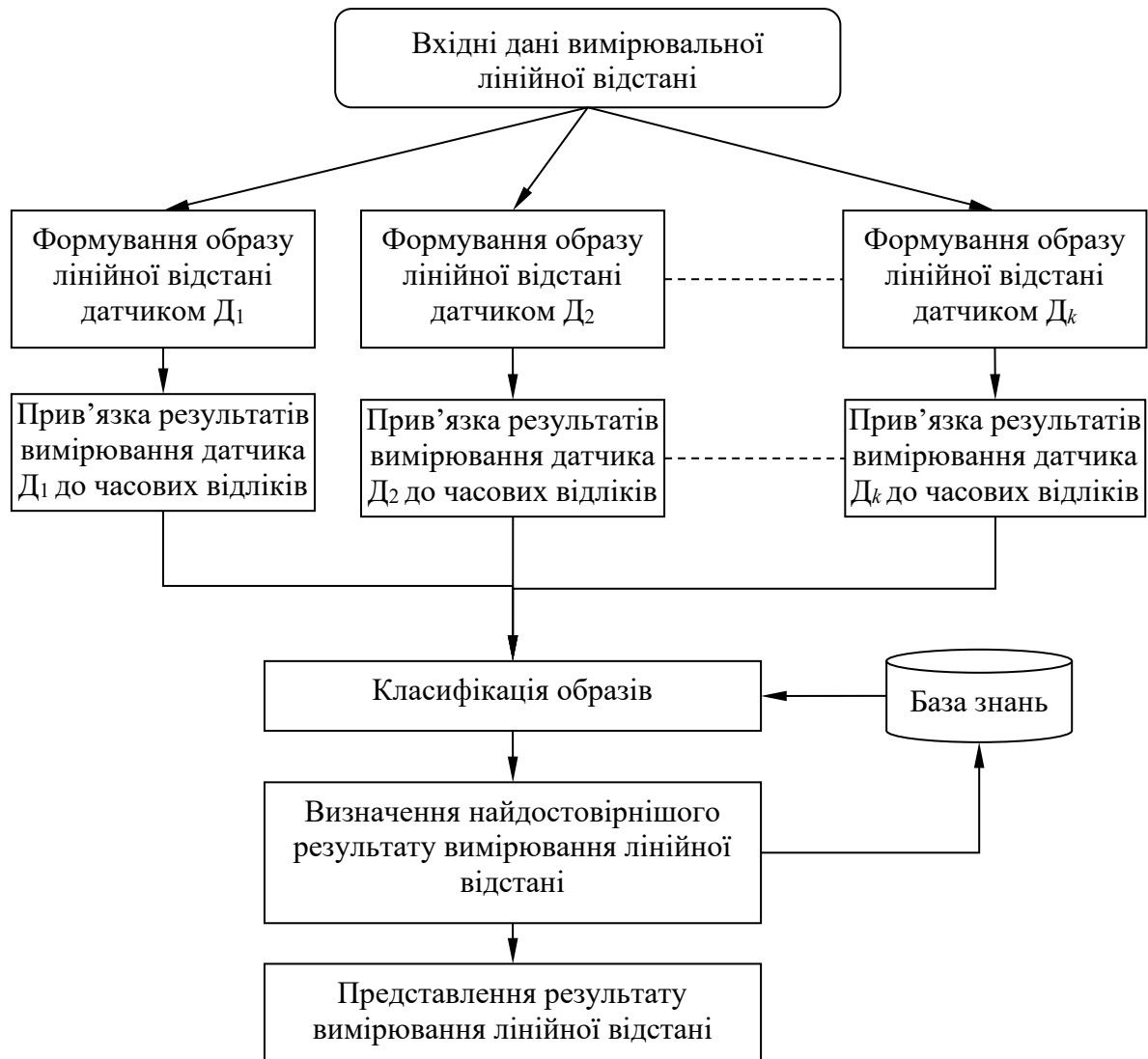


Рисунок 4.1 – Структурно-логічна схема послідовності операцій в інформаційній технології ультразвукового вимірювання лінійних відстаней

Процес прив'язки проілюстрований на рисунку 4.2. Згідно рисунку, результати вимірювань  $l_1(t) \dots l_5(t)$  відповідно до (5.21) будуть прив'язані до наступних відліків:

- $l_1(t)$ ,  $l_2(t)$  і  $l_3(t)$  будуть вважатися результатами вимірювання  $i$ -го відліку ( $l_1(t_i)$ ,  $l_2(t_i)$ ,  $l_3(t_i)$ );
- $l_4(t)$  і  $l_5(t)$  будуть вважатися результатами вимірювання  $i+1$ -го відліку ( $l_4(t_i)$ ,  $l_5(t_i)$ ).

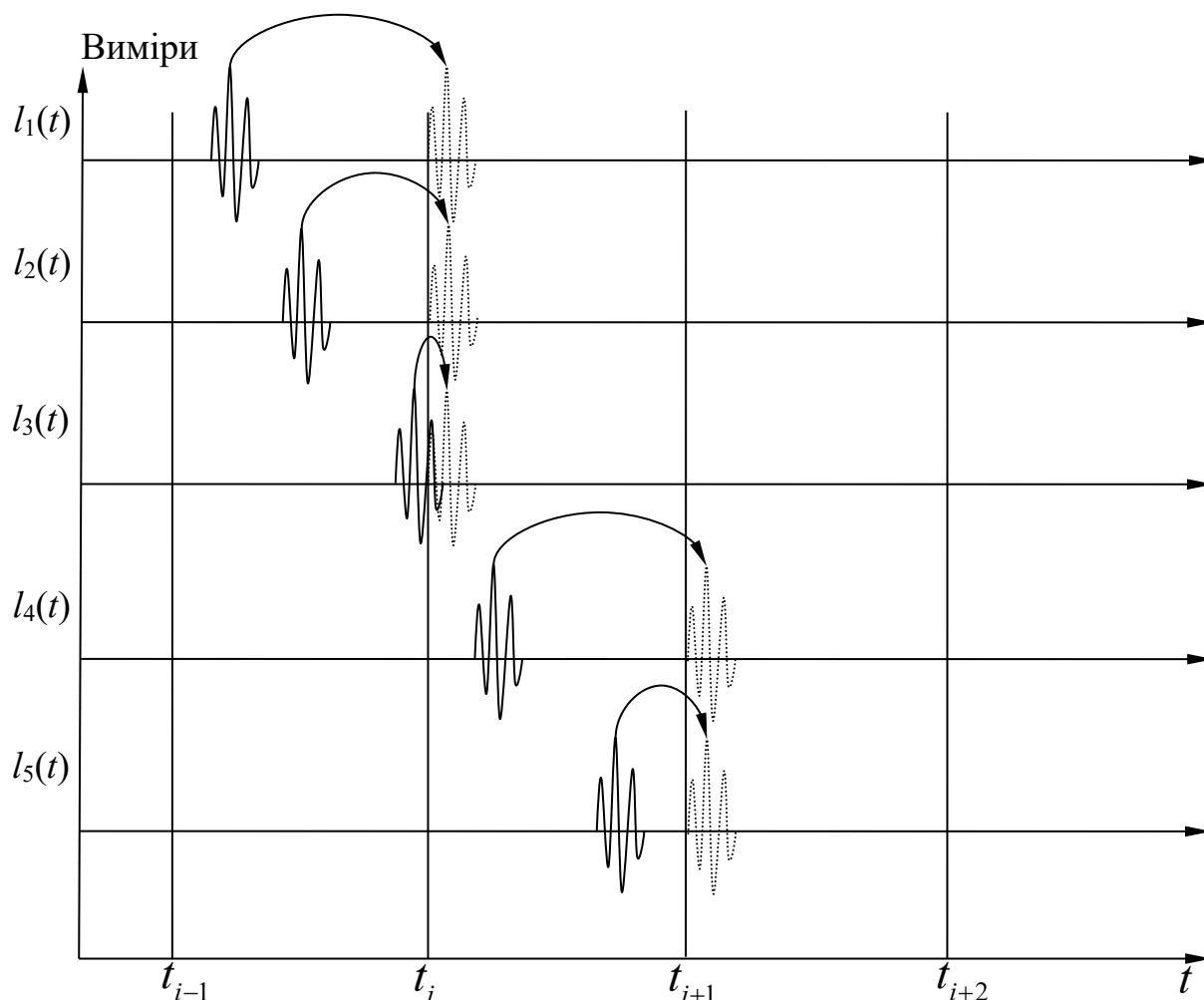


Рисунок 4.2 – Прив’язка результатів вимірювань сукупністю датчиків до послідовності часових відліків

Після прив’язки, здійснюється класифікація образів при якій співставляються результати одного відліку з характеристиками в базі даних. В результаті чого, визначається той результат, що був отриманий датчиком, який за поточних умов (тобто поточній відстані) має найвищу точність, відповідно до критерію (3.5). Крім цього, результати вимірювання датчиків порівнюються з результатами попередніх відліків на предмет значних розходжень. Якщо результат якогось датчика значно відрізняється від попереднього вимірювання або істотно різниться у порівнянні з результатами вимірювань іншими датчиками за тих самих умов і того ж відліку, то це вказує на його некоректну

роботу. При цьому, обслуговуючий персонал повинен приймати рішення щодо ремонту і заміни системи.

Надалі, отриманий результат вимірювання представляється для подальшого використання в системах контролю і управління.

Таким чином, використання ІТ гібридного розпізнавання образів для ультразвукового вимірювання лінійних відстаней дозволило забезпечити більш широкий діапазон вимірювання та визначення найдостовірнішого результату, автоматизоване визначення кількості необхідних датчиків в системі, у відповідності до їх характеристик, а також верифікацію адекватності отриманих результатів вимірювання за кожним датчиком та визначення моментів їх виходу з ладу.

#### 4.2 Імітаційне моделювання системи ультразвукових датчиків

Для оцінки адекватності методу багатоканального вимірювання було здійснено імітаційне моделювання системи, яка складається з декількох датчиків.

Для моделювання системи ультразвукових датчиків використано кілька моделей п'єзокерамічного генератора ультразвуку на основі підходу електромагнітних аналогій. Модель представлено на рисунку 4.3.

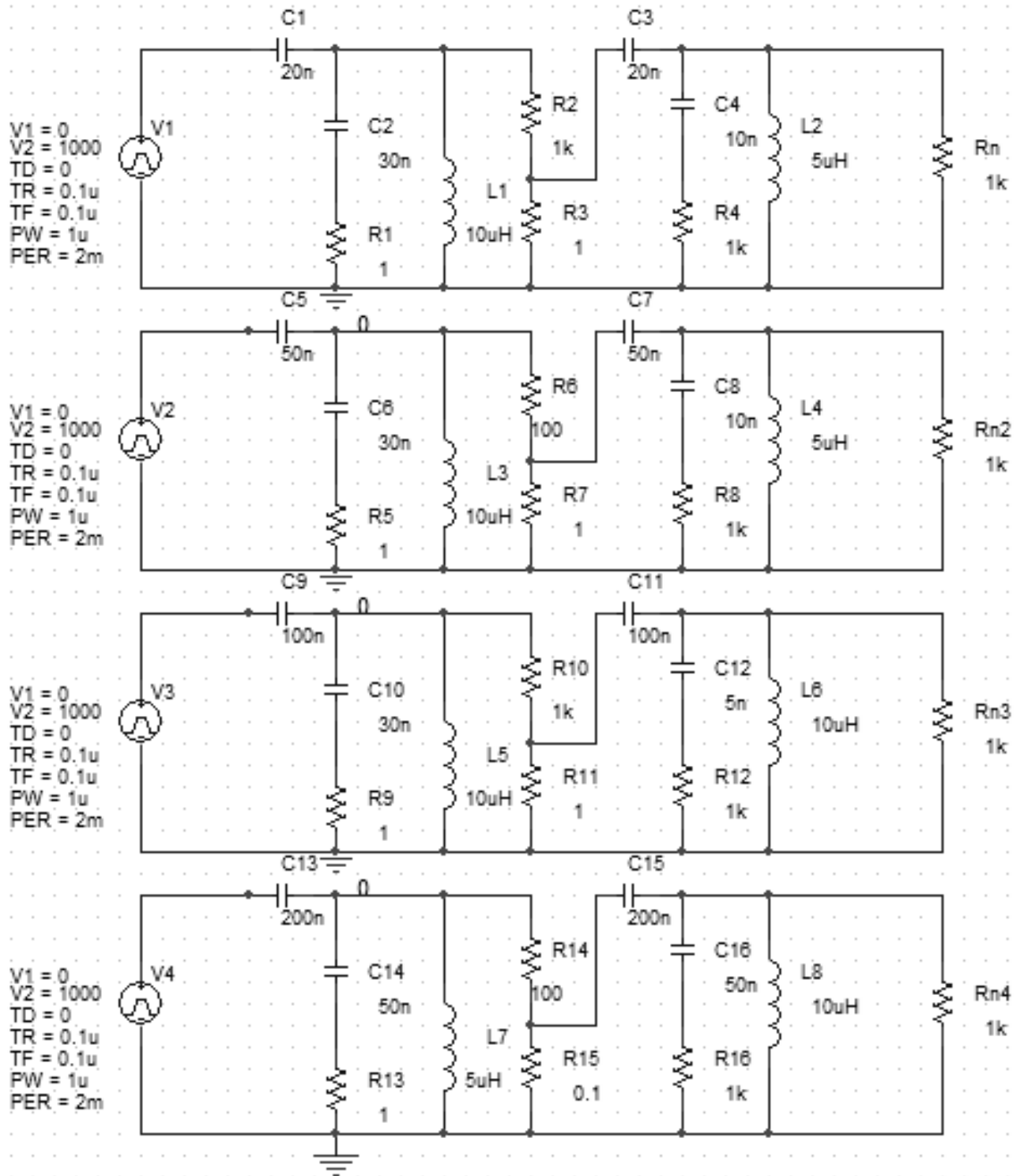


Рисунок 4.3 - Модель системи ультразвукових датчиків

Для виключення прийняття одним датчиком сигналу іншого, кожен датчик налаштований на свою резонансну частоту.

Резистивні дільники R2-R3, R6-R7, R10-R11, R14-R15 мають різні параметри, що дає можливість налаштувати датчик на різноманітні відстані. Результати моделювання представлено на рисунках 4.4 - 4.7.

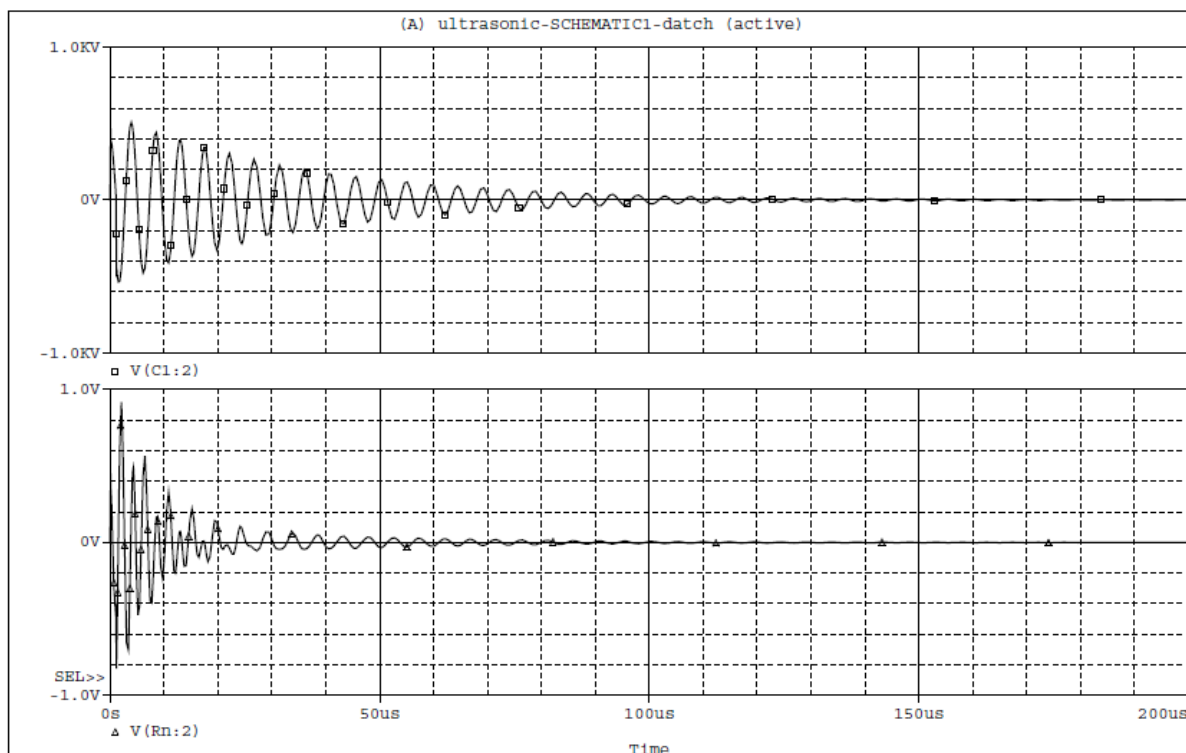


Рисунок 4.4 - Часові діаграми моделі першого датчика

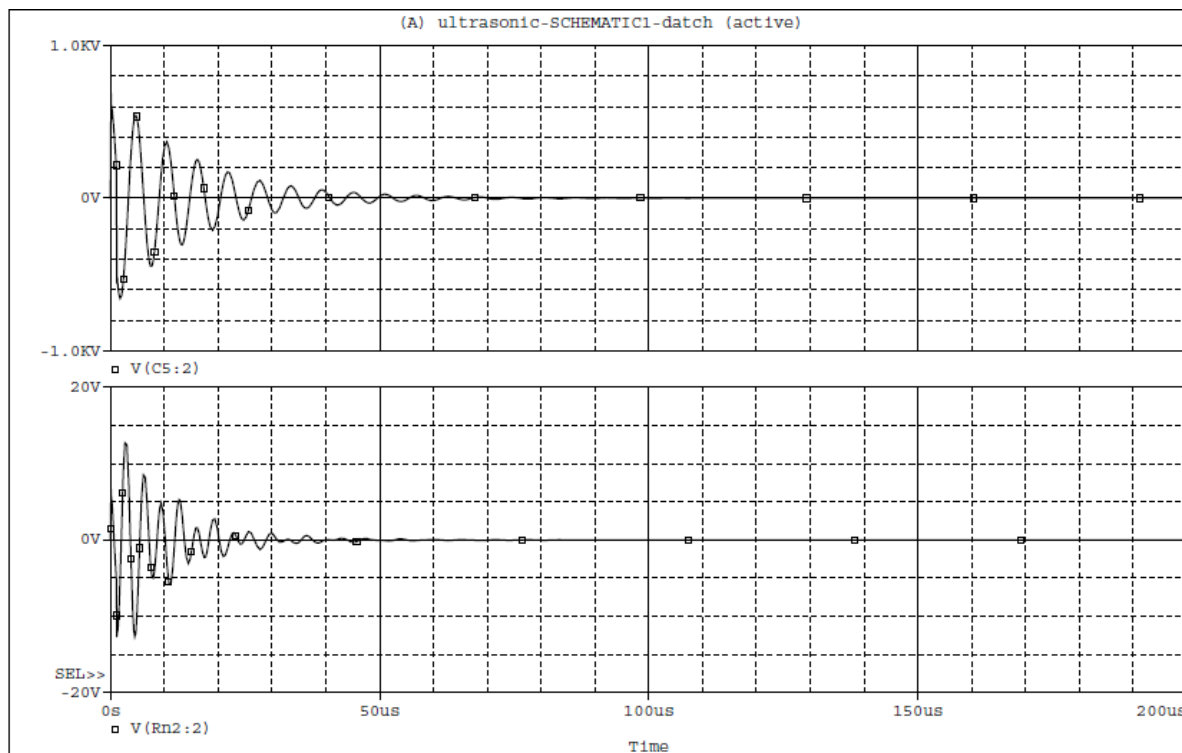


Рисунок 4.5 - Часові діаграми моделі другого датчика

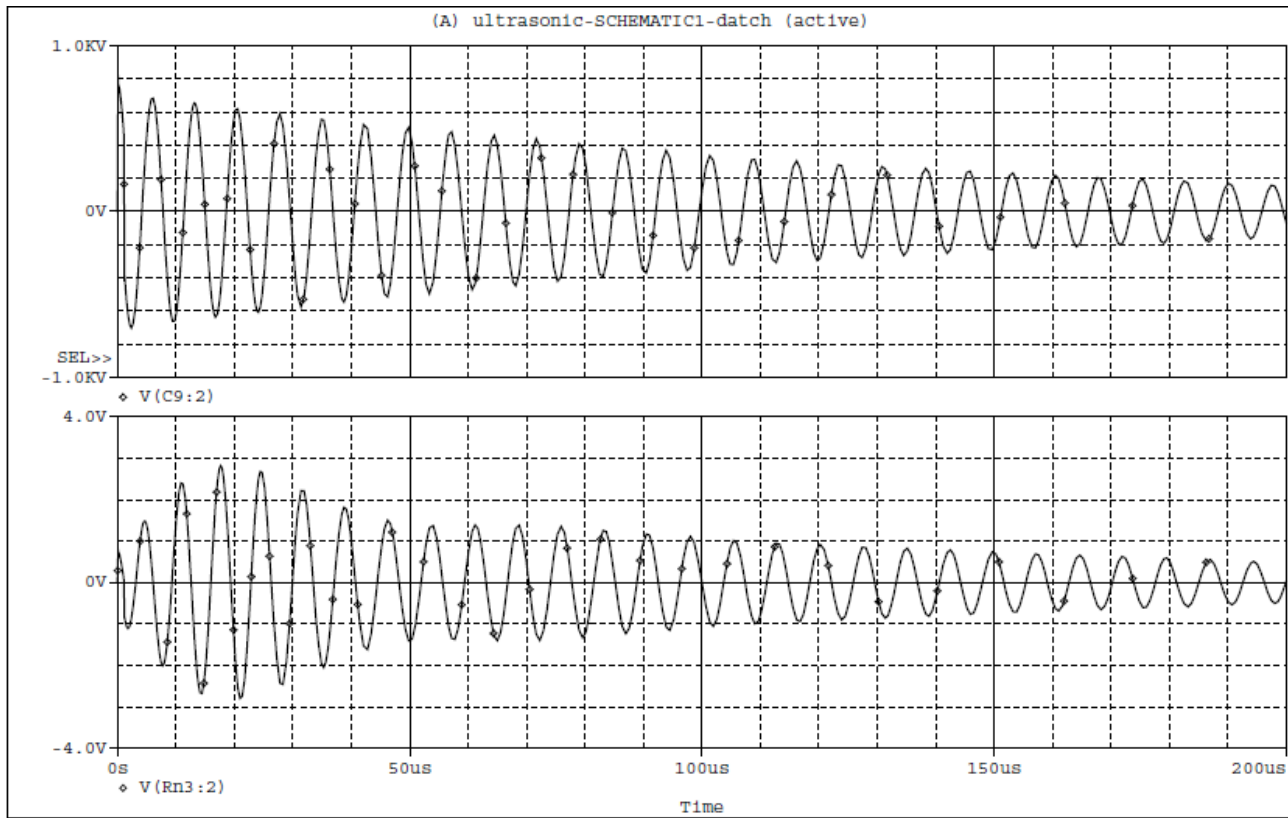


Рисунок 4.6 - Часові діаграми моделі третього датчика

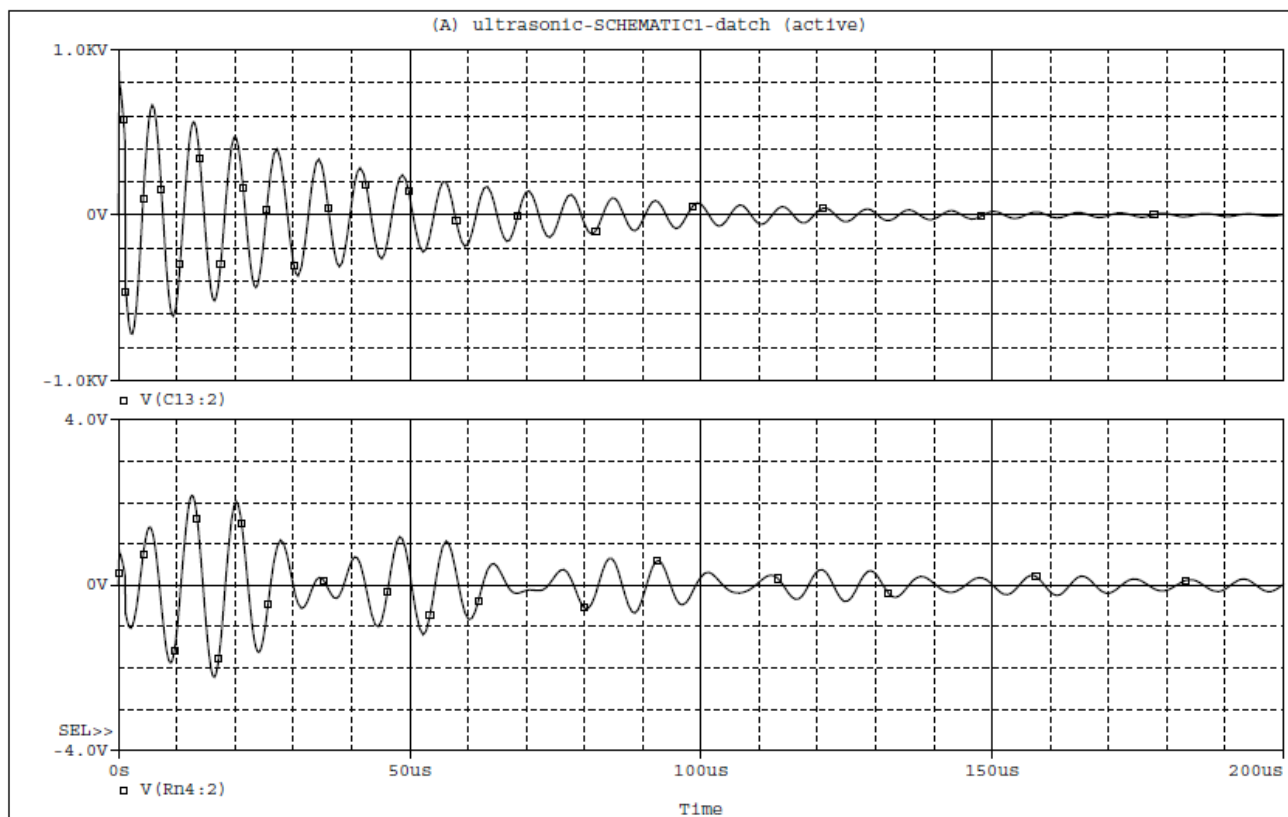


Рисунок 4.7- Часові діаграми моделі четвертого датчика



Рисунки 4.4 – 4.7 відображають часові діаграми з кожного з ультразвукових датчиків, об'єднаних в систему. На діаграмах можна помітити різну тривалість імпульсу, яка визначає відстань, на якому працює цей датчик. Чим триваліший імпульс, тим більше відстань. Також можна помітити, що кожен сигнал має свою резонансну частоту що, як зазначено вище, виключає прийом одним датчиком сигналу іншого.

За результатами моделювання можна зробити висновок щодо відсутності кореляції сигналів посилки та приймання від різних датчиків. Тобто, сигнал посилки одного датчику не викликає вираженої флуктуації сигналу в тракті прийняття іншого датчику. Таким чином пікова детекція дозволяє виключити вплив сигналів інших датчиків на отриманий сигнал поточного датчика.

#### 4.3 Висновки до розділу 4

Розглянуті аспекти реалізації інформаційної технології багатоканального ультразвукового вимірювання лінійної відстані, моделювання системи ультразвукових датчиків, а також структурна реалізація багатоканальної системи ультразвукового вимірювання.

Також було проведено моделювання системи ультразвукових датчиків, за результатами якого встановлена інваріантність сигналів посилки інших датчиків в системі на тракт приймання поточного датчику, а також для оцінки адекватності методу та розрахунків. Виходячи з результатів моделювання, які представлено у вигляді діаграм, можна прийти до висновку що тривалість імпульсу випромінювання визначає відстань, на яку налаштовано датчик. Також кожен сигнал має свою резонансну частоту, що виключає прийом одним датчиком сигналу іншого.

Було також представлено метод визначення достовірного результату вимірювання в запропонованій системі ультразвукових датчиків. Запропонована методика дозволяє створити сукупність даних щодо вимірюваної відстані для уточнення результату.

Також були розроблені методи захисту співробітників підприємства при надзвичайних ситуаціях. Розглянутий медичний захист робітників.

На об'єкті де застосовується даний пристрій залежно від характеру його виробничої діяльності створюються служби цивільного захисту та надзвичайних ситуацій: оповіщення і зв'язку, протирадіаційного і протихімічного захисту, охорони громадського правопорядку, енергопостачання та світломаскування та інші. На них покладається виконання спеціальних заходів і забезпечення дій формувань.

На об'єктах виробництва створюються відділи цивільного захисту, які повинні відповідати за своєчасну евакуацію робітників у випадку надзвичайної ситуації.

Несвоєчасні дії при виникненні надзвичайної ситуації можуть призвести до великих втрат, як виробничих ресурсів, так і людських.

## ВИСНОВКИ

В ході роботи було проведено аналіз предметної області, були розглянуті загальні відомості щодо ультразвукових систем вимірювання, області застосування, різновиди ультразвукових датчиків, проведено аналіз існуючих недоліків та труднощів у реалізації гнучких систем вимірювання з широкими діапазонами та високою точністю.

Аналіз існуючих різновидів ультразвукових датчиків вказав на обмеженість діапазону вимірювання лінійних відстаней, що пов'язана з конструктивними особливостями.

Був встановлений актуальний напрямок вдосконалення систем ультразвукового вимірювання відстані у напрямку покращення точності та розширення діапазону вимірювання.

В даній роботі було запропоновано новий метод покращення точності та розширення діапазону вимірювань системи ультразвукових датчиків, що полягає у використанні системи з  $n$  ультразвукових датчиків різних характеристик.

А також запропоновано новий алгоритм пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в гібридній системі ультразвукового вимірювання, який є подальшим розвитком методу градієнтного спуску.

Розроблений алгоритм є універсальним для систем вимірювання лінійних відстаней, коли необхідно визначити кількість датчиків, що забезпечують необхідний рівень ймовірності даних.

В ході роботи запропонована інформаційна технологія багатоканального ультразвукового вимірювання, яка дозволяє здійснювати вимірювання лінійних відстаней.

Також було проведено моделювання системи ультразвукових датчиків, за результатами якого встановлена інваріантність сигналів посилки інших датчиків в системі на тракт приймання поточного датчику, а також для оцінки адекватності методу та розрахунків.

Було також представлено метод визначення достовірного результату вимірювання в запропонованій системі ультразвукових датчиків.

Запропонована методика дозволяє створити сукупність даних щодо вимірюваної відстані для уточнення результату.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Alper Baykut. Towards Automated Classifier Combination for Pattern Recognition / Alper Baykut, Aytül Erçil // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2008. Vol. 23, No. 3. – pp. 214–224.
2. Anil K. Jain Statistical Pattern Recognition / Anil K. Jain, Rodert P.W. Duin, Jianchang Mao // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2007. – Vol. 22. No. 1. – pp. 4–37.
3. E. Kohavi, R. Kohavi. An Empirical Comparison of Voting Classification Algorithms: Bagging / E. Kohsvi, R. Kohavi // Boosting and Variants, Machine Learning. – 2009. Vol. 36. – pp. 495–498.
4. Feldman J. Perceptual grouping by selection of a logically minimal model // Int. J. Computer Vision. – 2003. Vol. 55. No. 1. – pp. 5–25.
5. Yin X.C. Feature combination using boosting / X.C. Yin, C.P. Liu // PRL. 2005. – No. 14. – pp. 2195–2205.
6. Zakhochay O. Combined Systems of Patterns Recognition / O. Zakhochay, Yu. Paerand // Measurement and control in complex systems. 2012. – pp. 241–242.
7. Алейников А. Ф., Гридчин В. А., Цапенко М. П. Датчики перспективные направления развития. – М.: Высшая школа, 2001. – 176с.
8. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. – 2012, – vol. (36). – № 12-1. – p. 2166–2170.
1. 9. Tsvetkov V. Ya. Information Asymmetry as a Risk Factor // European Researcher. Series A. – 2014. – vol. (86). – № 11-1. – pp. 1937–1943.
2. 10. Finlay P. N. Introducing decision support systems. – Oxford, UK Cambridge, Mass., NCC Blackwell: Blackwell Publishers. – 1994.
11. Гмурман В.Е. "Теорія ймовірностей і математична статистика", 2005, стр. 127;
12. Marakas G. M. Decision support systems in the twenty-first century. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. – 1999.

13. Power D. J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. Americas Conference on Information Systems, Long Beach, California. – 2000.

14. Джексон Р.Г. Новітні датчики. – К.: Наука, 2007. - 384 с.

3. 15. Friedman J. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. — IMS 1999 Reitz Lecture.

16. Захожай О. І. Мікропроцесорна техніка / О. І. Захожай, В. Я. Жуйков, Ю. Е. Паеранд, Т. О. Терещенко. – Алчевськ: ВПЦ «Ладо». – 2012. – 499 с.

17. Захожай О. І. Визначення черги обробки даних при гібридному розпізнаванні образів / О. І. Захожай // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2019. – № 7(255). – С. 111–116.

18. Меняйленко О. С. Інформаційна технологія автоматизованої обробки даних в багатоканальних системах ультразвукового вимірювання / О. С. Меняйленко, О. І. Захожай // Наукові вісті Національного університету України «Київський політехнічний інститут». – Київ: НТУУ «КПІ» – 2014. – № 6 (98) – С. 62–67.

19. Рябенський В.М. Комбіновані системи розпізнавання образів / В.М. Рябенський, О.І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій». – 2011. – № 01(009). – С. 156–160.

20. Захожай О. І. Використання системи технічного зору для управління гільйотинними ножицями металургійного виробництва // Праці 8-ї міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні інформаційні та електронні технології – 2007”. – Одеса. – 2007. – С. 81.

21. Han Xiaozhuo. Pattern recognition and simulation in ecology Computational Ecology and Software / Xiaozhuo Han, Meng Gao, Cang Hui. – Hong Kong: International Academy of Ecology and Environmental Sciences. – 2015 – 5(4). – pp. 271–275.

4. 22. Maher Sean P. Pattern-recognition ecological niche models fit to presence-only and presence–absence data / Sean P. Maher // Methods in ecology and evolution: British ecological society. – 2014.