

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
(м. Сєвєродонецьк)

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
(повне найменування факультету)

Кафедра Електронних апаратів
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

освітньо-кваліфікаційного рівня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальності 171 – Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

на тему: **Покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи
ультразвукових датчиків**

Виконав: студент групи Ел-20дм

Гатіна М.Т. _____
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник Захожай О.І. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри Паєранд Ю.Е. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Паєранд Ю.Е. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Сєвєродонецьк - 2021

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
(м. Сєвєродонецьк)

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
Кафедра Електронних апаратів
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)
Спеціальність 171 – Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕА

Ю.Е. Паєранд
“ ” 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гатіної Марини Тімурівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи
ультразвукових датчиків

керівник проекту (роботи) Захожай Олег Ігорович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “22” 10.2021 року №160/15.14.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.2021

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз предметної області
2. Аналіз фізичних процесів в ультразвукових датчиках
3. Розробка методу покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків
4. Методико-структурні аспекти реалізації системи ультразвукових датчиків
5. Охорона праці

5. Дата видачі завдання 01.09.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальний розгляд питань і завдань	01.09.21 - 08.09.21	
2	Аналіз предметної області	08.09.21 - 20.09.21	
3	Аналіз фізичних процесів в ультразвукових датчиках	20.09.21 - 30.10.21	
4	Розробка методу покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків	01.10.21 - 08.11.21	
5	Методико-структурні аспекти реалізації системи ультразвукових датчиків	08.11.21- 25.11.21	
6	Охорона праці	25.11.21- 08.12.21	
7	Оформлення пояснювальної записки	08.12.21 - 14.12.21	
8	Передача роботи на перевірку та рецензування	15.12.21 - 19.12.21	

Студент Гатіна М.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) Паєранд Ю.Е.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 сторінок, 33 рисунків, 1 таблиця, 30 посилань.

Об'єктом дослідження є ультразвукова система вимірювання лінійних відстаней.

Мета роботи – удосконалення систем 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 комбінованій системі ультразвукового вимірювання, а також адаптація методу градієнтного спуску для пошуку областей вимірювання для кожного датчика. Запропоновано новий метод визначення достовірного результату вимірювання в системах ультразвукових датчиків, що базується на використанні апарату розпізнавання образів.

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

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз предметної області.....	9
1.1 Загальні відомості щодо ультразвукових систем вимірювання.....	9
1.2 Області застосування ультразвукових датчиків	12
1.3 Різновиди ультразвукових датчиків.....	17
1.3.1 Вимірювальна схема з однією головкою.....	17
1.3.2 Вимірювальна схема з двома головками.	19
1.4 Аналіз питання і постановка задачі.....	20
1.5 Висновки до розділу 1.....	21
2 Аналіз фізичних процесів в ультразвукових датчиках	23
2.1 Особливості ультразвукової хвилі.....	23
2.1.1 Характеристики ультразвукових хвиль.....	24
2.2 Методика вимірювання відстані.....	25
2.3 Дослідження характеристик датчиків.....	27
2.4 Моделювання схеми з ультразвуковим датчиком.....	31
2.5 Висновки до розділу 2.....	34
3 Розробка методу покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків.....	36
3.1 Метод покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків.....	36
3.2 Алгоритм пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в комбінованій системі ультразвукового вимірювання.....	38
3.3 Висновки до розділу 3.....	42
4. Методико-структурні аспекти реалізації системи ультразвукових датчиків.....	43
4.1 Розробка структурної схеми системи ультразвукових датчиків.....	43
4.2 Моделювання системи ультразвукових датчиків.....	44
4.3 Метод визначення достовірного результату вимірювання в	

запропонованій системи ультразвукових датчиків.....	48
4.4 Висновки до розділу 4.....	57
5 Охорона праці.....	58
5.1 Умови експлуатації пристрою.....	58
5.1.1 Розрахунок об'єму виробничого приміщення.....	59
5.1.2 Розрахунок вентиляції.....	60
5.2 Розрахунок заземлення електроустановки.....	64
5.3 Визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння	67
Висновки.....	69
Перелік посилань.....	71

ВСТУП

Актуальність роботи. Ультразвукові датчики можуть виявитися дуже корисними при вирішенні широкого кола завдань автоматизації виробництва в різних галузях промисловості. Існує безліч застосувань для ультразвукових датчиків: 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 провису, 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 спотворення, 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 «Покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків» є актуальною.

Об'єкт дослідження. Ультразвукова система вимірювання лінійних відстаней.

Предмет дослідження. Методи та алгоритми 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 покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків;
- розробка нового алгоритму пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в комбінованій системі ультразвукового вимірювання;
- адаптація методу градієнтного спуску для пошуку областей вимірювання для кожного датчика;
- розробка методу визначення достовірного результату вимірювання в системах ультразвукових датчиків.

Наукова новизна роботи. Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- запропонований новий метод покращення точності і розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків, що полягає у використанні системи з n ультразвукових датчиків різних характеристик;
- запропонований новий алгоритм пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в комбінованій 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, запропоновані в

роботі, 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[7], в системах парковки, 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 ультразвуковий шум.[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 - це просто повітря. Приклад ультразвукового перетворювача наведено на рисунку 1.1

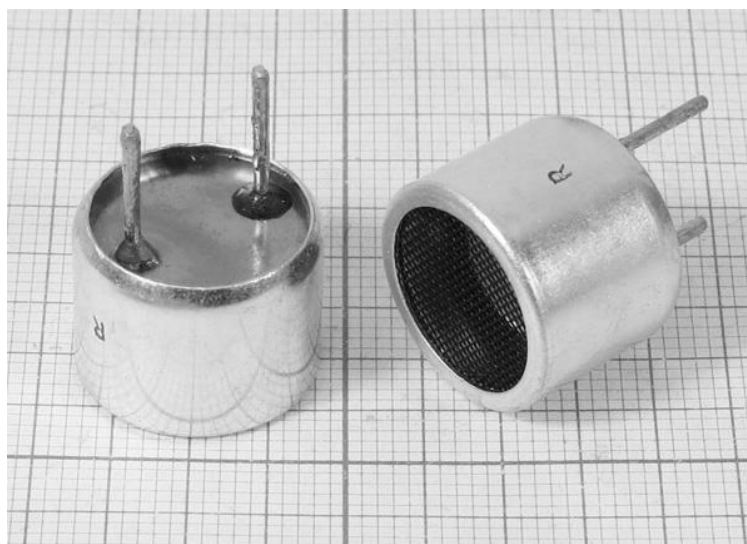


Рисунок 1.1 – Ультразвуковий перетворювач

Ультразвуковий датчик зазвичай містить, щонайменше, один ультразвуковий перетворювач, який перетворює електричну енергію в звук і, навпаки, звук в електричну енергію. Також обов'язково є корпус, в якому міститься один чи декілька перетворювачів, електричне з'єднання і, необов'язково, електронна схема обробки сигналу, яка також міститься в корпусі. Приклад ультразвукового датчика наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Ультразвуковий датчик

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.[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.

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]

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

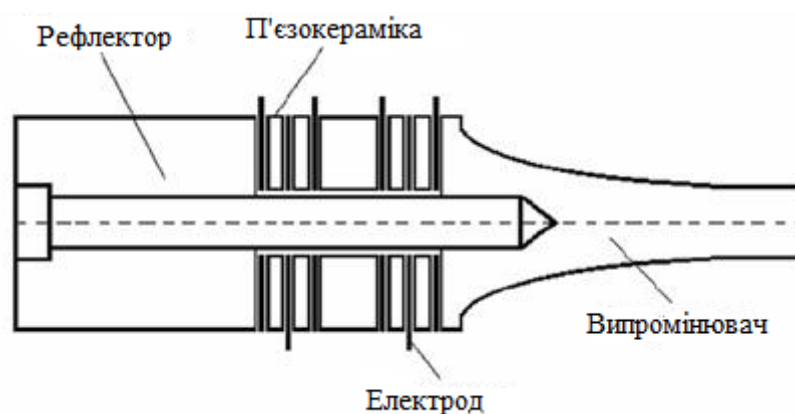


Рисунок 1.3 - Конструкція п'єзокерамічного ультразвукового перетворювача

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, який містить гнучку мембрану, що підтримується по краях кремнієвою підкладкою. [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, яка потім генерує сигнал прийому.

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

Ємнісний заряд модулюється вібрацією мембранного пристрою 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 Області застосування ультразвукових датчиків

Технології ультразвукових датчиків дуже широко використовуються у різних областях, та найбільш затребуваними стали у таких галузях як медицина [7], неруйнівний контроль та моніторинг технологічних процесів, геофізика [10], і гідролокаційне спостереження. Ультразвукові датчики потоку протягом декількох років використовувались для проведення інтраопераційних або екстракорпоральних вимірювань кровотоку.

Інтраопераційне вимірювання потоку, як правило, проводиться 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 верхньою і нижньою

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, та 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 відключається, а датчик діє як приймач, який прослуховує повернені відлуння на переданій частоті. [1]

Ультразвукові датчики використовуються для вимірювання відстані. Наприклад, ультразвукові датчики використовують в системі парковки.

Система задіє 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 встановленому окремо) для індикації того, як далеко знаходиться машина від перешкоди. [10]

Приклад застосування ультразвукових датчиків в системі парковки 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 коротші 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 також використовується 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 сферах застосування, як виявлення та ідентифікація твердих предметів, вимірювання форми і орієнтації заготовки, виявлення можливих зіткнень між об'єктами, 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 відлуння 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 сферах застосування датчики використовуються для багатьох цілей: виявлення присутності або відсутності виробів, визначення відстані або близькості виробу до датчика.

Ультразвукові системи зондування забезпечують більш ефективний і більш 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]

Відношення між відстанню до об'єкта L і часу відображення T виражається наступною формулою:

$$L = \frac{CT}{2}, \quad (1.1)$$

де C - швидкість звуку.

Тобто, відстань до об'єкта може бути встановлено шляхом вимірювання часу відбиття.

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

Інтенсивність випромінювання визначається розмірами ультразвукової випромінюючої поверхні і частоти. Зробити випромінювання більш зфокусованим і збільшити відстань вимірювання можливо за рахунок встановлення звукоприймача на зовнішній поверхні ультразвукового датчика. [15]

1.3 Різновиди ультразвукових датчиків

1.3.1 Вимірювальна схема з однією головкою

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

Схема з однією головкою має істотний недолік, який полягає в тому, що після випромінювання пачки імпульсів має пройти якийсь час, перш ніж мембрана випромінювача заспокоїться і зможе працювати на прийом. Цей інтервал називається «мертвим» часом датчика.

Наявність «мертвого» часу призводить до того, що ультразвукові вимірювачі відстані з однією головкою мають так звану «сліпу» зону, тобто, коли об'єкт знаходиться занадто близько, відображена пачка приходить в вимірювач так скоро, що він не встигає перебудуватися з передачі на прийом і об'єкт не може бути виявлений.

Тривалість перехідних процесів випромінювача приймача залежить від багатьох факторів, таких як сумарна маса що коливається, внутрішнє загасання сигналу, що розв'язує матеріал і особливості механічної конструкції датчика. Так, наприклад, границя «сліпої» зони для ультразвукових датчиків фірми Pepperl Fuchs традиційних конструкцій з зонами реагування 1 м і 6 м дорівнює 0,2 м і 0,8 м. Це відповідає «мертвому» часу 1 мс і 5 мс. [16]

Функціональна схема датчика безпосереднього виявлення об'єкта наведена на рисунку 1.7.

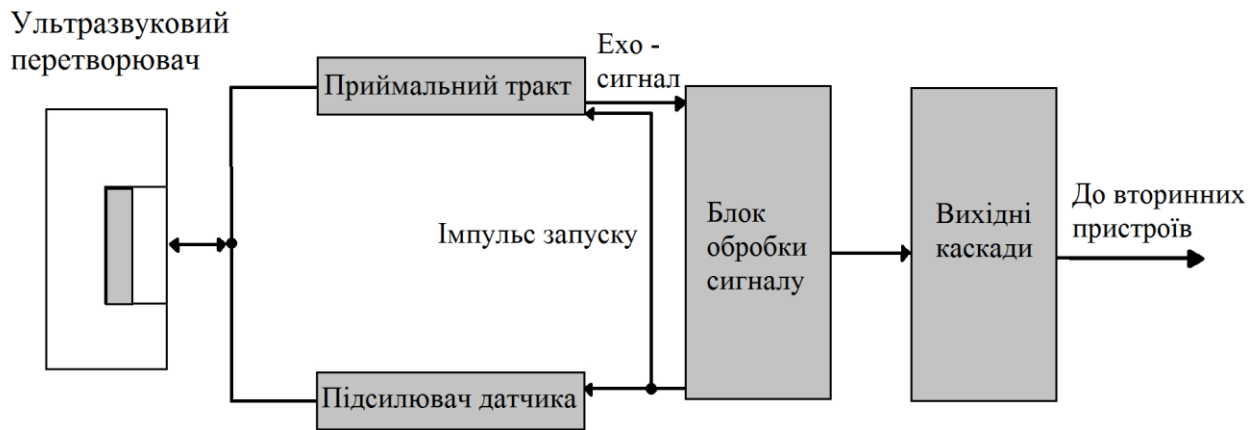


Рисунок 1.7 – Блок-схема ультразвукового датчика з суміщеними випромінювачем і приймачем

Пусковим імпульсом активізується схема збудження випромінювача, яка виробляє серію імпульсів з амплітудою 250 В. Тим же пусковим імпульсом блокується вхід підсилювача приймача. Після виключення випромінювача приймач розблокується. Відновлення приймача займає 300 мкс, тобто набагато менше, ніж заспокоєння випромінювача, тому параметри приймача ніяк не впливають на величину «сліпої» зони.

Коли об'єкт з достатньою відбивною здатністю знаходиться в зоні контролю, відбитий акустичний сигнал збуджує на мембрані високочастотну змінну напругу. Ця напруга обробляється методами виявлення аналогових сигналів - обмежується, посилюється, детектується і надходить на компаратор. Перевищення цієї напругою заданого значення порогу виявлення служить сигналом про наявність об'єкта в зоні контролю.

Електронна схема фіксує часовий інтервал, що пройшов з моменту активізації випромінювача і формує вихідний електричний сигнал, пропорційний цьому часовому інтервалу. Дана схема підтримує цифровий інтерфейс.

Зареєструвавши надходження першого відбитого сигналу, схема управління затримує формування чергового пускового імпульсу, очікуючи можливого приходу відбитих сигналів від більш віддалених об'єктів в зоні контролю. [16]

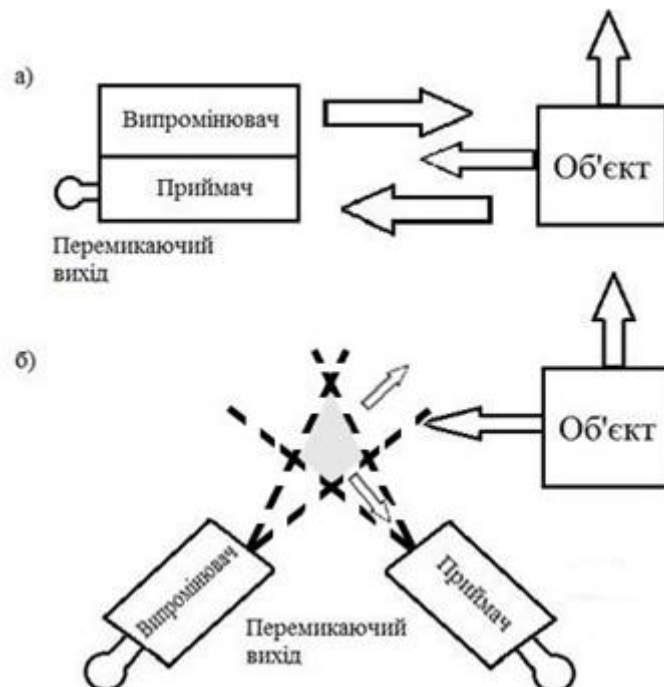
1.3.2 Вимірювальна схема з двома головками

«Сліпа» зона може бути істотно скорочена шляхом застосування схеми, в якій в якості випромінювача і приймача використовуються дві окремі головки датчика. При цьому слід забезпечити максимальну чутливість схеми за рахунок правильного вибору однієї і тієї ж резонансної частоти для випромінювача і приймача.

Шляхом застосування двох окремих перетворювачів мінімальна відстань виявлення може бути істотно зменшено порівняно з випадком використання єдиного приємопередатчика.

Якщо приймач акустично розділений з випромінювачем, то, в принципі, відбитий сигнал може бути прийнятий відразу після випромінювання, а в реальних умовах це відбувається з деякою затримкою, яка визначається перехідними процесами в перетворювачах.

Обидва перетворювача можуть розташовуватися в одному корпусі або встановлюватися окремо. Приклад наведено на рисунку 1.8. [16]



а – випромінювач та приймач в одному корпусі; б - роздільне виконання випромінювача та приймача

Рисунок 1.8 – Принцип безпосереднього виявлення об'єкта датчиком з роздільними випромінювачем і приймачем:

Найважливішою перевагою є те, що забезпечується можливість безпосереднього виявлення невеликих об'єктів і роботи на малих відстанях до об'єкта. Також такі датчики нечутливі до віддзеркалень від об'єктів за межами зони виявлення (маскування фону).

1.4 Аналіз питання і постановка задачі

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

- для управління процесом виробництва і пакувальних операцій;
- у системах контролю проходження листа в друкарнях;
- у системах автоматичного паркування;
- контроль присутності і позиціонування матеріалів, в тому числі прозорих.
- позиціонування деталей для роботів;
- визначення рівня і висоти заповнення резервуарів;
- вимірювання відстаней;
- вимірювання діаметру, швидкості;
- контролю провису, 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 спотворення, що вносяться багаторазово відбитим сигналом.

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

Основними завданнями дослідження є:

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

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, різновидів 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 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 лінійних відстанів, 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 ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКАХ

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 навколишнім повітряним середовищем: для отримання ефективного випромінювання має 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]

2.1.1 Характеристики ультразвукових хвиль

Однією з найважливіших характеристик випромінювання є довжина хвилі. Швидкість поширення хвилі виражається множенням частоти і довжини хвилі. Швидкість електромагнітної хвилі 3×10^8 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. Також складно виявити об'єкти, 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.

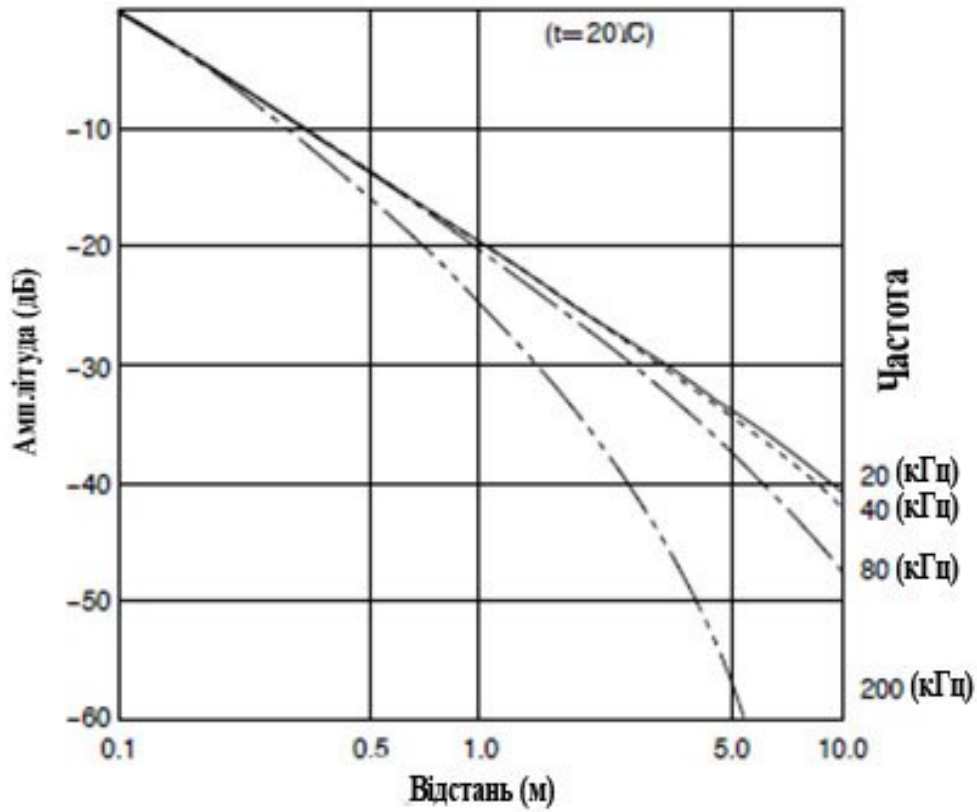
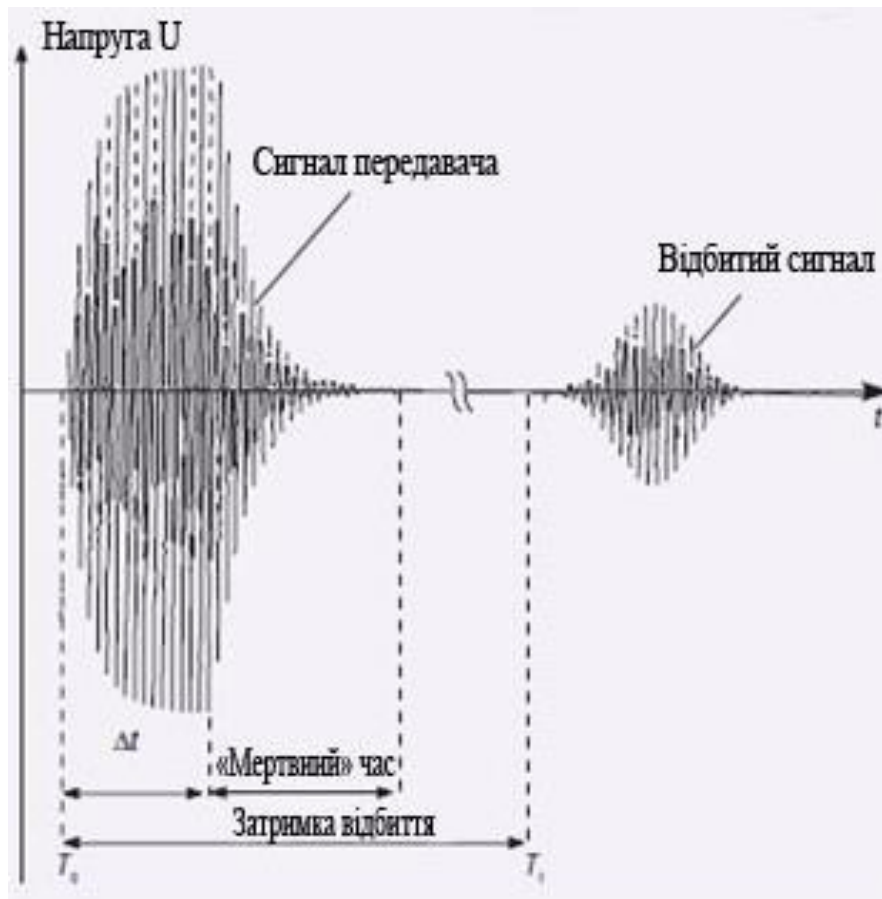


Рисунок 2.1 - Згасання характеристик звукового тиску по відстані.

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 ультразвуковий передавач випромінює сигнал - пачку імпульсів тривалістю Δt , які поширюються 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.[16]

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).

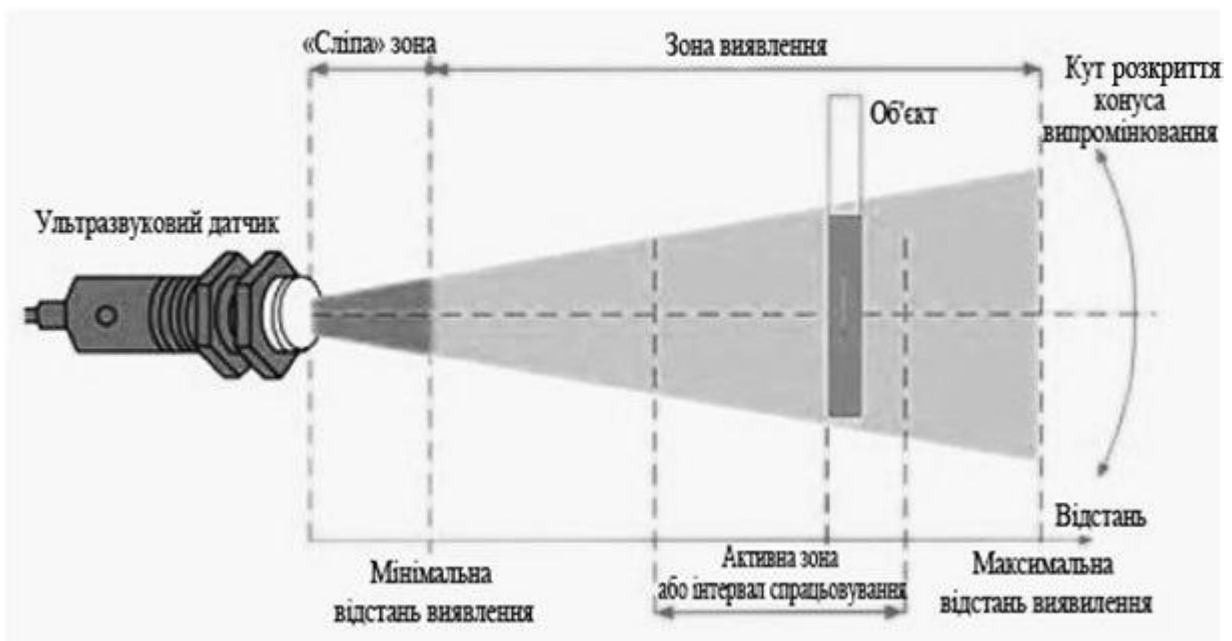


Рисунок 2.3 – Зона виявлення ультразвукового датчика

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 потворення, що вносяться цим, багато разів відображеним, сигналом.

При цьому помилка методу росте дуже швидко зі 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 коливань мембрани. [15]

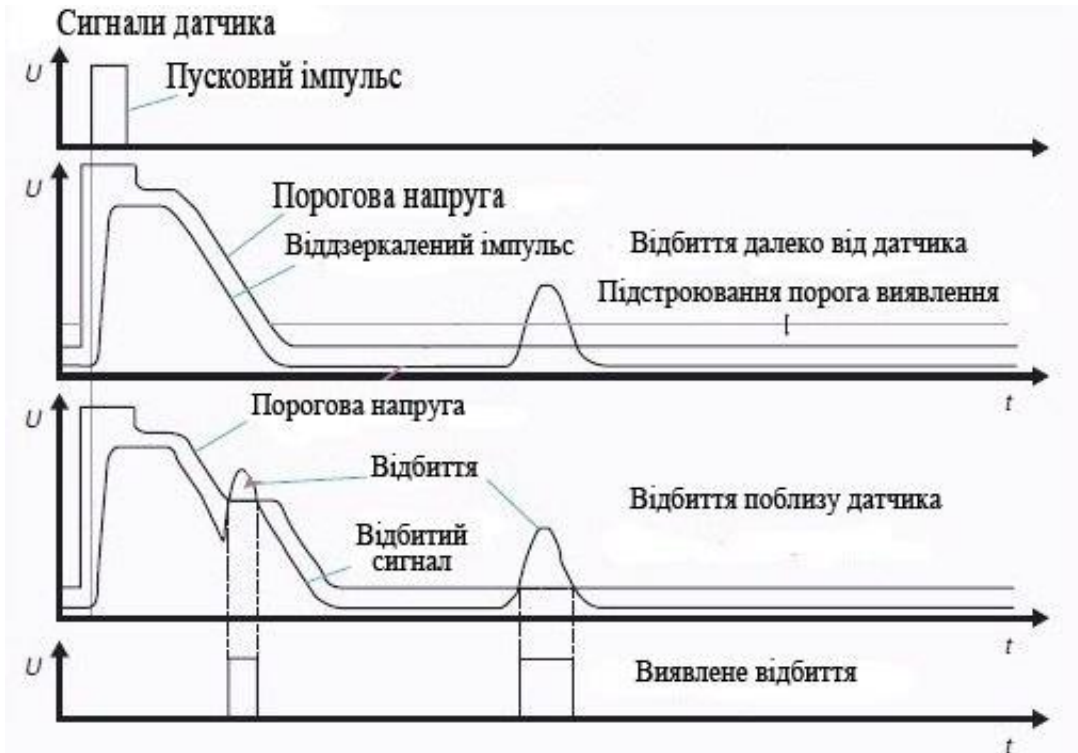


Рисунок 2.4 – Зменшення «мертвого» часу датчика

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

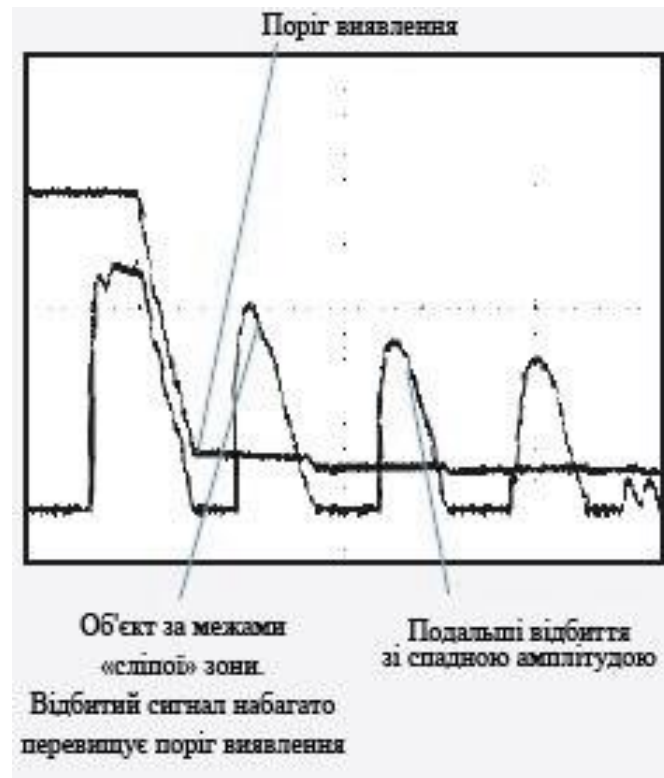


Рисунок 2.5 – Ефект багатократних віддзеркалень при великій відстані до об'єкта

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 фактичної 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 флуктаціями, 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]

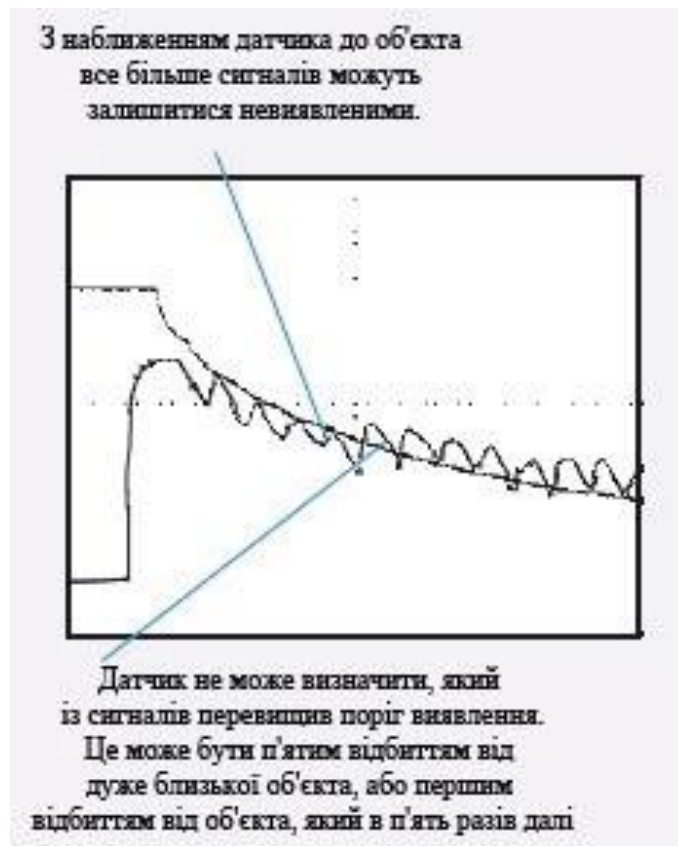


Рисунок 2.7 - Втрата точності вимірювання при подальшому наближенні об'єкта

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

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.

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 схеми з ультразвуковим датчиком

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). Пластинка, як правило, має металізацію (обкладки, електроди) з двох сторін і спеціальний тип кріплення. При подачі на обкладинки електричної напруги відбувається деформація пластинки. 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. Для цього звернемося до програми OrCad.

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 напруг.

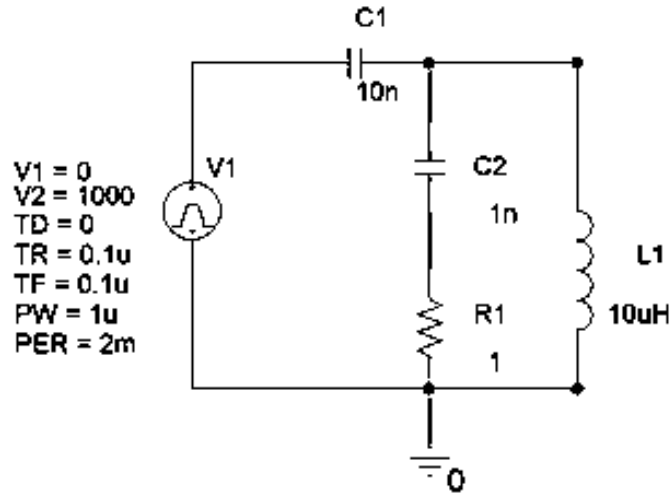


Рисунок 2.8– Модель п'єзоперетворювача

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

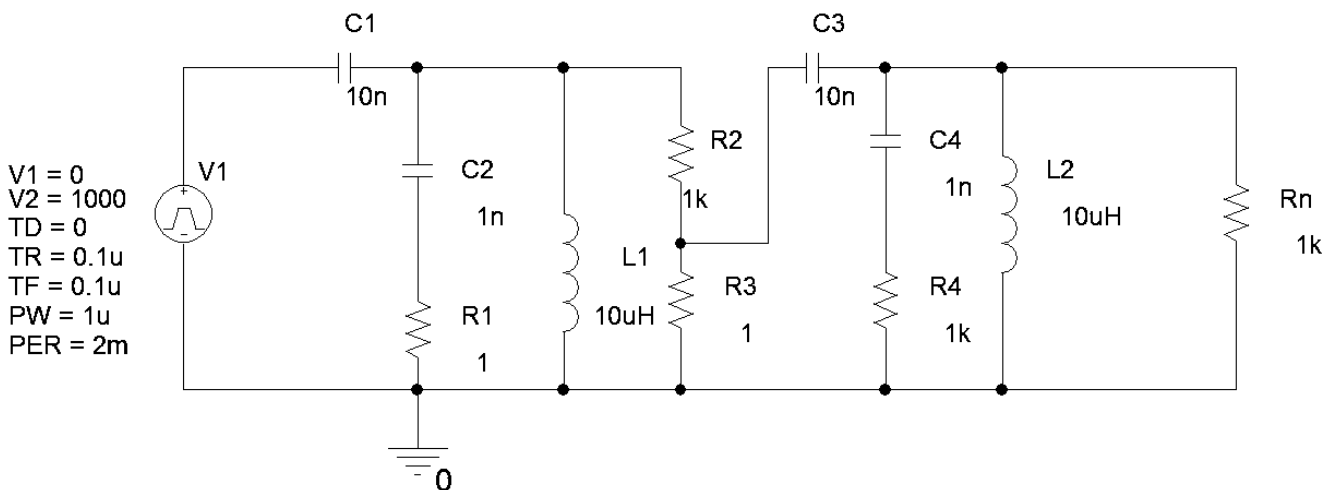


Рисунок 2.9– Схема генератора ультразвукових хвиль

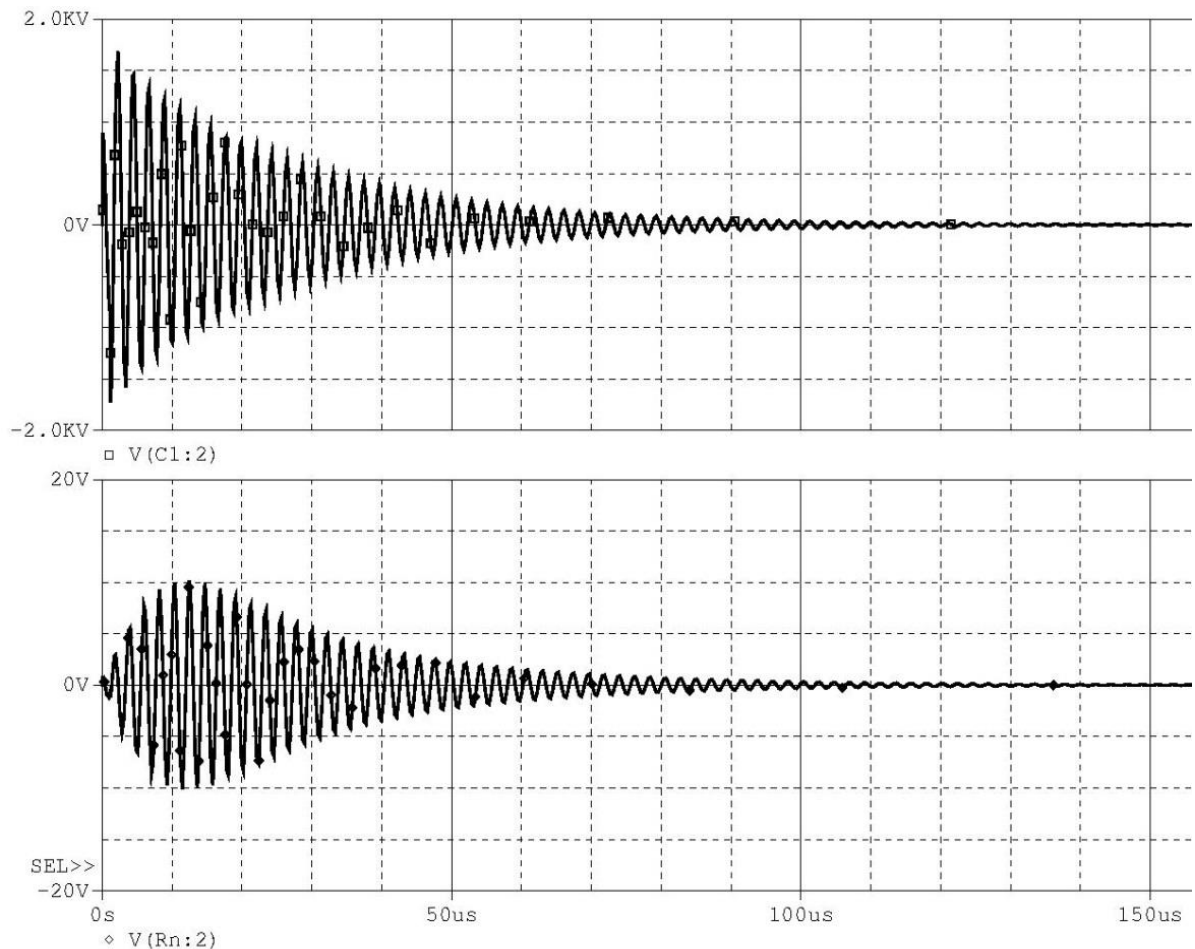


Рисунок 2.10– Часові діаграми моделі датчика

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 задач 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, було розглянуто 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 кордону «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 ПОКРАЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАНЬ СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ

3.1 Метод покращення точності та розширення діапазону вимірювань системи ультразвукових датчиків

Для визначення лінійних відстаней пропонується новий метод, який ґрунтується на комбінуванні даних які надходять від декількох ультразвукових датчиків.

Таке рішення приймається з метою збільшення точності та розширення діапазону вимірювання. Однак, при використанні системи датчиків виникає необхідність вирішення оптимізаційної задачі по визначенню необхідної кількості датчиків.

У процесі роботи системи також необхідно динамічне визначення одного з датчиків наявної сукупності і забезпечує при поточних умовах спостереження максимальну достовірність вимірювання у конкретному діапазоні.

Вирішення цієї проблеми пропонується виходячи із закону нормального розподілу випадкових величин. [11]

Даний розподіл займає центральне місце в теорії і практиці ймовірностно-статистичних досліджень. Нехай значення досліджуваної безперервної випадкової величини формується під впливом дуже великого числа незалежних випадкових факторів, причому сила впливу кожного окремого фактора мала і не може превалювати серед інших, а характер впливу – адитивний.

У разі відхилення досліджуваних експериментальних даних від нормального закону існує, принаймні, два шляхи його доцільної експлуатації:

а) використовувати його в якості першого наближення: при цьому нерідко виявляється, що подібне допущення дає досить точні з точки зору конкретних ланцюгів дослідження результати;

б) підібрати перетворення досліджуваної випадкової величини яке видозмінює вихідний «ненормальний» закон розподілу, перетворюючи його в нормальний. [12]

Скористаємося першим методом і використаємо закон нормального розподілу як перше наближення для даних, одержуваних з ультразвукового датчика.

Припустимо, є сукупність з n датчиків, яка визначає деяку матрицю вимірів відстаней. Структурна схема система вимірювання, яка складається з декількох датчиків зображена на рисунку 3.1.

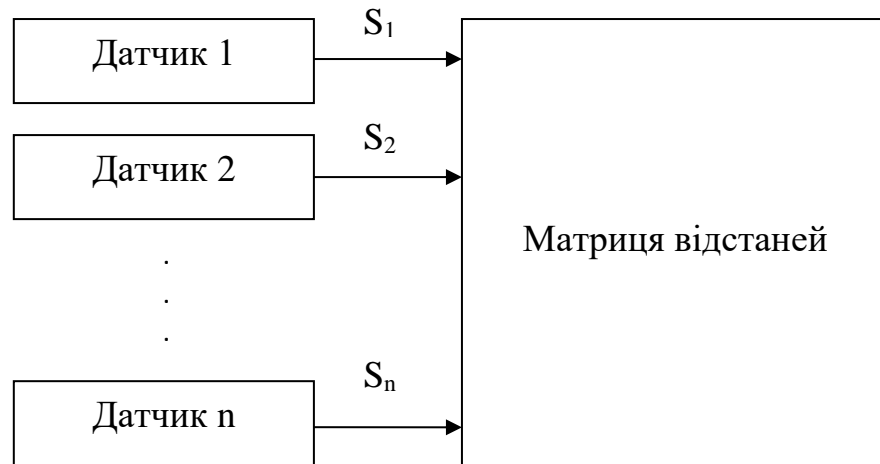


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи вимірювання

Еквівалентом цієї матриці є визначник, члени якої представляють собою заміри відстані Δ в різні моменти часу.

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \Delta R_{11} & \Delta R_{12} & \Delta R_{13} & \dots & \Delta R_{1n} \\ \Delta R_{21} & \Delta R_{22} & \Delta R_{23} & \dots & \Delta R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta R_{n1} & \Delta R_{n2} & \Delta R_{n3} & \dots & \Delta R_{nn} \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Так як система підпорядковується закону нормального розподілу, то криві Гауса для всіх датчиків не мають глобального екстремуму. В системі спостерігається n локальних екстремумів для кожного датчика з сукупності. На рисунку 3.1 зображено приклад для трьох датчиків.

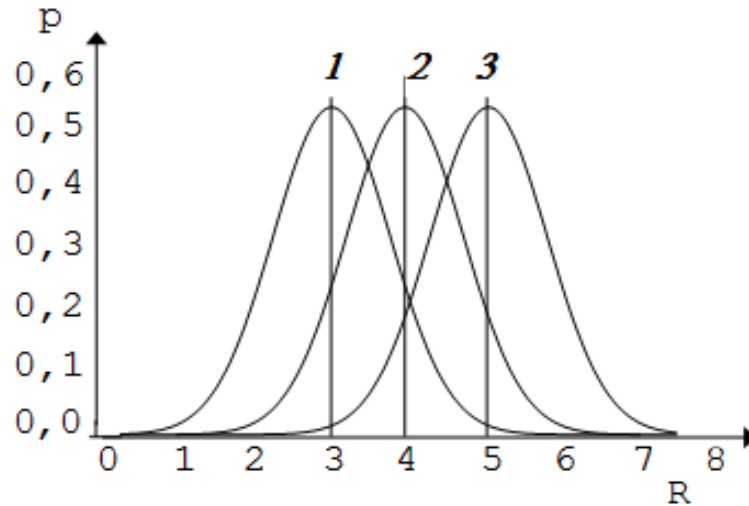


Рисунок 3.1 – Приклад для трьох датчиків

Таким чином для кожного датчика існує група значень, які задовольняють бажану довірчу ймовірність. Через обмеження застосування ультразвукових датчиків не допускає використання одного датчика рівня, який здатний забезпечити необхідну довірчу ймовірність.

Тому необхідно застосувати алгоритм, який допускає використання декількох датчиків, дані з кожного з яких достовірні на певному діапазоні відстаней. Виходячи з цього, необхідно застосування комбінованої системи ультразвукового вимірювання. Тепер необхідно визначити кількість датчиків, що забезпечують необхідний рівень ймовірності даних.

3.2 Алгоритм пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в комбінованій системі ультразвукового вимірювання

Алгоритм необхідний для визначення кількості ультразвукових датчиків в тих випадках, коли застосування одного датчика не дозволяє отримати дані, що задовольняють заданій ймовірності $p_{\text{іст}}$. Результатом проведення аналізу буде визначення необхідної кількості датчиків, які забезпечать адекватність даних в діапазоні Δr .

Отже, всі значення відстаней p належать безлічі N і відображається функцією f (ΔR). Слід задатися певним значенням ймовірності $p_{\text{іст}}$ і обчислювати в діапазоні Δp значення ΔR для кожного з датчиків.

При цьому для однієї і тієї ж ймовірності дані ΔR для кожного датчика будуть різні. Істинними вважаються показники з того датчика, на якому виконується рівність $\Delta R = \max$. На наступному інтервалі p розрахунок ΔR на всіх датчиках починається з початку.

Таким чином, залежність ймовірності потраплення істинної величини на певному діапазоні відстаней відповідає певному датчику. Іншими словами, одному датчику відповідає одне значення ΔR .

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \Delta R_1 \\ \Delta R_2 \\ \dots \\ \Delta R_n \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Також введемо поняття допустимої ймовірності $p_{\text{доп}}$. Від значення ймовірності $p_{\text{доп}}$ залежить точність вимірювань і кількість необхідних датчиків. Припустимо, є два датчика і рівень допустимої ймовірності $p_{\text{доп}}$. Приклад зображено на рисунку 3.2.

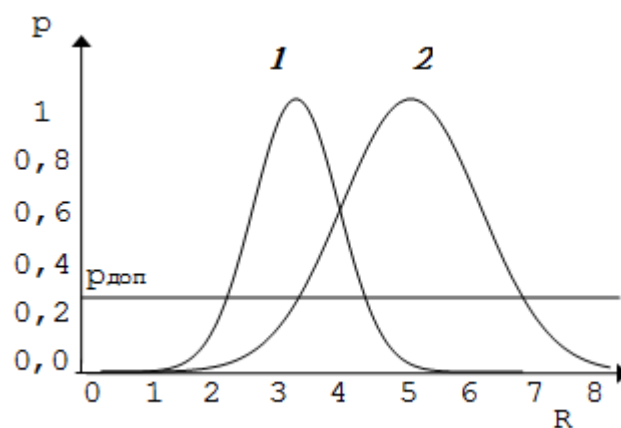


Рисунок 3.2 – Залежності розподілу ймовірності отримання достовірного результату вимірювання лінійних відстаней

Задаючись певними ймовірностями p (починаючи зі значення 1) отримуємо різні ΔR для кожного датчика. Приклад зображено на рисунку 3.3.

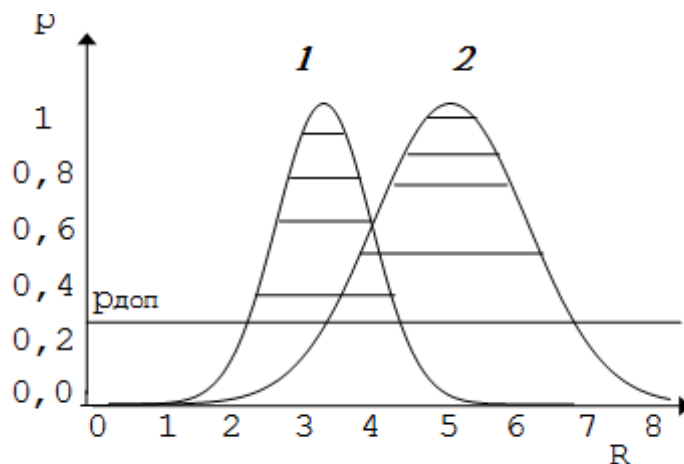


Рисунок 3.3 – Приклад використання методу градієнтного спуску

Таким чином, методом градієнтного спуску можна визначити крайні точки використання датчика і границю $R_{гр}$ переходу від одного датчика до іншого. Приклад зображено на рисунку 3.4.

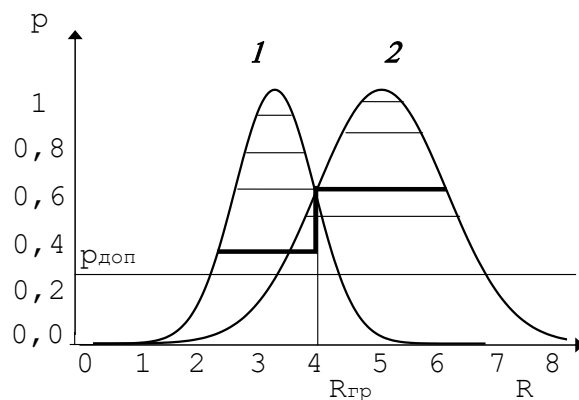


Рисунок 3.4 - Діаграма залежності використання двох датчиків на інтервалі R

Розглянемо подібний випадок для трьох датчиків. Приклад зображено на рисунку 3.5.

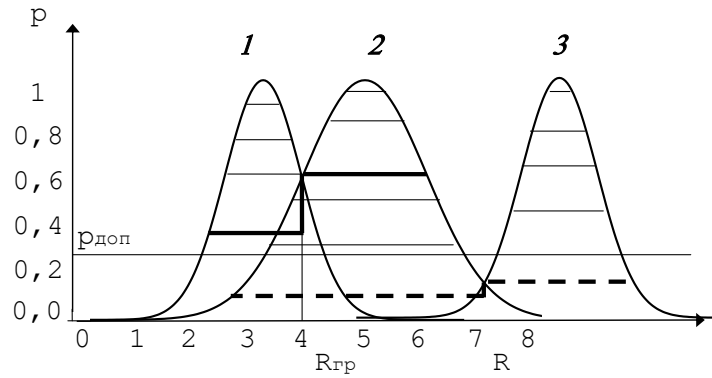


Рисунок 3.5 – Визначення крайніх точок використання датчиків

З рисунка видно, що крайні точки використання датчика знаходяться нижче допустимої ймовірності.

Отже, необхідно використання ще одного датчика, четвертого, для задоволення достатнього рівня точності системи. Приклад зображено на рисунку 3.6.

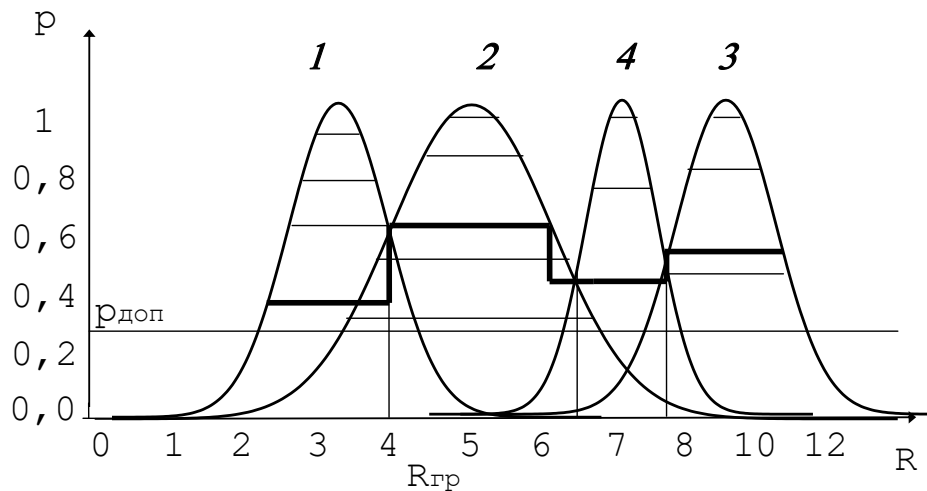


Рисунок 3.6 - Діаграма залежності використання різних датчиків на інтервалі R

Таким чином, отримана діаграма залежності використання різних датчиків на інтервалі R з допустимою ймовірністю $p_{\text{доп}}$.

Алгоритм дозволив розрахувати кількість датчиків, які на заданій відстані забезпечують адекватність результатів з ймовірністю більше $p_{\text{іст}}$. Недоліком

алгоритму є те, що при значеннях $p_{\text{доп}} \approx 1$ знадобиться велика кількість датчиків, що ускладнить систему та розрахунки в цілому

3.3 Висновки до розділу 3

В даному розділі проведено розробку методу покращення точності та розширення діапазону вимірювань системи ультразвукових датчиків, а також алгоритма пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в комбінованій 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 МЕТОДИКО-СТРУКТУРНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ

4.1 Розробка структурної схеми системи ультразвукових датчиків

Структурна схема системи ультразвукових датчиків, яка здійснює вимірювання лінійних відстаней, зображена на рисунку 4.1.

Вона складається з n ультразвукових датчиків, n блоків попередньої обробки, інформаційної системи вимірювання та бази знань, в яку закладаються характеристики датчиків.

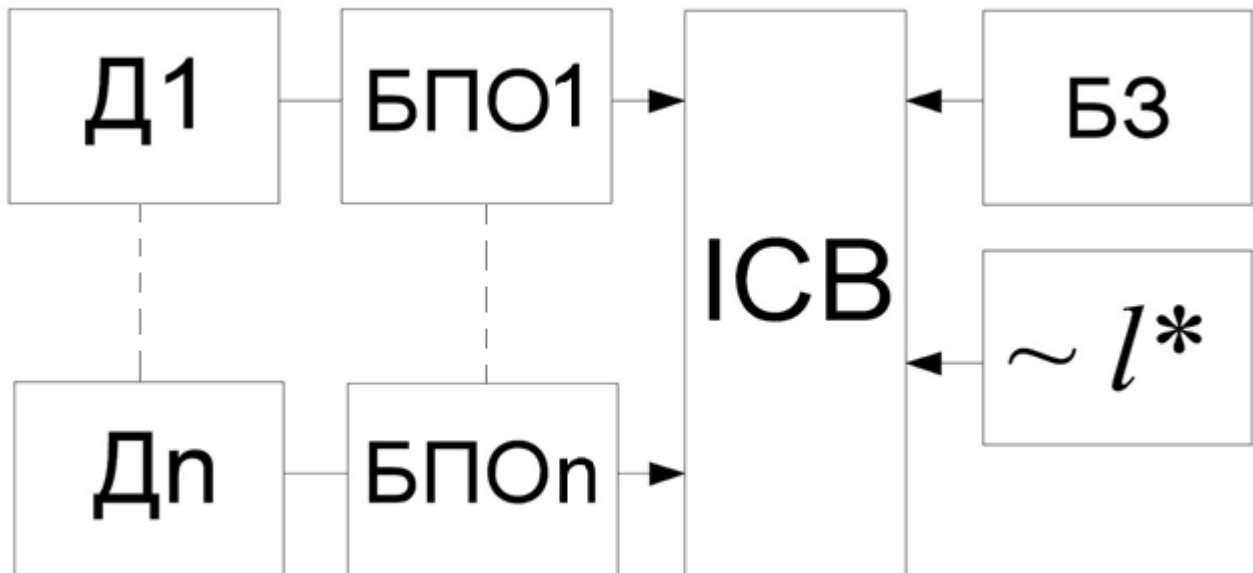


Рисунок 4.1 - Структурна схема системи ультразвукових датчиків

На рисунку 4.1 прийняті наступні позначення:

Д1-Дn – n ультразвукових датчиків;

БПО1- БПОn – блоки попередньої обробки для кожного датчика відповідно;

ІСВ – інформаційна система вимірювання;

БЗ - база знань характеристик датчиків;

$\sim l^*$ – середня відстань.

Сигнал з ультразвукових датчиків надходить до відповідного блоку попередньої обробки і обробляється безпосередньо програмою.

До бази знань закладуються характеристики датчиків, такі як:

- дані про тип ультразвукового датчика;
- розмір «сліпої» зони датчика;
- дані про діапазон вимірювань датчика;
- дані про точність вимірювань датчика.

До інформаційної системи вимірювання надходять результати вимірювання датчиків. На підставі бази знань визначається найбільш достовірний результат вимірювання в комбінованій системі ультразвукового вимірювання.

4.2 Моделювання системи ультразвукових датчиків

Для оцінки адекватності методу та розрахунків було здійснено моделювання системи, яка складається з декількох датчиків.

Для моделювання системи ультразвукових датчиків використовуємо кілька моделей п'єзокерамічного генератора ультразвуку. Приклад моделювання представлено на рисунку 4.2.

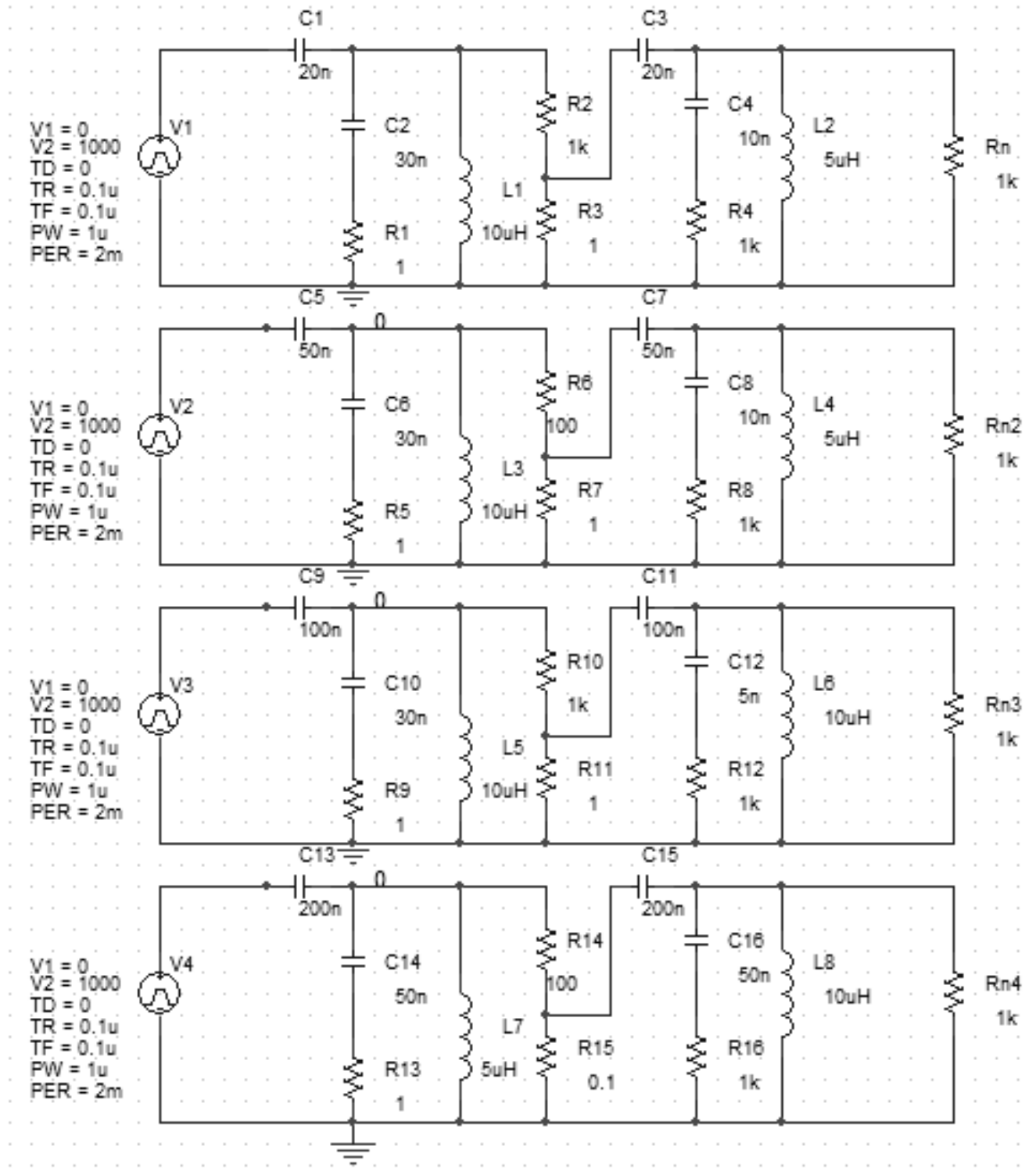


Рисунок 4.2 - Моделювання системи ультразвукових датчиків

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 4.3 - 4.6.

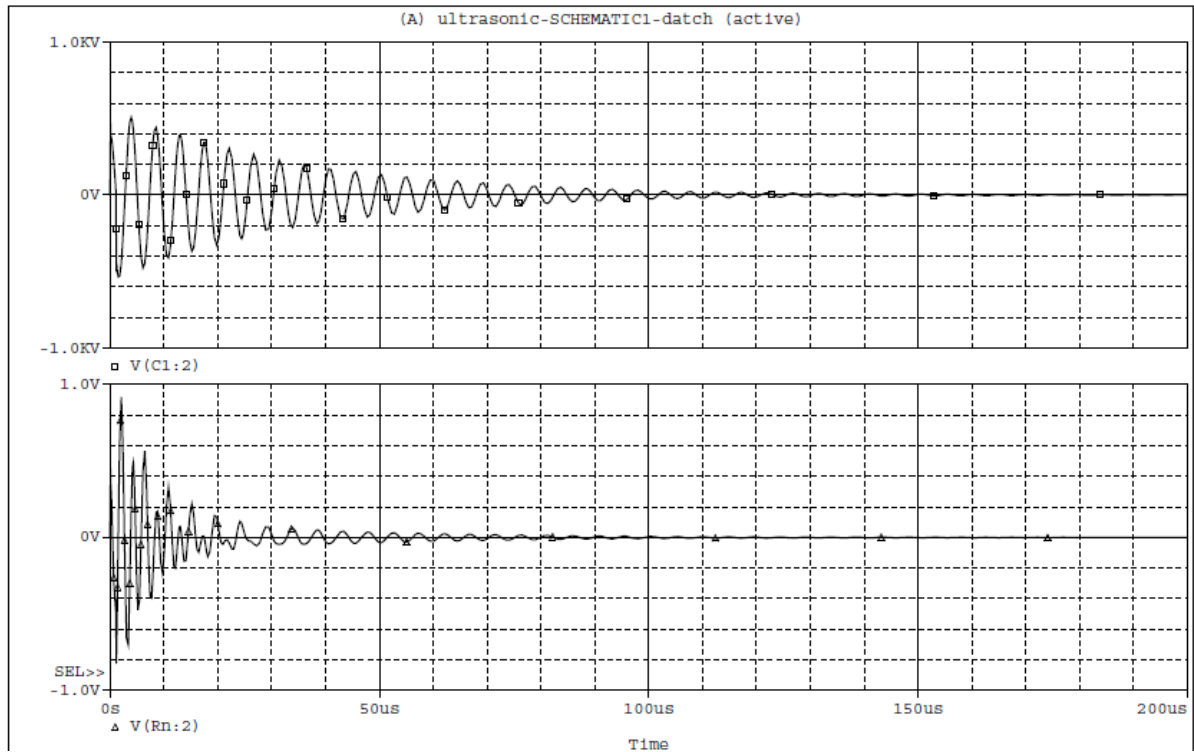


Рисунок 4.3 - Часові діаграми моделі першого датчика

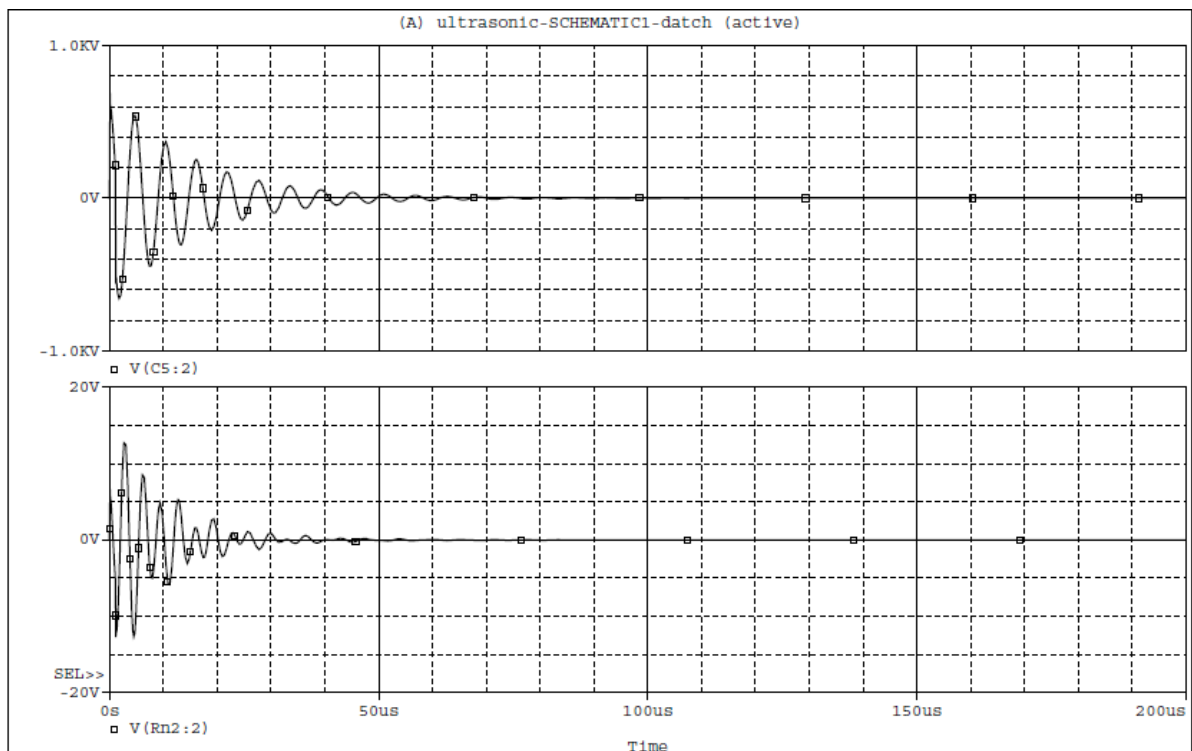


Рисунок 4.4 - Часові діаграми моделі другого датчика

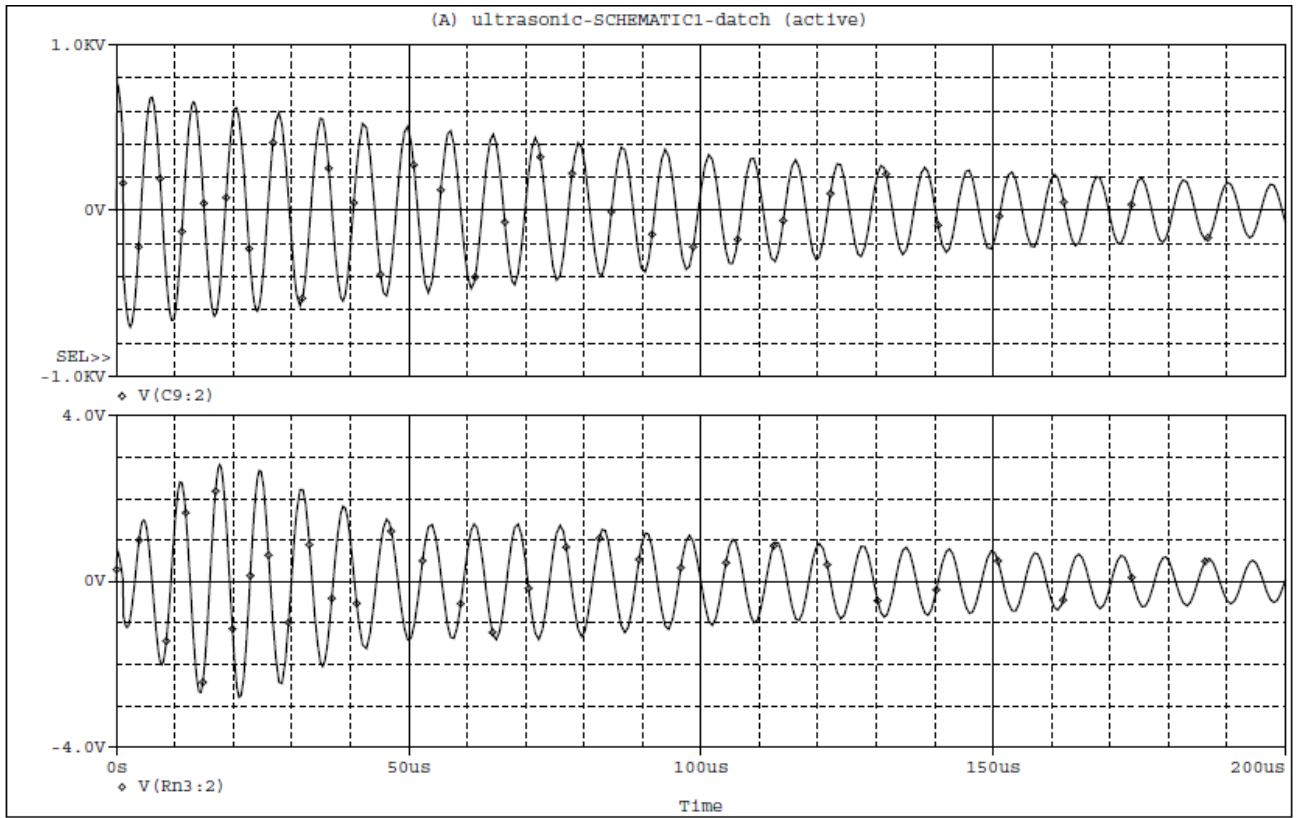


Рисунок 4.5 - Часові діаграми моделі третього датчика

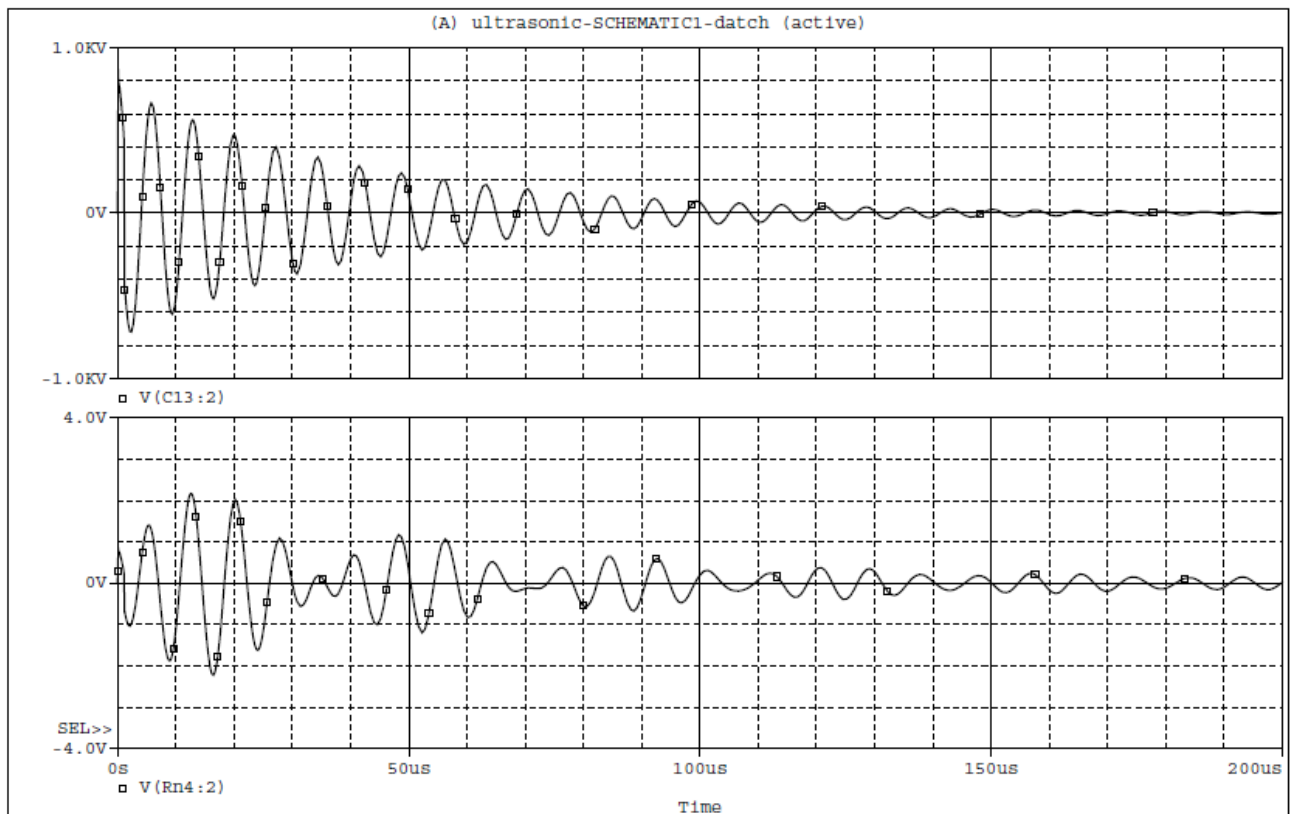


Рисунок 4.6- Часові діаграми моделі четвертого датчика

Рисунки 4.3 – 4.6 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 тракці прийняття іншого датчику. Таким чином пікова детекція дозволяє виключити вплив сигналів інших датчиків на отриманий сигнал поточного датчика.

4.3 Метод визначення достовірного результату вимірювання в запропонованій системі ультразвукових датчиків

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 сьогоднішній день, 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 [4,18,27].

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 [2,4,27].

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 (4.1).

$$\{S\} \subset \{P\} \quad (4.1)$$

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. Ця сукупність даних, відповідно до структури, наведеної на рисунку 4.1, формує базу знань для подальшого прийняття рішення стосовно

достовірного результату вимірювання. Тоді інформаційна модель системи розпізнавання буде мати наступний вигляд:

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_n \end{pmatrix} = \begin{cases} \Delta R_1, \{Ch_1|G\}, \\ \Delta R_2, \{Ch_2|G\}, \\ \dots \\ \Delta R_n, \{Ch_n|G\}. \end{cases}, \quad (4.2)$$

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 [3]. 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 [3], комбінації алгоритмів [3,5]. 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 [1,6,26] для підвищення ефективності розпізнавання, у тому числі при зміні умов спостереження об'єкту, пропонується використання комбінованих систем розпізнавання образів (КСРО). В таких системах, для рішення задач розпізнавання, використовується декілька інформаційних потоків, які дозволяють оперувати 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 комбінованої системи розпізнавання з n інформаційними каналами.

В КСРО один образ (або сукупність образів) дають кращій 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 (дані виміру інших датчиків) можуть бути використані для остаточного уточнення результату класифікації.

Крім вказаних переваг КСРО 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 КСРО, 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 [20];
- на основі методів кластеризації [17];
- на основі припущення про нормальність розподілу об'єктів у кластерах [10];

- на основі теоретико-інформаційного поняття ентропії [29];
- на основі непараметричних оцінок щільностей [24].

Однак, наведені вище методи направлені на визначення інформативності сукупності інформаційних ознак образів, але в КСРО, 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 комбінованих системах розпізнавання є актуальною науково-технічною задачею.

Відповідно до вищесказаного, в КСРО 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 Ω 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 комбінованих 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 ймовірність отримання точної класифікації за кожним з образів буде відрізнятися. Так, у розглянутому вище прикладі розпізнавання типу транспорту, ймовірність 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 4.7 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 нестроного 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 КСРО 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.

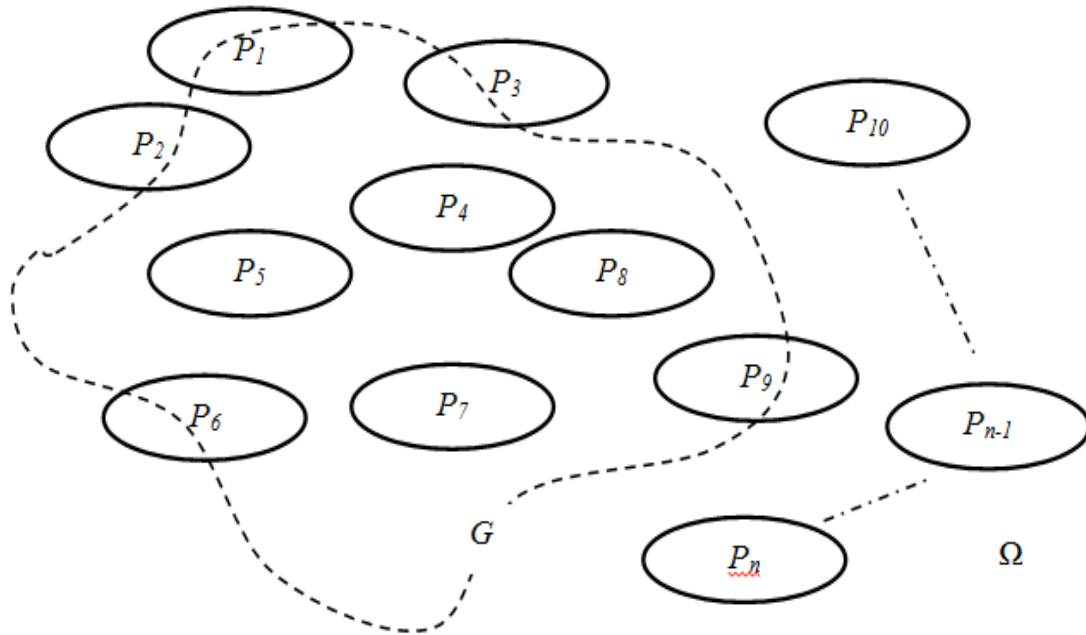


Рисунок 4.7 – Розподіл сукупності образів критеріальною характеристикою G

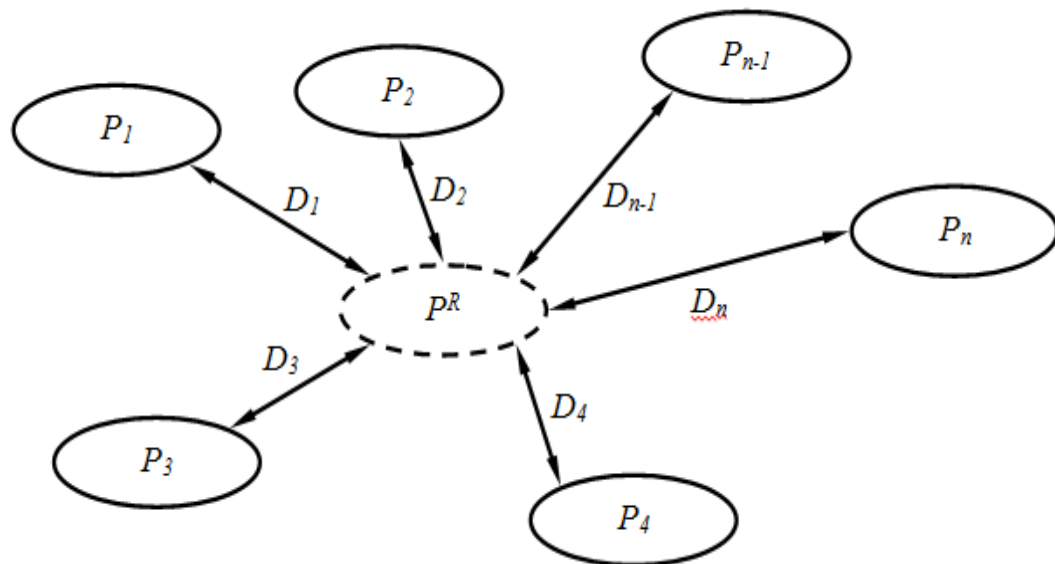


Рисунок 4.8 – Визначення метрики для передвизначених образів

Припустимо, що мається сукупність n інформаційних образів P_1-P_n , при чому $\{P\} \in \Omega$ (де Ω – деякий евклідовий простір). Крім цього, заданий клас характеризується репрезентативним образом P^R (Рисунок 4.8).

Відносно репрезентативного образу, для кожного з n передвизначених образів можна визначити значення метрики D_n , як проілюстровано на рисунку 4.7.

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

$$D_n = \| P_n - P^R \| = \sqrt{(P_n - P^R)'(P_n - P^R)}, \quad (4.3)$$

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

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

$$\begin{aligned} D_n^2 &= (P_n - P^R)'(P_n - P^R) = P_n'P_n - 2P_n'P^R + P_n^{R'}P^R = \\ &P_n'P_n - 2(P_n'P^R - \frac{1}{2}P^{R'}P^R) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Відповідно до отриманої залежності (4.4), 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 (4.4):

$$D_n \sim P_n'P^R - \frac{1}{2}P^{R'}P^R \quad (4.5)$$

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:

$$D_n \leq D_R \quad (4.6)$$

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

$$\forall P_n \in C_{\text{інф}} \Leftrightarrow D_n \leq D_R \quad (4.7)$$

$$\forall P_n \in C_{\text{нінф}} \Leftrightarrow D_n > D_R \quad (4.8)$$

Для здійснення нестрогої селекції між розподілами $C_{\text{інф}}$, $C_{\text{уінф}}$, $C_{\text{нінф}}$, необхідно додатково визначити норму допуску ΔD_R для умовно інформативної сукупності образів $C_{\text{уінф}}$. Тоді критерій нестрогої селекції образів між розподілами $C_{\text{інф}}$, $C_{\text{уінф}}$ і $C_{\text{нінф}}$ буде мати вигляд:

$$\forall P_n \in C_{\text{інф}} \Leftrightarrow D_n < (D_R - \Delta D_R) \quad (4.9)$$

$$\forall P_n \in C_{\text{інф}} \Leftrightarrow (D_R - \Delta D_R) \leq D_n \leq (D_R + \Delta D_R) \quad (4.10)$$

$$\forall P_n \in C_{\text{інф}} \Leftrightarrow D_n > (D_R + \Delta D_R) \quad (4.11)$$

Запропоновані технічні рішення було використано для аналізу температурного режиму коксових печей [30]. Використання КСРО дозволило отримати інформацію про просторовий розподіл температури, визначити зони локального перегріву і недогріву, а також додатково здійснювати контроль стану коксової печі і визначення динаміки розвитку дефектів.

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

$$D = F(S, N), \quad (4.12)$$

де S – складність розпізнавання;

N – обсяг вибірки.

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

$$D = \frac{N_{cor}}{N_{com}} , \quad (4.13)$$

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

Таким чином, запропонована методика використання апарату розпізнавання образів дозволяє у будь-який момент часу визначити достовірний результат вимірювання за умови зміни характеристик навколишнього середовища та широкого діапазону. Крім цього, запропонована методика дозволяє створити сукупність даних щодо вимірюваної відстані для уточнення результату.

4.4 Висновки до розділу 4

В даному розділі запропонована структурна схема системи ультразвукових датчиків, яка дозволяє здійснювати вимірювання лінійних відстаней за методом, який представлений у розділі 3.

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.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Умови експлуатації пристрою.

У даному дипломному проєкті здійснюється проєктування системи ультразвукових датчиків. Вона має свої конструктивні та схемотехнічні особливості, які необхідно врахувати під час монтажу і налагодження, тому що в іншому випадку блок живлення і його окремі частини на стадії монтажу і збірки можуть вийти з ладу.

На всіх стадіях виробництва необхідно не забувати про безпеку і шкідливість деяких факторів.

За величиною напруги пристрій належить до електричного обладнання з напругою до 1000 В.

Пристрій живиться від однофазної мережі змінного струму напругою 220В з глухозаземленою нейтраллю, частотою 50 Гц. Потужність приладу дорівнює 3Вт.

Приміщення, де знаходиться пристрій, за мірою небезпеки ураження електричним струмом не належить до класу приміщень з підвищеною небезпекою, у випадку коли це нормальне, сухе приміщення, яке має одну ознаку підвищеної небезпеки - струмопровідну підлогу. Зона розміщення перетворювача не є вибухонебезпечною.

Даний прилад може бути встановлений у будь-якій частині виробничого цеху. Він є цілком безпечний для робітників та обслуговуючого персоналу, так як його корпус зроблений з матеріалу, який не проводить струм, він має заземлюючий контакт, і захисну кришку.

За способом захисту від поразки електричним струмом прилад відповідає класу 2 по ГОСТ 12.2.007-75. Прилад не призначений для експлуатації в умовах трясіння і ударів, а також у вибухонебезпечних приміщеннях.

Не допускається попадання вологи на вхідні контакти клемних блоків і внутрішні електроелементи приладу. Забороняється використання його в середовищах з вмістом в атмосфері кислот, лугів, масел і тому подібне. Нормальна

робота приладу гарантується при температурі повітря, що оточує корпус приладу, від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості від 30 до 80%.

При установці приладу у вологих приміщеннях необхідно помістити його в монтажний бокс з мірою захисту не нижче IP55 (частковий захист від пилу і захист від бризок в будь-якому напрямі).

Для підтримки необхідних параметрів мікроклімату і складу повітря в атмосфері робочої зони виробниче приміщення, в якому розміщується розроблений пристрій, обладнано приточно - витяжною вентиляцією.

Установка вентиляції складається з проточних і витяжних отворів. Проточні отвори, через які повітря вводиться в приміщення, розташовуються в нижній частині стіни, що відділяє приміщення цеху від місця розташування установки. Витяжні отвори, через які повітря видаляється з приміщення, розташовуються у верхній зоні виробничого приміщення. Даний тип вентиляції не спричиняє переохолодження або перегріву обслуговуючого персоналу, не створює шум на робочих місцях, є електро-, пожежо- і вибухобезпечним, простий по налаштуванню і досить ефективний, що є перевагами вибраного типу вентиляції.

5.1.1 Розрахунок об'єму виробничого приміщення

Довжина $a_1 = 4\text{ м}$, ширина $b = 6\text{ м}$, висота приміщення до стелі $3,2\text{ м}$, висота від підлоги до верху вікон $3,0\text{ м}$. На момент надання приміщення у вікнах вставлено скло віконне листове подвійне. Плетіння вікон - дерев'яні одинарні. Площа світлових прорізів складає 25% до площі підлоги, і орієнтовані вони на північ. У розрахунку коефіцієнт затінення протилежною будівлею і коефіцієнт запасу необхідно прийняти рівним 1. На вікнах присутні внутрішні регульовані жалюзі, що вбираються. У приміщенні знаходиться 2 людини.

Для забезпечення нормальних умов праці необхідно забезпечити умову пункту 3.2. СН 245-71 («Санітарні норми проектування промислових підприємств»), який свідчить: «Обсяг виробничих приміщень на одного працюючого повинен складати не менше 15 м^3 , а площа приміщень - не менше $4,5\text{ м}^2$.»

У розглянутому приміщенні:

для кімнати: $4 \cdot 6 \cdot 3,2 / 3 = 25,6 \text{ м}^3$ на людину і $4 \cdot 6 / 3 = 8 \text{ м}^2$ на людину;

Таким чином, в кімнаті на одну людину припадає $25,6 \text{ м}^3$ і 8 м^2 .

Отримані значення відповідають санітарним нормам СН 245-71.

Для виробництва, у якому буде застосований розроблений пристрій, характерне використання непальних речовин і матеріалів у гарячому стані. У відповідності зі СНиП 11-2-80 подібне виробництво по вибухонебезпеці і пожежонебезпеці відноситься до категорії Г. Зона, де можливе розміщення приладу, за класом пожежонебезпеки експлуатації мікропроцесорної системи, згідно ПУЕ, відноситься до зони класу П - II а.

Зона розміщення установки характеризується відсутністю рухливих частин машин і механізмів, у яких летять предмети, відкритих отворів, напружених матеріалів і предметів, а також систем, що знаходяться під тиском.

Атмосфера робочої зони не містить шкідливих речовин - пар, газів, твердих і рідких часток.

Згідно з діючими нормами проектування виробничого висвітлення СНиП 11-4-79, персонал, обслуговуючий установку, виконує зорові роботи розряду IV - середньої точності, пов'язані з розглядом об'єктів найменшого розміру ПР 0,5 – ПР 1,0 мм на середнім тлі при великій контрастності об'єкта з тілом.

5.1.2 Розрахунок вентиляції

Розрахунок вентиляції треба проводити для найбільш несприятливих умов: теплий період року, коли в приміщенні включені усі ПЕВМ (3 шт. потужністю 500 Вт кожна). У приміщенні працюють робітники. Враховуючи, що одна людина виділяє 90 Вт тепла, загальні тепловиділення від людей складуть $Q_1 = 90 \cdot 3 = 270 \text{ (Вт)}$.

Тепловиділення від ПЕВМ і джерел штучного освітлення визначаються по формулі

$$Q = N \cdot n, \quad (5.1)$$

де Q – тепловиділення, Вт;

N – сумарна потужність пристроїв, Вт;

n – коефіцієнт теплових втрат ($n=0,7$ для ПЕВМ, $n=0,55$ для люмінесцентних ламп).

Визначимо тепловиділення від 3-х ПЕВМ:

$$Q_2 = 1500 \cdot 0,7 = 1050 \text{ Вт.}$$

Тепловиділення від 4-х ламп ЛБ- 65:

$$Q_3 = 260 \cdot 0,55 = 143 \text{ Вт.}$$

У теплий період року необхідно враховувати тепловиділення від сонячної радіації. Приміщення, в якому знаходиться пристрій, розташоване на першому поверсі двоповерхової будівлі, вікна орієнтовані на південний захід і мають подвійне скло в дерев'яній рамі. Тепловиділення від сонячної радіації можна визначити за формулою:

$$Q_4 = F_{\text{ост}} \cdot q \cdot A_{\text{ост}}, \quad (5.2)$$

де Q_4 – тепловиділення від сонячної радіації, Вт;

$F_{\text{ост}}$ – площа скла = 4 м²;

q – тепловиділення через 1 м² поверхні скла = 145 Вт/ м²;

$A_{\text{ост}}$ – коефіцієнт обліку характеру скла = 1,15.

$$Q_4 = 4 \cdot 145 \cdot 1,15 = 667 \text{ Вт.}$$

Сумарні надмірні тепловиділення

$$Q_4 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 270 + 1050 + 143 + 667 = 2130 \text{ Вт.}$$

Об'єм припливного повітря, необхідного для поглинання надлишків тепла визначається за формулою:

$$G = \frac{3600 \cdot Q}{C_p \cdot \rho \cdot (t_{\text{вд}} - t_{\text{пп}})}, \quad (5.3)$$

де G – об'єм припливного повітря, м³/год.;

Q – надлишки тепла, Вт;

C_p – питома теплоємність повітря = 1000 (Дж/(кг · С°));

ρ – щільність повітря = 1,2 кг/м³;

$t_{\text{вд}}$ – температура повітря, що видаляється, С°;

$t_{\text{пп}}$ – температура припливного повітря, С°.

Температура припливного повітря в теплий період року приймається рівною 20 С°. Температура повітря, що видаляється, визначається за формулою:

$$t_{\text{вд}} = t_{\text{pz}} + a \cdot (H - 2), \quad (5.4)$$

де $t_{\text{вд}}$ – температура повітря, що видаляється, С°;

t_{pz} – оптимальна температура повітря в робочій зоні (23 С°);

a – температурний градієнт (1 С° / м);

H – висота приміщення (3,5 м).

$$t_{\text{вд}} = 23 + 1 \cdot (3,5 - 2) = 24,5 \text{ С}^\circ$$

$$G = \frac{3600 \cdot 2130}{1000 \cdot 1,2 \cdot (24,5 - 20)} = 1420 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Проведемо розрахунок примусової зовнішньої припливної вентиляції для вказаного приміщення. Вентиляційна система складається з наступних елементів:

– припливної камери, до складу якої входять вентилятор з електродвигуном, калорифер для підігрівання повітря в холодну пору року і жалюзійні ґрати для регулювання об'єму повітря, що поступає;

– круглого сталевого повітропроводу завдовжки 1,5 м;

– розподільника повітря ВП для подання повітря в приміщення.

Втрати тиску у вентиляційній системі визначаються за формулою:

$$H = R \cdot l \cdot \xi \cdot \frac{V^2 \cdot \rho}{2}, \quad (5.5)$$

де H – втрати тиску, Па;

R – питомі втрати тиску на тертя в повітропроводі, Па/м;

l – довжина повітропроводу, м;

ξ – сумарний коефіцієнт місцевих втрат в системі;

V – швидкість повітря ($V=3$ м/с);

ρ – щільність повітря ($\rho=1,2$ кг/м³).

Необхідний діаметр повітропроводу для цієї вентиляційної системи

$$d = \sqrt{\frac{G}{900 \cdot V \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{1420}{900 \cdot 3 \cdot 3,14}} = 0,41 \text{ м}. \quad (5.6)$$

Приймаємо як діаметр найближчу велику стандартну величину – 0,45 м. Для повітропроводу такого діаметру питомі втрати тиску на тертя $R=0,24$ Па/м.

Місцеві втрати виникають в жалюзійних решітках ($\xi=1,2$), розподільнику повітря ($\xi=1,4$) і калорифері ($\xi=2,2$).

Тоді сумарний коефіцієнт $\xi = 1,2+1,4+2,2 = 4,8$.

$$H = 0,24 \cdot 1,5 \cdot 4,8 \cdot \frac{9 \cdot 1,2}{2} = 26,28 \text{ Па}.$$

З урахуванням 10%-го запасу:

$$H = 1,1 \cdot 26,28 = 26,28 \text{ Па},$$

$$G = 1,1 \cdot 1420 = 1562 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

По каталогу виберемо вентилятор осьової серії МЦ №4: витрата повітря 1600м³/год., тиск 40 Па, ККД 65%, швидкість обертання 960 об/хв, діаметр колеса 400 мм, потужність електродвигуна 0,032 кВт (двигун, сполучений на одній осі з вентилятором).

5.2 Розрахунок заземлення електроустановки

Заземленню підлягає устаткування лабораторії напругою до 1000 В.

Ґрунт – супісок. Вимір проводився при середній вологості ґрунту.

Пристрій, що заземлює, являє собою прямокутник розміром 10х10 м. Як вертикальні стрижні – кутова сталь із шириною полиці 20 мм, довжиною 1,5 м, як сполучну смугу – сталева шина перетином 20 мм².

1. Визначаємо розрахунковий струм замикання на землю:

$$I_3 = \frac{3 \cdot U}{Z} = \frac{3 \cdot 220}{100} = 6.6 \text{ А}, \quad (5.7)$$

де Z – опір ізоляції, не може бути менш 100 Ом;

U – фазна напруга; $U = 220 \text{ В}$.

2. Норма опору заземлення $R_3 \leq 10 \text{ Ом}$.

3. Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \cdot \varphi = 150 \cdot 1,8 = 270 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (5.8)$$

де, $\rho_{изм}$ – питомий опір ґрунту

φ – кліматичний коефіцієнт.

4. Опір природних заземлень:

$$R_e = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{d} = \frac{270}{2 \cdot 3.14 \cdot 1.5} \ln \frac{4 \cdot 1.5}{0.019} = 163.4 \text{ Ом}, \quad (5.9)$$

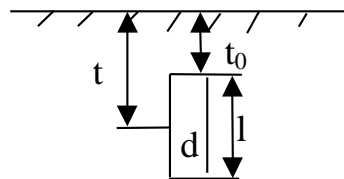
$$d = 0.95 \cdot 0.02 = 0.019 \text{ м}, \quad (5.10)$$

5. Визначаємо опір штучного заземлення:

$$R_u = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} = \frac{163.4 \cdot 10}{163.4 - 10} = 10.7 \text{ Ом}, \quad (5.11)$$

6. Опір одиночного вертикального заземлителя:

$$\begin{aligned} R_{cm.од} &= \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \\ &= \frac{270}{2 \cdot 3.14 \cdot 1.5} \left(\ln \frac{2 \cdot 1.5}{0.019} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1.5 + 1.5}{4 \cdot 1.5 - 1.5} \right) = 153.3 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (5.12)$$



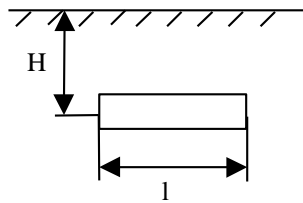
$$t_0 = 0.5 \text{ м}$$

$$t = \left(\frac{2.5 + 0.5}{2} \right) = 1.5 \text{ м}$$

7. Довжина сполучної смуги (шини) дорівнює периметру прямокутника 10x10 м, тобто 40м. Вертикальні стрижні розміщуються через кожні 2 м – разом 20 стержнів. Стержні розміщені по контуру. Коефіцієнт використання вертикальних стержнів $\eta_{cm} = 0.68$.

8. Опір сполучної смуги.

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bHi} = \frac{270}{2 \cdot 3.14 \cdot 1.5} \ln \frac{2 \cdot 1.5^2}{0.02 \cdot 0.4} = 246.9 \text{ Ом} \quad (5.13)$$



$$\frac{l}{H} \geq 5$$

$$H = 0.4$$

З урахуванням коефіцієнта використання смуги

$$\eta_n = 0.62$$

$$R_n = \frac{246,9}{0.62} = 398,2 \text{ Ом} \quad (5.14)$$

9. Визначаємо опір стержнів (вертикальних заземлителів):

$$R_{cm} = \frac{R_n \cdot R_u}{R_n - R_u} = \frac{398.2 \cdot 10.7}{398.2 - 10.7} = 11 \text{ Ом.} \quad (5.15)$$

10. Число вертикальних заземлителів.

$$n = \frac{R_{cm.од}}{\eta_{cm} - R_{cm}} = \frac{153.3}{0.68 \cdot 11} = 19.9 \approx 20 \text{ стержнів.} \quad (5.16)$$

5.3 Визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння

1. При визначенні видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід враховувати фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості горючих речовин, їх ставлення до вогнегасною речовин, а також площа виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок.

2. Комплектування технологічного обладнання вогнегасниками здійснюється відповідно до вимог технічних умов (паспортів) на це устаткування або відповідними правилами пожежної безпеки.

3. Комплектування імпортного обладнання вогнегасниками здійснюється відповідно до умов договору на його поставку.

4. Вибір типу і розрахунок необхідної кількості вогнегасників в захищається приміщенні або на об'єкті слід проводити в залежності від їх вогнегасної здатності, граничної площі, а також класу пожежі горючих речовин та матеріалів:

- Клас А - пожежі твердих речовин, в основному органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);
- Клас В - пожежі горючих рідин або плавких твердих речовин;
- Клас С - пожежі газів;
- Клас D - пожежі металів та їх сплавів;
- Клас Е - пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи ручного) обумовлений розмірами можливих осередків пожежі. При їх значних розмірах необхідно використовувати пересувні вогнегасники.

5. Вибираючи вогнегасник з відповідним температурним межею використання, необхідно враховувати кліматичні умови експлуатації будівель і споруд.

6. Якщо можливі комбіновані осередки пожежі, то перевагу при виборі вогнегасника віддається більш універсальному по області застосування.

7. Для граничної площі приміщень різних категорій (максимальної площі, що захищається одним або групою вогнегасників) необхідно передбачати число вогнегасників одного з типів, вказане в таблицях 1 і 2 перед знаком "+ +" або "+".

8. У громадських будинках та спорудах на кожному поверсі повинні розміщуватися не менше двох ручних вогнегасників.

9. За наявності декількох невеликих приміщень однієї категорії пожежної небезпеки кількість необхідних вогнегасників визначається відповідно до п. 14 і таблицями 1 і 2 з урахуванням сумарної площі цих приміщень.

10. Вогнегасники, відправлені з підприємства на перезарядження, повинні замінюватися відповідною кількістю заряджених вогнегасників.

11. При захисті приміщень ЕОМ, телефонних станцій, музеїв, архівів і т.д. слід враховувати специфіку взаємодії вогнегасних речовин з захищеними обладнанням, виробами, матеріалами і т.п. Дані приміщення слід обладнати хладоного і вуглекислотними вогнегасниками з урахуванням гранично допустимої концентрації вогнегасної речовини.

12. Приміщення, обладнані автоматичними стаціонарними установками пожежогасіння, забезпечуються вогнегасниками на 50%, виходячи з їх розрахункової кількості.

Норми оснащення приміщень ручними вогнегасниками

Категорія поміщення	Гранична площа, що захищається, м ²	Клас пожару	Пінні та водні вогнегасники місткістю 10 л	Порошкові вогнегасники місткістю, л / масою вогнегасної речовини, кг			Хладонові вогнегасники місткістю 2 (3) л	Вуглекислотні вогнегасники місткістю, л / масою вогнегасної речовини, кг		
				2/2	5/4	10/9		2/2	5 (8)/3 (5)	
Г	800	В	2+	-	2 ++	1+	-	-	-	
		С	-	4+	2 ++	1+	-	-	-	
Г, Д	1800	А	2++	4+	2 ++	1+	-	-	-	
		Д	-	-	2+	1++	-	-	-	
		(Е)	-	2+	2 ++	1+	2+	4+	2++	

Висновок: У даному розділі розроблена інструкція по правилах техніки безпеки і охорони праці при експлуатації системи ультразвукових датчиків, детально описаний принцип роботи даного приладу та умови необхідні для його нормальної роботи.

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 з різною характеристикою.

А також запропоновано новий алгоритм пошуку найбільш достовірного результату вимірювання в комбінованій 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 структурна схема системи ультразвукових датчиків, 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.

З погляду на вищезгадане, можна зробити висновок, що тема роботи «Покращення точності та розширення діапазону вимірювання системи ультразвукових датчиків» є актуальною.

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. Zakhzhay O. Combined Systems of Patterns Recognition / O. Zakhzhay, 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. Аш Ж. Датчики измерительных систем кн. 1. – М.: Мир, 1992. - 480с.
9. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. – М.: Мир, 1989. – 161с.
10. Воронцов К.В. Обзор современных исследований по проблеме качества обучения алгоритмов. // Таврический вестник информатики и математики. – 2004. – №1. – С. 5–24.
11. Гмурман В.Е. "Теория вероятностей и математическая статистика", 2005, стр. 127;
12. Гмурман В.Е. "Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике", 2005, стр. 109;
13. Готры З. Ю. Датчики. Справочник. – СПб.: Питер, 1995.-312 с.
14. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007.- 384 с.

15. Жданкин В.К. Приборы для измерения уровня. Современные технологии автоматизации. – М: СТА-ПРЕСС, 2003.
16. Жданкин В.К. Ультразвуковые датчики для систем управления. Современные технологии автоматизации. – М: СТА-ПРЕСС, 2003.
17. Журавлев Ю.И. Распознавание образов и анализ изображений / Ю.И. Журавлев, И.Б. Гуревич // Искусственный интеллект: Модели и методы. Москва: Радио и связь. – 1990. – 190 с.
18. Журавлев Ю.И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю.И. Журавлев, В.В. Рязанов, О.В. Сенько. – Москва: Фазис, – 2005. – 159 с.
19. Захожай О.І. Інформаційна технологія розпізнавання образів при аналізі температурного режиму коксових печей // Труды 10-й международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии – 2009». – 2009. – С.77.
20. Захожай О.І. Основні аспекти структурної організації комбінованих систем розпізнавання образів / О.І. Захожай, Ю.Е. Паеранд // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – №1(44). – С.221–225.
21. Кремер Н.Ш. " Теория вероятностей и математическая статистика", 2006, стр. 61;
22. Кремлёв А.Г. "Математика. Раздел "Статистика" ", 2001, издание УрГЮА (г. Екатеринбург).
23. Островский Л.А. Основы общей теории электроизмерительных устройств. – Л.: Энергия, 1971. — 544с.
24. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко // Москва: Высшая школа. – 2001. – 396 с.
25. Письменный Д.Т. "Конспект лекций по теории вероятностей и математической статистике", 2004, стр. 96;
26. Рябенкий В.М. Комбіновані системи розпізнавання образів / В.М. Рябенкий, О.І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій». – 2011. – № 01(009). – С. 156–160.

27. Симанков В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография / В.С.Симанков, Е.В. Луценко. – Краснодар: Технологический университет Кубанского государственного технологического университета, 1999. – 318 с.

28. Шарапов В.М., Полищук Е.С., Кошевой Н.Д., Ишанин Г.Г. Датчики. / Под общ. ред. Шарапова В.М., Полищука Е.С. – М.: Ттехносфера, 2012. -58 с.

29. Шурыгин А.М. Статистический кластер-алгоритм // Математические методы распознавания образов. – 2007. – С. 241–242.

30. Янковская А.Е. О применении мультимножеств к задаче вычисления весовых коэффициентов признаков в интеллектуальных распознающих системах / А.Е. Янковская, С.И. Колесникова // Искусственный интеллект. – 2004. – № 2. – С. 216–220.