

Міністерство освіти і науки України

**Шифр «УЛЬТРАЗВУК»**

**ОБГРУНТУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ НОРМ  
РОЗМІЩЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПОЖЕЖНИХ  
СПОВІЩУВАЧІВ**

2020

## Анотація

Назва наукової роботи: "Обґрунтування метрологічних норм розміщення ультразвукових пожежних сповіщувачів"

Напрямок дослідження: пожежна безпека

**Актуальність.** Одним із найбільш небезпечних і поширених вражаючих факторів у разі виникнення надзвичайної ситуації є пожежа, тобто неконтрольований процес горіння матеріалів, речовин, технологічного обладнання, будівель і інші. Моніторинг стану з пожежами та їх наслідками в Україні свідчить, що десятирічна динаміка загальної кількості пожеж та пожеж у житловому секторі характеризується тенденцією їх зростання.

В цих умовах важливим є вирішення наступних завдань:

- пошук методів та способів як попередження пожеж так постійного цілодобового моніторингу охороняємих об'єктів;
- розробка та проектування сучасних автоматичних безпроводних охоронно-пожежних систем які крім моніторингу та оповіщення забезпечать ведення баз даних стану особливо важливих об'єктів;
- вдосконалення існуючих охоронно-пожежних сповіщувачів з метою їх комплексного використання в сучасних автоматичних безпроводних охоронно-пожежних системах.

На сьогодні в своїй більшості безпроводні охоронно-пожежні сигналізації забезпечують сповіщення про виникнення пожежі та проникнення злоумисника на охороняєму територію по GSM каналах мобільного зв'язку. Ряд завдань залишається не вирішеними:

- завдання збору даних моніторингу охороняємої території;
- ведення баз даних станів небезпечних об'єктів;
- підвищення живучості всієї системи в цілому за рахунок резервування; сповіщувачів та динамічного перерозподілу зони контролю;

– підвищення достовірності даних системи.

Розглянуті в даній роботі методи підвищення достовірності даних ультразвуковиз пожежних сповіщувачів. Комплексування ультразвукових та інфрачервоних датчиків дозволяє використовувати їх для моніторингу декількох параметрів зони контролю (температури, вологості, відстані, порушення межі зони).

Метою досліджень є підвищення достовірності інформації охоронно-пожежної сигналізації

Об'єкт дослідження – ультразвуковий сповіщувач.

Предмет дослідження – процес вимірювання в зоні контролю ультразвуковими датчиками.

Наукова новизна роботи – набув подальшого розвитку метод порогової обробки сигналів в ультразвукових сповіщувачах в різних умовах дії перешкод та відбиттях від різних об'єктів. Отримані дані моніторингу доцільно використовувати як під час розробки відповідних планів пожежогасіння підрозділами місцевої пожежної охорони, так і оперативних (доцільно використовувати керівнику гасіння пожежі) оцінок.

Практична значимість роботи. Збір даних в автоматичному режимі технічного стану охороняемого об'єкта дозволить формалізувати отримання результатів необхідних, як для здійснення повсякденної діяльності пожежного підрозділу місцевої пожежної охорони (довгостроковий прогноз), так і здійснення оперативної (короткостроковий прогноз) діяльності підрозділів на пожежі. Розроблені методики використовуються в навчальному процесу в ХНАДУ при проведенні практичних занять зі студентами, на яких вони оцінюють пожежну обстановку.

Представлена наукова робота складається з анотації, двох розділів, висновків та переліку літератури. Робота виконана на 30 сторінках, містить 13 рисунків, 2 таблиці.

**Ключові слова:** пожежна безпека, ультразвуковий сповіщувач, достовірність, порогова обробка, охоронно-пожежна сигналізація.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Обґрунтування метрологічних норм розміщення ультразвукових пожежних сповіщувачів.....	10
1.1 Вимірювальна схема з однієї головкою .....	11
1.2 Вимірювальна схема із двома головками .....	12
2 Методи підвищення достовірності роботи ультразвукових сповіщувачів ...	18
2.1 Регульований час циклу, корекція та синхронізація результатів вимірювань.....	19
2.2 Джерела помилок у вимірюваннях.....	20
Висновки.....	28
Перелік посилань.....	29

## ВСТУП

Бездротова охоронно-пожежна сигналізація – складний механізм, у якому окремі елементи зв'язані між собою. Датчики й обладнання – складові частини сигналізації – з'єднуються між собою проводами або за допомогою радіосигнального повідомлення.

Автоматична просторово розподілена безпроводна охоронно-пожежна система яка досліджена в даній науковій роботі призвана вирішувати наступні завдання:

- своєчасне виявлення ознак пожежі та проникнення на охороняємий об'єкт;
- фіксація виникнення пожежі на підставі виявлених ознак;
- формування й передача оповіщення про пожежу на пульт оператора, на пост пожежної охорони, і на передбачені на даному об'єкті засоби оповіщення про пожежу;
- подача команди на кінцеві пристрої: установки автоматичного пожежогасіння, системи вентиляції й димоусування, що блокують пристрої ліфтів і дверей і т.д.;
- взаємне резервування сповіщувачів об'єднаних в локальну WiFi мережу

Структура охоронно-пожежної сигналізації може бути різною. Автоматичні установки пожежної сигналізації можуть значно відрізнятися по складності, складу й кількості елементів, але мають подібну структуру. Сповіщувачі – "ока й вуха", а вірніше "ніздрі" автоматичної системи пожежної сигналізації. Сповіщувачі являють собою датчики різного принципу дії (теплового, оптичного, інфрачервоного і т.д.). Саме через ці датчики система сигналізації одержує первинні дані про появу ознак пожежі.

У якості пожежних детекторів можуть обмежено застосовуватися охоронні ультразвукові датчики руху. Їхня дія заснована на різниці в характері поширення ультразвуку в нерухомому повітрі. Порушник, що рухається в закритому приміщенні, збурює повітряні маси, приводячи до спрацьовування ультразвукового датчика. Але рух повітря також може бути викликане загорянням (нагріте повітря починає активно

підніматися нагору), тому ультразвукові датчики можуть сигналізувати про початок пожежі.

Використання терміна "датчик" стосовно пожежного детектора є неправильним, тому що датчик – це засіб вимірювання. Термін "датчик" раніше широко використовувався в значенні "сповіщувач" [1, 2]. Пожежні сповіщувачі не є засобами вимірювань [6]. Для пристрою перетворюючого фізичну величину у вихідний сигнал, що не є засобом вимірювань, в Україні нормативно встановлений термін перетворювач фізичної величини [7]. Сигнал сповіщувача, у більшості випадків, не може безпосередньо впливати на виконавчі пристрої (за винятком автономних сповіщувачів). Тому сигнал передається на інше обладнання [3]. У системах сигналізації передаються дискретні повідомлення - повідомлення про зміни в режимі роботи установок.

Пожежний сповіщувач - технічний засіб, який встановлюють безпосередньо на об'єкті, що захищається, для передачі тривожного повідомлення про пожежу на пожежний приймально-контрольний прилад, або оповіщення й відображення інформації про виявлення загорянь. Найбільше часто сповіщувачі передають інформацію про свій стан у шлейф пожежного приймально-контрольного приладу [1]. Сповіщувачі є найважливішими елементами систем пожежної сигналізації й автоматики. Вони в основному визначають можливості й характеристики системи в цілому. Раніше в літературі технологічні сповіщувачі називалися "індикатори аварійних ситуацій" [3].

Автоматична система пожежної сигналізації використовує пожежні сповіщувачі для виявлення пожежі [4]. У систему виявлення пожежі можуть входити інші технічні засоби і організаційні заходи, які дозволяють виявити пожежу в початковій стадії [5]. Так, наприклад, сповіщувач охоронний об'ємний ультразвуковий СО408-5 "Луна-5" призначений для виявлення руху порушника в охоронюваній зоні з наступною видачею повідомлення про тривогу на пульт централізованого спостереження (ПЦН) або прилад приймально-контрольний (ППК) розмиканням шлейфа сигналізації (ШС) контактами виконавчого реле.

Слід відмітити, що особливості розповсюдження ультразвуку та залежність швидкості ультразвуку від температури середовища в якому він поширюється накладає ряд обмежень та вимог до застосування ультразвукових пожежних сповіщувачів. До пожежних сповіщувачів ставляться наступні вимоги:

- світлова індикація режимів роботи та заводських впливів;
- управління режимами індикації залежно від прийнятої тактики охорони на об'єкті (автоматично відновлювана або фіксована індикація тривоги);
- відключення індикації при необхідності маскуванню сповіщувача;
- контроль відповідності напруги електроживлення сповіщувача встановленому діапазону;
- захист від несанкціонованого розкриття корпусу;
- дискретне регулювання чутливості.

Сповіщувач повинен формувати в охоронюваному приміщенні суцільну об'ємну зону виявлення. Максимальний об'єм охоронюваного приміщення визначається випромінюваною потужністю ультразвуку і становить (при використанні одного сповіщувача) - 250 м<sup>3</sup> (10×5×5 м).

В сповіщувачі для забезпечення високої достовірності роботи (низької ймовірності хибних тривог) повинні бути передбачені:

- кварцова стабілізація робочої частоти, що забезпечує можливість використання в одному охоронюваному приміщенні декількох сповіщувачів даного типу;

- автоматичне тестування, що забезпечує перевірку працездатності акустичних перетворювачів; антисаботажний захист; контроль заводської обстановки в охоронюваному приміщенні;

- контроль напруги електроживлення;
- дискретне регулювання дальності дії сповіщувача на охоронюваному об'єкті;
- триколірна світлова індикація режимів функціонування сповіщувача;
- можливість включення режиму пам'яті тривоги;
- можливість відключення індикації повідомлення про тривогу, а також

сигналів від перешкод і рухів в охоронюваному приміщенні (для забезпечення функціонування сповіщувача в режимі маскування), при збереженні індикації повідомлень про включення, несправність, зниження напруги живлення й пам'яті тривоги;

– захист від несанкціонованого розкриття корпусу.

Сповіщувач повинен забезпечувати безперервну цілодобову роботу.

Місце установки сповіщувача в охоронюваному приміщенні слід вибирати з урахуванням наступних вимог:

а) оптимальна висота установки сповіщувача –  $(2,0 \pm 0,5)$  м;

б) не допускається встановлювати сповіщувач безпосередньо над батареями опалення, поблизу кондиціонерів, дверей, вікон, кватирок, фрамуг, занавісок (жалюзі), декоративних рослин, гілки яких можуть коливатися під дією руху повітря в приміщенні (протягів);

в) не допускається використовувати сповіщувач у приміщенні з рівнем звукових шумів більш 75 дБ щодо стандартного нульового рівня  $2 \cdot 10^{-5}$  Па (орієнтовно, такому рівню шуму відповідає голосна розмова двох людей у закритому приміщенні);

г) у приміщенні, де встановлюється сповіщувач, на період охорони повинні бути передбачені заходи, що забезпечують:

1) максимально можливу герметизацію приміщення (закриття всіх дверей, вікон, кватирок, фрамуг, люків і т.п.);

2) створення нормальної шумової обстановки (відключення примусової вентиляції, кондиціонерів, електрообігрівачів, вентиляторів, дзвінків, звуковідтворюючої апаратури, силових перемикаючих пристроїв і інших електроприладів;

3) відсутність людей, тварин і птахів;

е) при виборі місця установки сповіщувач необхідно мати на увазі, що найбільша ультразвукова енергія випромінюється перпендикулярно його лицьової панелі, тому перед нею повинна перебувати основна частина охоронюваної зони;

ф) поверхні огорож (перегородки, великі меблі) можуть спотворювати зону



виявлення (перевіряється дослідним шляхом), а килимові покриття, м'які меблі поглинають ультразвук і зменшують дальність дії сповіщувача ( у межах до 25%), а в приміщеннях із гладкими стінами й перекриттями, а також при наявності меблів із гладким покриттям або склом, які відбивають ультразвук, можливе збільшення дальності дії сповіщувача;

g) забороняється маскування сповіщувача декоративними шторами, тому що при цьому можлива втрата його чутливості ;

h) охоронювані матеріальні цінності повинні бути розташовані на відстані не більш 10 м від сповіщувача;

i) у приміщенні щодо більших розмірів (якщо хоча б один вимір перевищує 10 м) або для створення декількох локальних зон охорони допускається використовувати в одному приміщенні декілька сповіщувачів;

j) сповіщувачі із зустрічно спрямованими зонами виявлення слід розташовувати на відстані не менш 5 м один від одного.

Таким чином, для забезпечення нормальної роботи ультразвукових сповіщувачів необхідно дотримуватись не тільки виконання технологічних вимог правильної установки сповіщувача а і забезпечити виконання певних організаційних заходів.

## 1 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ НОРМ РОЗМІЩЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

У даній науковій роботі досліджено 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 й випромінювання. Такий метод відноситься до методів безпосереднього виявлення.

У момент часу  $T_0$  (рис. 1.1) ультразвуковий передавач випромінює сигнал — пачку імпульсів тривалістю  $\Delta t$ , яка поширюється в навколишньому середовищі зі швидкістю звуку  $C$ . Коли сигнал досягає об'єкта, частина сигналу відбивається й приходить у приймач у момент часу  $T_1$ . Електронна схема пристрою обробки сигналу визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час  $T_1 - T_0$ .

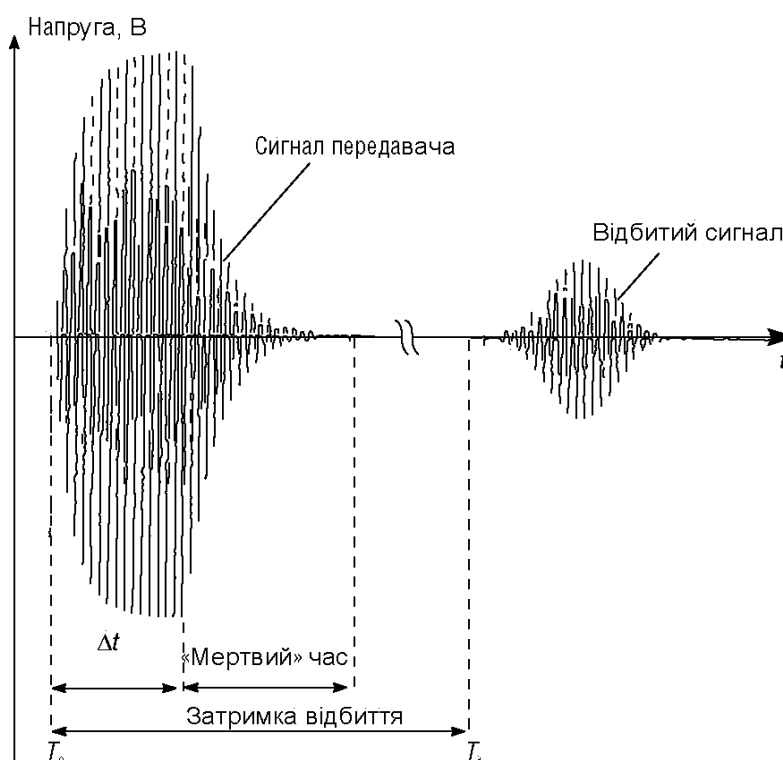


Рисунок 1.1 – Сигнал на чутливому елементі датчика вимірювальної схеми з одною ГОЛОВКОЮ

Для вимірювань відстані може застосовуватися як схема, що використовує ту

саму головку датчика для випромінювання й приймання, так і схема, у якій випромінювання й приймання провадять дві різні головки.

### 1.1 Вимірювальна схема з однієї головкою

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

Наявність «мертвого» часу приводить до того, що ультразвукові вимірники відстані з однієї головкою мають так звану «сліпу» зону, тобто, коли об'єкт перебуває занадто близько, відбита пачка приходить у вимірник так швидко, що він не встигає змінитися з передачі на прийом й об'єкт не може бути виявлений.

Тривалість перехідних процесів випромінювача-приймача залежить від багатьох факторів, таких як сумарна коливна маса, внутрішнє загасання сигналу, що розв'язує матеріал і особливості механічної конструкції датчика. Так, наприклад, межа «сліпої» зони для ультразвукових датчиків фірми Pepperl+ Fuchs традиційних конструкцій із зонами реагування 1 м і 6 м дорівнює 0,2 м і 0,8 м. Це відповідає «мертвому» часу 1 мс і 5 мс. Функціональна схема датчика безпосереднього виявлення наведена на рис. 2.

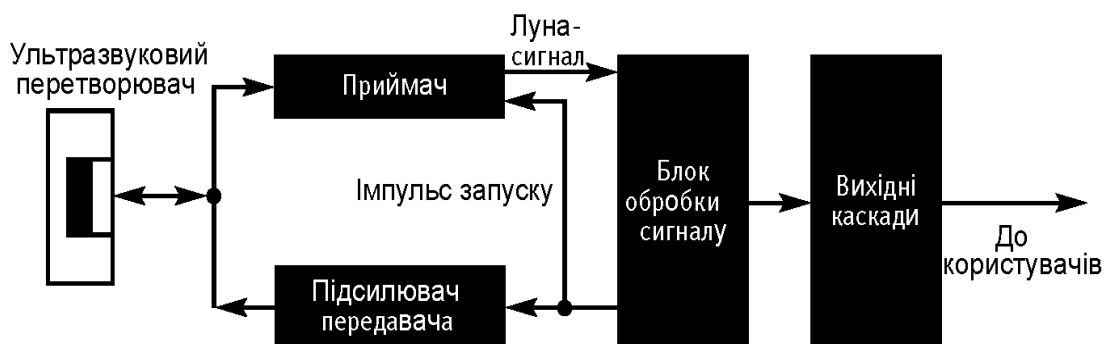


Рисунок 1.2 – Блок-схема ультразвукового датчика зі сполученими випромінювачем і приймачем

Пусковим імпульсом активізується схема збудження випромінювача, яка виробляє серію імпульсів з амплітудою 250 В. Тим же пусковим імпульсом блокується вхід підсилювача приймача. Після вимикання випромінювача приймач розблокується. Відновлення приймача займає 300 мкс, тобто набагато менше, чим заспокоєння випромінювача, тому параметри приймача ніяк не впливають на величину «сліпої» зони. Коли об'єкт із достатньою відбивною здатністю перебуває в зоні контролю, відбитий акустичний сигнал збуджує на мембрані високочастотну змінну напругу. Ця напруга обробляється методами виявлення аналогових сигналів — обмежується, підсилюється, детектується й надходить на компаратор. Перевищення цією напругою заданого значення порога виявлення служить сигналом про наявність об'єкта в зоні контролю. Електронна схема фіксує часовий інтервал, що пройшов з моменту активізації випромінювача й формує вихідний електричний сигнал, пропорційний цьому часовому інтервалу. Вона ж підтримує цифровий інтерфейс із зовнішнім світом.

Зареєструвавши надходження першого відбитого сигналу, схема керування затримує формування чергового пускового імпульсу, очікуючи можливого приходу відбитих сигналів від більш віддалених об'єктів у зоні контролю.

## 1.2 Вимірювальна схема із двома головками

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

Так як величина «сліпої» зони — найважливіший параметр ультразвукового датчика, тому необхідно приділяти особливу увагу зменшенню даного параметра. Для цього використовується спосіб відстеження значення порога виявлення. На дуже близьких відстанях за час перехідного процесу сигнал встигає багаторазово пройти шлях між сенсором і об'єктом. Точність виявлення суттєво знижується через

спотворення, внесені цим багаторазово відбитим сигналом. При цьому помилка методу росте дуже швидко зі зменшенням відстані до об'єкта. Це приводить до необхідності компромісу між чутливістю виявлення, імовірністю «помилкової тривоги» і точністю вимірювання відстані. Рисунок 1.3 ілюструє метод відстеження порога виявлення (для не дуже близьких відстаней). Він полягає в тому, що гранична напруга детектора, що подається на компаратор, формується напругою змінною у часі, що повторює форму та обгинає «хвости» пачки імпульсів, одержуваної при загасанні коливань мембрани.

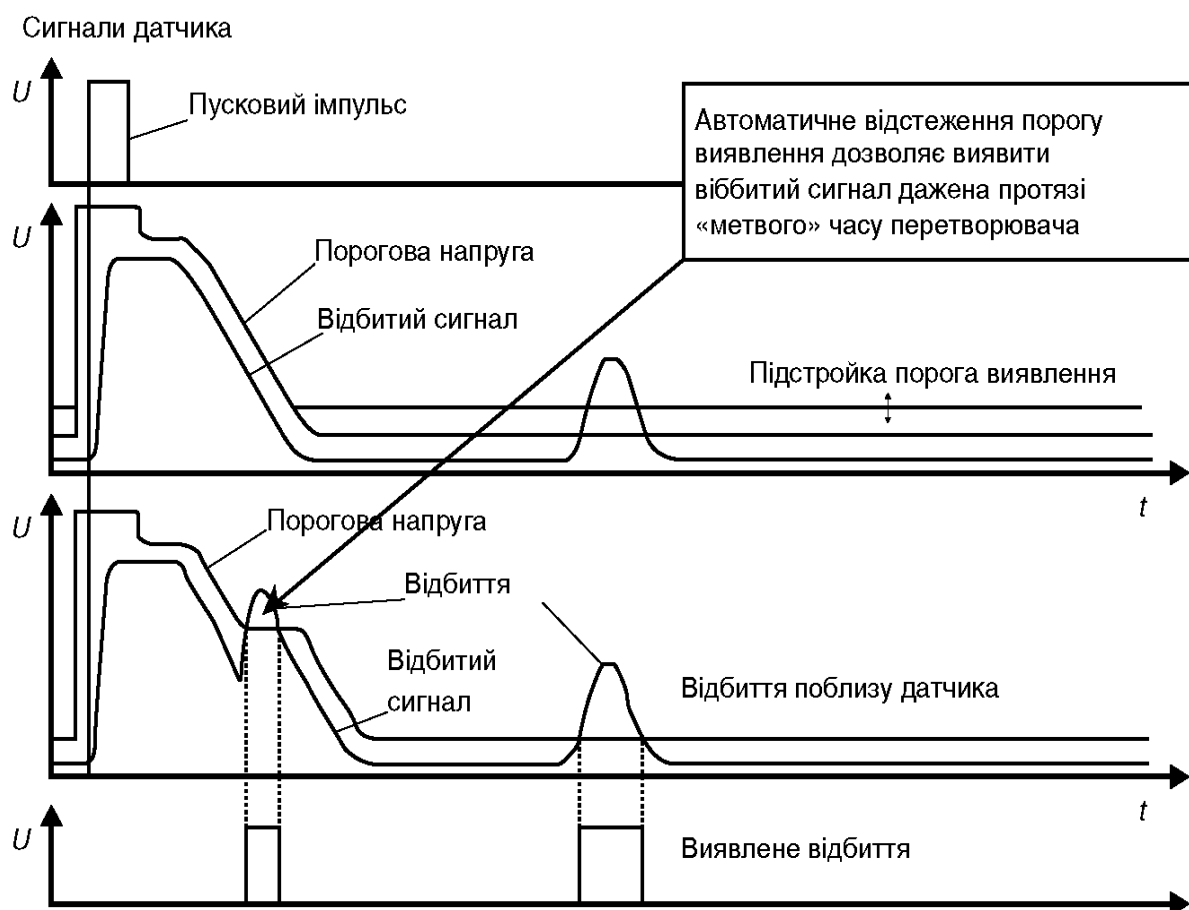


Рисунок 1.3 – Зменшення «мертвого» часу датчика. Метод відстеження порога

На рис. 1.4 наведені осцилограми, що ілюструють явище багаторазового відбиття сигналу від об'єкта та в паузі між пачками зондувальних імпульсів випромінювача. Відстань до об'єкта тут перевищує межу «сліпої» зони.

На рис. 1.5 зображена ситуація, що виникає при знаходженні об'єкта в «сліпій»

зоні при використанні методу відстеження порога виявлення. Проблема полягає в тому, що детектор «не знає», який по рахункові з багаторазово відбитих сигналів перевищив значення порога виявлення. На рисунку зареєстрованим виявився другий з відбитих сигналів, що привело до подвоєння фактичної відстані до об'єкта. Але ця ситуація є неприпустимою: датчик встановлюється й настраюється таким чином, щоб об'єкти не попадали в «сліпу» зону.

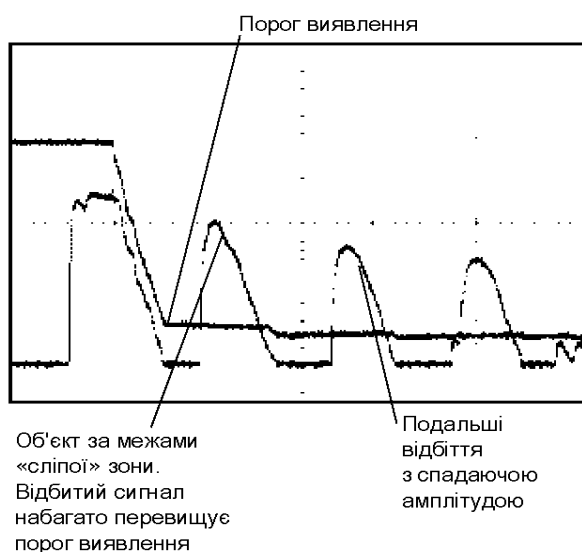


Рисунок 1.4 – Ефект багаторазових відбиттів при великій відстані до об'єкта

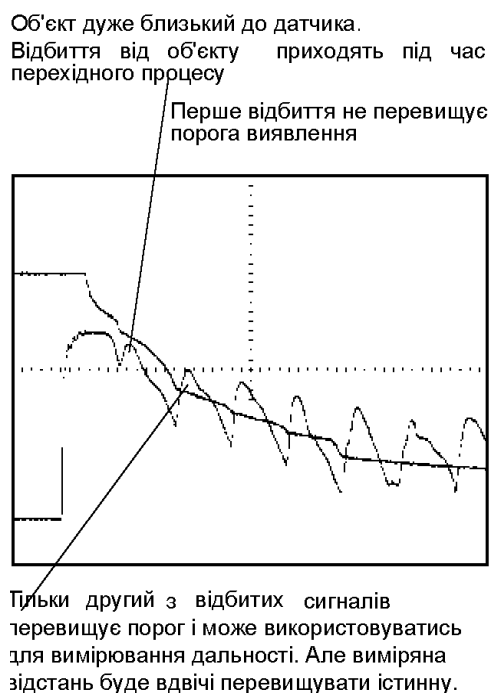
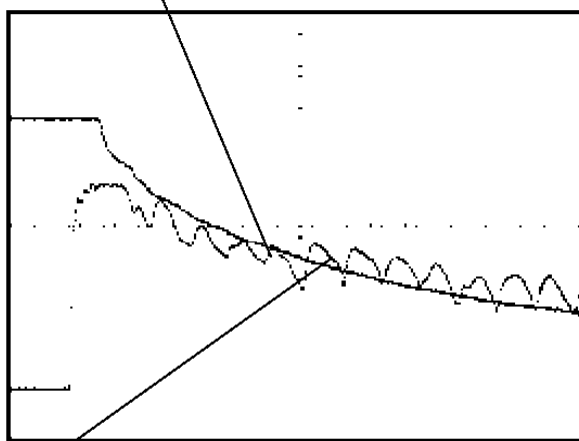


Рисунок 1.5 – Ефект багаторазових відбиттів при знаходженні об'єкта в «сліпій» зоні

Рисунок 1.6 ілюструє подальше погіршення точності з наближенням об'єкта. Напруга на сенсорі приймає форму гребінки з усе більш дрібними зубчиками, і помилка вимірювання відстані продовжує зростати.

По мірі наближення датчика до об'єкта все більше сигналів може бути не виявленими.



Датчик не може визначити, який и відбитих сигналів перевищив поріг виявлення. Це може бути п'яте відбиття від дуже близького предмету, або першим відбиттям від об'єкта який в 5 раз далі.

Рисунок 1.6 – Втрата точності вимірювання при подальшому наближенні об'єкта

Приблизні характеристики ультразвукових датчиків по дальності наведені в табл. 1. Застосування методу відстеження порога чутливості дозволило зменшити «сліпу» зону в 2-2, 5 рази. Однак використання датчиків поблизу границі «сліпої» зони вимагає ретельного пророблення. Тому в характеристиках датчика по дальності в табл. 1.1 приводиться як діапазон зондування, так і діапазон настроювання. Під діапазоном зондування тут розуміється діапазон дальностей виявлення, обумовлений тільки фізичними можливостями датчика (потужність випромінюваного променя і його спрямованість) і параметрами зразкового об'єкта. Діапазон настроювання — це діапазон дальностей, у якому забезпечується можливість регулювання датчика « по

місці» з метою його оптимального використання в конкретному застосуванні ( з урахуванням характеристик об'єкта і його орієнтації щодо чутливого елемента датчика).

Таблиця 1. 1 Характеристики датчиків зі скороченою «сліпою» зоною й функцією налаштування діапазону регулювання

Дальність, мм (частота)	«Сліпа» зона, мм	Діапазон зондування, мм	Діапазон настройки, 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

Ультразвукові датчики безпосереднього виявлення забезпечуються набором засобів, що дають можливість гнучкої установки близької й дальньої границі вимірювального вікна. Параметризація вимірювального вікна зображена на рис. 1.7.

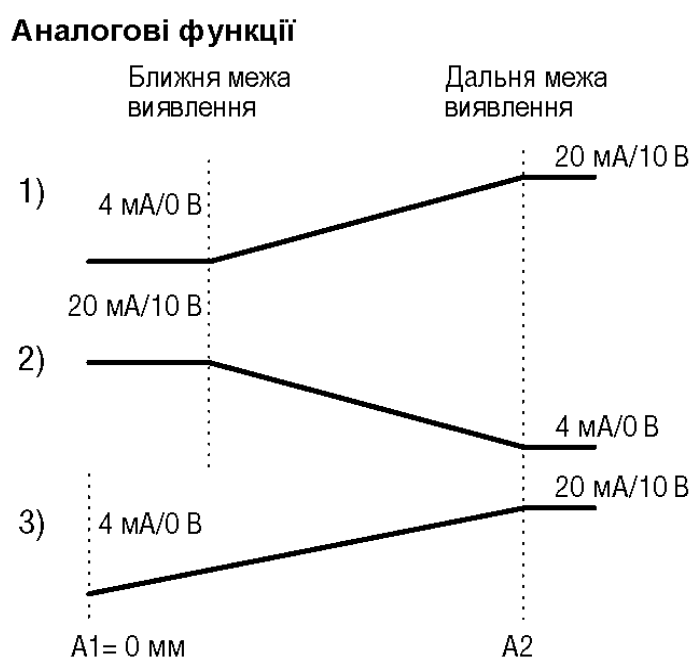


Рисунок 1.7 – Спосіб уявлення положення об'єкта у вимірювальному вікні. Програмований аналоговий вихід



У таблиці 1.2 наведені докладні технічні характеристики датчиків зі зменшеною «сліпою» зоною й роздільними функціями настроювання чутливості.

Таблиця 1.2. Ультразвукові датчики серії -12СМ із аналоговим виходом і одним дискретним виходом

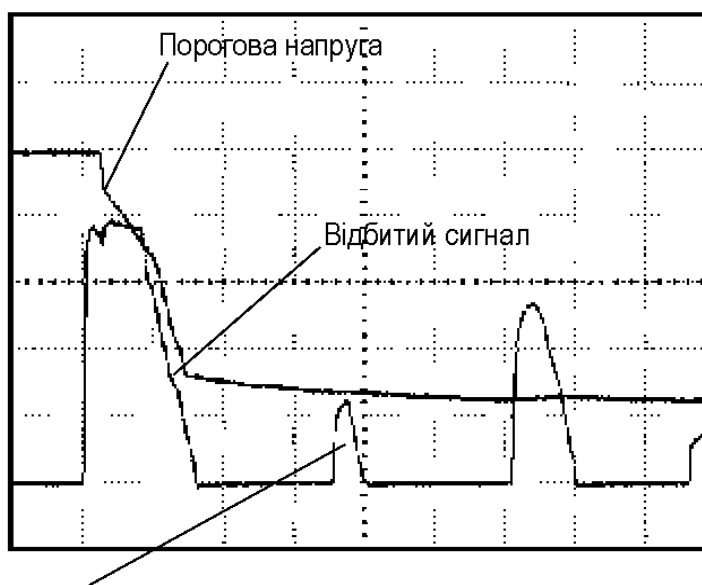
Робочі характеристики	
Діапазон виявлення	30...400 мм
«Сліпа» зона	0...30 мм
Час відгуку	50 мс
Частота перемикання для датчиків з дискретним виходом	10 Гц
Розв'язна здатність для датчиків з аналоговим виходом, не гірше	0,13 мм ( для максимального діапазону виявлення)
Установка положень спрацьовування й границь обробки	Teach-in за допомогою обладнання програмування UB-PROG або конфігурування підключенням до шини +Ub або -Ub
Електричні параметри	
Робоча напруга	30 В постійного струму 30 В (тільки для датчиків з аналоговим виходом)
Експлуатаційні параметри	
Діапазон робочих температур	-25...+70°C
Ступінь захисту	IP65

\*НО — нормально открытый; НЗ — нормально замкнутый.

## 2 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РОБОТИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Після виявлення об'єкта у вікні спостереження наступні відбиті сигнали можуть привести до неправильних спрацьовувань. Для усунення цього підсилювач приймального пристрою, що має можливість регулювання посилення, замикається після виявлення об'єкта.

Наявність у датчиках регульованого порога перемикання — дозволяє заодно й організувати відстройки від перешкод — луна-сигналів, що надходять від паразитних об'єктів навколишнього середовища. Ефект придушення луна-сигналів показаний на рис. 2.1.



Перший з прийнятих відбитих сигналів не аналізується, так як не досягає порога перемикання

Рисунок 2.1 – Придушення відбитих сигналів від, що обурюють об'єктів за допомогою регульованого порога переключення

Функція придушення луна-сигналів від, що обурюють об'єктів є одним з достоїнств сучасних ультразвукових датчиків серії P42. Вона також доступна в датчиках серії UC...-30GM...R2. Поріг перемикання для них встановлюється через інтерфейс RS-232 засобами програмного забезпечення ULTRA-2001.

Використовуючи ці можливості, слід урахувати можливі побічні ефекти

регульованого порога перемикання, зокрема, зниження чутливості, викликане зменшенням звукового конуса (променя), і скорочення зони реагування.

## 2.1 Регульований час циклу, корекція та синхронізація результатів вимірювань

Додатковим заходом придушення численних відбитих і фонових сигналів є збільшення тривалості пускового імпульсу й, отже, випромінюваної пачки імпульсів. Це приводить до того, що амплітуда коливань випромінювача збільшується не миттєво, а протягом деякого часу. Співвідношення між тривалістю випромінюваного імпульсу й максимальним тиском пружного середовища розповсюдження використовується для узгодження енергії випромінювача з відстанню до об'єкта. Для невеликих відстаней до об'єкта тривалість пускового імпульсу зменшується. Тим самим зменшується вплив відбитих сигналів від сторонніх об'єктів, розташованих у зоні спрацьовування на великих відстанях від чутливої поверхні (торця датчика).

Результати визначення часу проходження сигналу від об'єкта можуть мати деякий розкид, обумовлений зміною стану середовища розповсюдження. Вплив перешкод може бути ослаблене шляхом статистичної обробки результатів вимірювань — обчислення середньої величини й дисперсії й відкидання результатів із занадто більшим відхиленням від середнього. Наприклад, обчислюється й запам'ятовується різниця значень двох останніх вимірювань. Обмірювана відстань вважається дійсною, коли дві останні обмірювані різниці відрізняються незначно. Таким способом можуть бути вірогідно виявлені прискорювані об'єкти. Якщо різниця вимірювань дорівнює нулю, це говорить про те, що об'єкт нерухомий; постійна різниця вказує на рух з постійною швидкістю; мінлива різниця вказує на те, що об'єкт рухається із прискоренням.

Для додаткового придушення перешкод при відомій відстані до об'єкта, що виявляється, проводиться узгодження за часом фаз передачі й приймання. Така ж синхронізація використовується при ретрорефлексивному способі виявлення, коли

відома відстань від джерела до рефлектора. Сигнали синхронізації управляють підсилювачем прийомного тракту датчика, який має змінний коефіцієнт підсилення.

## 2.2 Джерела помилок у вимірюваннях

Загальною проблемою вимірювань дальності, що базуються на оцінці часу проходження сигналу, є залежність обмірюваного часу від швидкості поширення звуку. На швидкість звуку в повітрі впливає ряд факторів, таких як температура, атмосферний тиск, вологість і склад повітряного середовища. Для повного урахування всіх цих факторів можна було б використовувати набір датчиків стану повітря й на підставі отриманих даних обчислювати швидкість поширення сигналу в повітрі. Однак це складно й дорого. На практиці досить компенсувати вплив температури, тому що саме температура має найбільший вплив на швидкість розповсюдження звуку. Але таким способом не можна врахувати перепади температури в межах вимірювального вікна.

Кращі результати дає застосування еталонного датчика, який визначає реальну швидкість звуку, виходячи із часу розповсюдження відбитого сигналу в межах еталонного діапазону. Визначена таким способом швидкість розповсюдження звуку може бути передана через засоби сполучення робочим датчикам або зовнішньому (головному) обладнанню обробки інформації. Для компенсації впливу температури навколишнього середовища в зоні вимірювання можливе застосування зовнішніх температурних датчиків UC-30 GM-TEMP.

У тих випадках, коли ультразвукові датчики із близькою робочою частотою розташовані друг проти друга, обладнання обробки не може розрізнити, чи є прийнятий сигнал його луна-сигналом або сигналом іншого випромінювача. Звідси випливає, що датчики, змонтовані в межах зони реагування один одного, можуть один одному заважати. Існують різноманітні методи зменшення цього виду взаємних впливів.

Одним з таких методів є застосування вузькополосних датчиків, що працюють

на різних частотах передачі. Однак цей спосіб не вигідний тим, що вимагає проектування вузькополосного перетворювача для кожної з набору робочих частот.

Кращим способом уникнути взаємного впливу є метод кодування імпульсу. Він полягає в тому, що різні ультразвукові датчики випромінюють зондувальні пачки імпульсів не рівномірно в часі, а в певній часовій послідовності, причому кожний ультразвуковий датчик має свою власну часову послідовність. Ці послідовності формуються у відповідності зі строго певними кодами. Кожний приймач вибирає код «свого» передавача. Цей спосіб гарний тим, що рядом розташовані датчики з одною робочою частотою можуть працювати без взаємного впливу. Недоліком способу є те, що передача кодів вимагає більше часу в порівнянні з передачами звичайних пачок імпульсів і максимальна частота зондування зони контролю зменшується.

Ще одною можливістю уникнути взаємного впливу датчиків є застосування постійних, але різних тактових частот (частот проходження пачок імпульсів).

У каталозі [19] наведені правила визначення безпечних експлуатаційних відстаней, яких слід дотримуватися для того, щоб уникнути взаємних впливів датчиків. Реально необхідна відстань  $X$ , на яке потрібно розносити датчики, може залежати від орієнтування й положення об'єкта, який перебуває у звуковому конусі. Якщо орієнтування об'єкта несприятливе (скажемо, відбитий промінь «засвічує» сусідній датчик), відстань  $X$  слід побільшати (рис. 2.2).

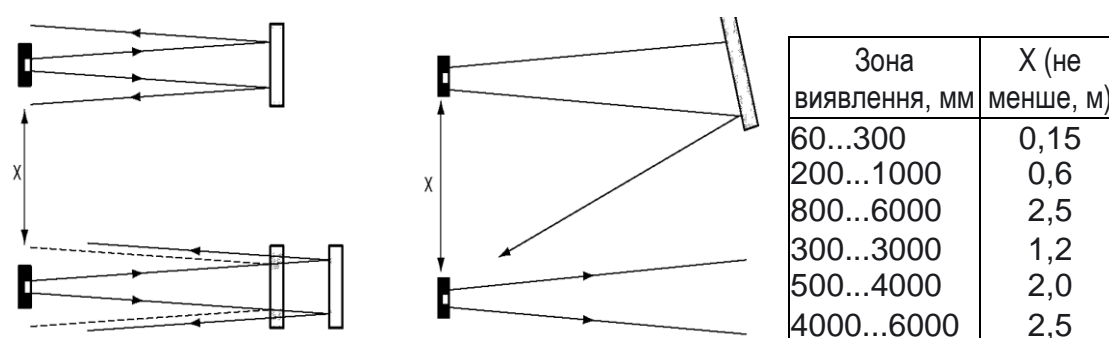


Рисунок 2.2 – Взаємний вплив датчиків, розташованих поруч

У випадку коли датчики розташовані один проти одного, рекомендується інтервал  $XX$  відповідно до рис. 2.3.

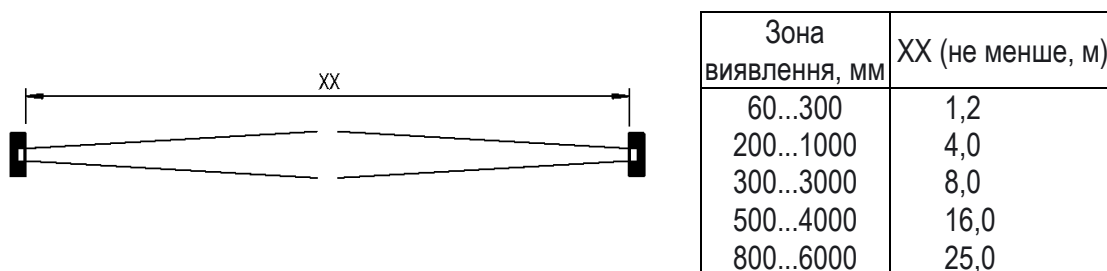


Рисунок 2.3 – Безпечна відстань між датчиками, розташованими один напроти одного

Синхронізація фаз приймання й передачі датчика при відомій відстані до об'єкта допомагає відбудуватися також і від перехресних перешкод. Додатковим засобом боротьби з перехресними перешкодами від безлічі датчиків є синхронізація роботи самих датчиків у паралельному або мультиплексному режимі. У паралельному режимі входи синхронізації всіх датчиків з'єднуються й управляються одночасно. У мультиплексному режимі датчики активізуються по черзі, за циклічним законом. У цьому режимі час циклу зондування дорівнює сумі часів циклів окремих датчиків (якщо датчики однотипні, час циклу просто зростає в стільки раз, скільки датчиків працюють у мультиплексному режимі).

Об'єкти, що виявляються ультразвуковими датчиками, можуть бути твердими, рідкими або порошковими. Характеристики поверхні об'єкта впливають на його, що відображає здатність і є важливими для обробки датчиком відбитого сигналу. Ідеальне відбиття забезпечують усі гладкі поверхні, розташовані під прямим кутом до ультразвукового конуса, що й мають площу, що перевершує деякий мінімум, зазначений у довідкових даних. Надійне виявлення можливе при розкиді кутів відбиття в межах  $\pm 3^\circ$ . Форма об'єкта не має значення. Важливо тільки, щоб площа поперечного переріза об'єкта, що попадає в зону реагування звукового конуса, була не менше зазначеної в технічних параметрах датчика.

Такі властивості матеріалу, як прозорість, колір або зовнішнє покриття поверхні (полірована або матова), не впливають на надійність і вірогідність виявлення.

Шорсткість поверхні, залежно від робочої частоти конкретного датчика, може

приводити до розсіювання відбитого сигналу. Практично застосовне наступне правило: якщо максимальна висота шорсткостей поверхні менше довжини хвилі звуку, відбиття буде переважно направленим. Якщо висота шорсткостей більше довжини хвилі звуку, відбиття буде переважно дифузійним (розсіяним). Деякі дані про залежність властивостей, що відбивають, поверхні від її шорсткості для типових частот ультразвукових датчиків фірми Per-Perl+Fuchs наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Властивості шорсткуватих поверхонь

Частота приймача (передавача), кГц	Ступінь шорсткості поверхні об'єкта, що дає «повністю направлене» відбиття	Ступінь шорсткості поверхні об'єкта, що дає «повністю дифузійне» відбиття
65	< 1	> 25
85 (90)	< 0.8	> 20
120 (130)	< 0.5	> 13
175	< 0.4	> 10
375	< 0,2	> 5

Слід урахувати, що перехід від направленого до дифузійного відбиття є плавним. Значення шорсткості між указаними в таблиці значеннями дають у результаті відбиття, що містять і дифузійне, і направлене відбиття. Частка дифузійного відбиття росте в міру росту шорсткостей. Наявність в об'єкта грубих шорсткуватих поверхонь приводить до скорочення зони реагування ультразвукового датчика. Значні ступені шорсткості допускають більші відхилення кута нахилу поверхні від ідеального положення, якщо дальність об'єкта така, що датчик реагує на дифузійну складову відбитого сигналу. У результаті, наприклад, рівень заповнення ємності крупно зернистими матеріалами можна контролювати при відхиленні поверхні до 45° від ідеального положення. Звичайно, датчик при цьому повинен бути розташований істотно ближче до об'єкта

На практиці ультразвуковими датчиками добре виявляються наступні об'єкти:

— гладкі й тверді предмети, встановлені під прямим кутом до звукового конуса;

- тверді шорсткуваті об'єкти, що викликають дифузійне відбиття, незалежно від орієнтації їх поверхні;
- поверхні рідких матеріалів, якщо вони відхиляються не більше ніж на  $3^\circ$  від перпендикуляра до осі звукового конуса.

Погано виявляються:

- матеріали, що поглинають ультразвукові хвилі — повсть, вата, вовна, грубі текстильні вироби, пінопласт;
- матеріали з температурою вище  $100^\circ\text{C}$ .

Для виявлення таких матеріалів необхідно застосовувати бар'єрні датчики (метод поглинання ультразвукового променя).

Основною причиною перешкод при використанні ультразвукових датчиків є впливи, що мішають, луна-сигналів від об'єктів поблизу датчика або несприятливі параметри об'єкта. У зв'язку із цим виробники приводять у каталозі детекторні характеристики для найбільш відповідальних датчиків. За допомогою детекторних характеристик (рис. 2.4) можливо оцінити, які об'єкти й у яких зонах можуть ініціювати сигнал виявлення.

Для вимірювання детекторних характеристик використовується набір еталонних об'єктів, що містяться у звуковому конусі під прямим кутом до променя. У набір входять наступні об'єкти:

- а) плоска пластина розміром  $700 \times 700$  мм (звичайно цей контур перекриває всю зону виявлення);
- б) плоска пластина  $100 \times 100$  мм (еталон для вимірювання паспортних технічних параметрів);
- в) пластикова трубка діаметром 160 мм, плакована повстю (стандартна «колоша»);
- г) дерев'яна деталь діаметром 25 мм (тестовий об'єкт для визначення диференціала ходу, під яким розуміється відстань між точками спрацьовування й відпускання датчика при зворотно-поступальному переміщенні деталі).





Рисунок 2.4 – Детекторна характеристика датчика UC6000-30GM-IU-V1

Для забезпечення належного функціонування датчика потрібно, щоб у межах зони виявлення не було сторонніх предметів. Об'єкт, який необхідно виявити, повинен перебувати в межах гарантованої зони виявлення, при цьому враховуються його форма, розміри й властивості поверхні.

Для достовірного виявлення об'єкта повинен бути забезпечений якісний відбитий сигнал на прийомній мембрані датчика, тому створення гарних умов відбиття від об'єкта суттєво поліпшує надійність функціонування всієї системи виявлення.

Ідеальна поверхня об'єкта повинна бути досить великою і плоскою. На умови відбиття, як уже говорилося, впливає нахил відбиваючої поверхні до осі звукового конуса (рис. 12).

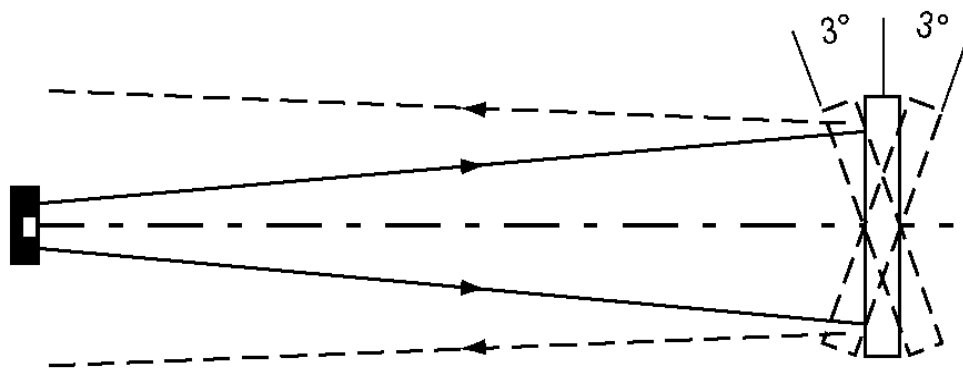


Рисунок 2.5 – Вплив нахилу поверхні на точність виявлення об'єкта

Припустимим рахується нахил не більше ніж на  $3^\circ$  до осі звукового конуса. Можуть виникати проблеми при роботі із круглими об'єктами й хвилеподібними поверхнями (наприклад, поверхня рідини при перемішуванні).

Гранульовані й сипучі матеріали також можна виявити ультразвуковими методами. Поверхня сипучих матеріалів не повинна мати ухил більш ніж  $45^\circ$  до осі звукового конуса. Розмір гранули (зерна) або шорсткість поверхні визначає величину дифузійної складової луна-сигналу, яка може бути виявлена датчиком. Проте дифузійна складова швидко слабшає при збільшенні відстані від датчика, що створює труднощі для надійного виявлення об'єкта.

Для забезпечення необхідного нахилу поверхні, що відбиває, до осі звукового конуса використовують системи відхилення променя, які будуються за допомогою набору відбивачів. Напрямок ультразвукового променя можна легко змінити шляхом відбиттів від елементарних дефлекторів, виконаних практично з будь-якого матеріалу (рис. 2.6).

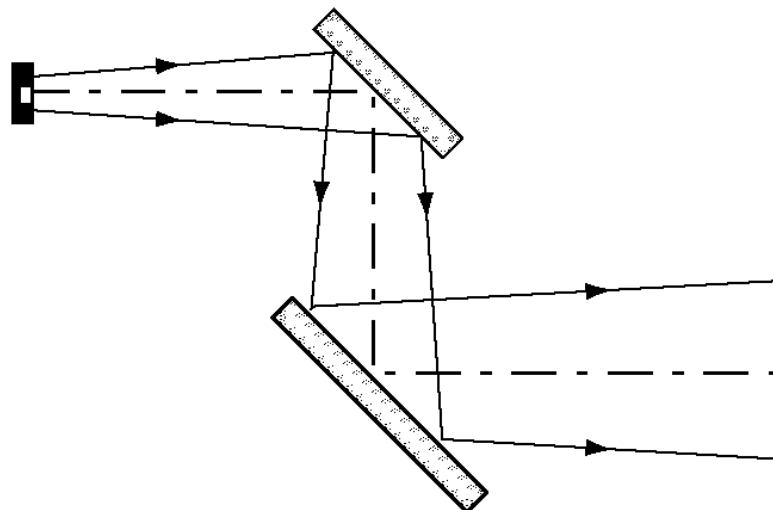


Рисунок 2.6 – Система з відхиленням променя

Перетин зони виявлення фактично не змінюється, якщо дефлектори мають достатні розміри й промінь відхиляється не більше двох раз. Дефлектори вимагають точної установки. У такий спосіб можна, наприклад, помістити датчик на відстані від агресивних середовищ або обійти зону, зайняту сторонніми предметами. Поставляються стандартні відхиляючі косинці для циліндричних ультразвукових датчиків, наприклад UVW90-K18, UVW90-K30.

## ВИСНОВКИ

У даній конкурсній роботі розглянуті основні принципи виявлення об'єктів і вимірювання відстані за допомогою ультразвукових датчиків (УЗД), а також деякі методи підвищення достовірності даних ультразвукових сповіщувачів та розширення їх функціональних можливостей. Освітлювалися також проблеми й рішення, що супроводжують застосуванню УЗД у реальних умовах, а саме:

- властивості реальних об'єктів локації;
- методи відбудування від перешкод;
- характеристики й еталони виявлення.

В результаті виконання конкурсної наукової роботи отримані наступні результати:

1. Всебічно досліджена безпроводна охоронно-пожежна сигналізація у складі трьох ультразвукових датчиків.
2. В результаті адаптації датчиків до рівня перешкод з використанням методу порогової обробки відносна похибка вимірювань відстані до охороняемого об'єкта може бути зменшена майже в 1,5 раз. Кількість хибних спрацювань сповіщувача при цьому зменшиться на 32%.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пожарные извещатели. Пожарная безопасность: Энциклопедия. М.: ФГУ ВНИИПО, 2007.
2. Ильинская Л. А. Элементы противопожарной автоматики . М.: Энергия, 1969
3. Литвак В. И. Автоматическая аварийная защита в системах управления. М.: Энергия, 1973
4. Автоматическая установка пожарной сигнализации. Пожарная безопасность. Энциклопедия. —М.: ФГУ ВНИИПО, 2007
5. Система обнаружения пожара. Пожарная безопасность. Энциклопедия. М.:ФГУ ВНИИПО, 2007.
6. ГОСТ 51086-97. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения.
7. Датчик SHARP-GP2Y0A710K0F. URL:  
<http://robocraft.ru/files/sensors/Sharp/GP2Y0A02YK0FGP2Y0A02YK0F.pdf>
8. Sensor SHARP-GP2Y0A710K0F. URL:  
<http://playground.arduino.cc/Main/SharpIR>
9. SHARP GP2Y0A02YK0F. URL: [http://zelectro.cc/SHARP\\_GP2Y0A02YK0F](http://zelectro.cc/SHARP_GP2Y0A02YK0F)
10. Ультразвуковой датчик. URL: <https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04>
11. Sensor HC-SR04. URL:  
<https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>
12. Ограничения HC-SR04. URL:  
<https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>
13. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification.  
URL:[https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050\\_V3%204.pdf](https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050_V3%204.pdf).
14. Инфракрасный дальномер. URL: <https://ru.coursera.org/lecture/roboty-arduino/3-2-infrakrasnyi-dal-nomier-06s8t>
15. Разработка и эксплуатация ультразвукового сенсора наполнения бака. URL:

<https://habr.com/post/313816/>

16. Ультразвуковой датчик расстояний. URL:

[http://www.alexeyk.com/ru/text/review\\_HCSR04\\_arduino.html](http://www.alexeyk.com/ru/text/review_HCSR04_arduino.html)

17. ИК-дальномеры SHARP. URL: <http://roboforum.ru/wiki>

18. Эксплуатация оптических дальномеров. URL:

[http://www.hvwtech.com/products\\_view.asp?ProductID=91](http://www.hvwtech.com/products_view.asp?ProductID=91).

19. Sensors 3, Ultrasonic Sensors, Edition 2002

(Part. No. 21882 06/02). — Mannheim: Pepperl+Fuchs, 2002.