

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ткач М.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2015 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 8.05020102 Комп'ютеризовані та робототехнічні системи

на тему: ”Методика синтезу алгоритмів адаптації рухомих об’єктів до умов
пересування та перешкод”

Виконала: студентка VI курсу, групи ІК-31м

_____ Лагутіна Руслана Ярославівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник _____ к.т.н. доц. Пархомей І.Р. _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант охорона праці _____ к.т.н. доц. Праховнік Н.А. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант нормоконтроль _____ к.т.н. доц. Пасько В.П. _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(підпис)

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

Студентка _____
(підпис)

Київ – 2015 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра технічної кібернетики

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Напрямок підготовки 6.050201 Системна інженерія

Спеціальність 8.05020102 Комп'ютеризовані та робототехнічні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ткач М.М.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2015 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентки
Лагутіної Руслани Ярославівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Методика синтезу алгоритмів адаптації рухомих об'єктів до умов пересування та перешкод

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Пархомей І.Р.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 10 » 03 2015 р. № 292/2С

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження управління рухомими об'єктами

4. Предмет дослідження моделі та алгоритми адаптації рухомих об'єктів в умовах пасивних радіоперешкод

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити існуючі системи управління щодо подолання радіоперешкод, розробити алгоритми адаптації до радіоперешкод, виконати його інтеграцію в систему управління, здійснити моделювання та оцінку ефективності запропонованої системи адаптації, розробити рекомендації щодо технічної реалізації.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу структурна схема системи управління, функціональна схема адаптивного компенсатора перешкод, блок-схема та структурна схема алгоритму, графіки відображення процесу у часі, амплітудно-частотна характеристика

7. Орієнтовний перелік публікацій Моделювання умов щодо дистанційного створення тимчасової області локальної електропровідності у неметалічних речовин / Пархомей І.Р., Лагутіна Р.Я. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». – 2013. – №1(22). – С.56-59; Обґрунтування можливостей визначення параметрів руху літаків зі штучно зменшеною площею віддзеркалення / Пархомей І.Р., Лагутіна Р.Я. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». – 2013. – №2(23). – С.48-53.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП та БНС	к.т.н., доц. Праховнік Н.А.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Пасько В.П.		

9. Дата видачі завдання 20.09.2013

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Дослідження предметної області	23.09 – 25.11.2013	
2.	Огляд існуючих систем управління рухомого об'єкту	26.11.2013 – 21.04.2014	
3.	Розробка методики синтезу алгоритмів адаптації до радіоперешкод	22.04.2014 – 15.09.2014	
4.	Моделювання системи адаптації в умовах радіоперешкод	16.09.2014 – 14.12.2014	
5.	Проведення досліджень. Обробка отриманих даних. Аналіз ефективності	02.02.2015 – 02.03.2015	
6.	Оформлення пояснювальної записки	03.03.2015 – 14.05.2015	
7.	Оформлення розділу з охорони праці	15.05 – 25.05.2015	
8.	Здача дипломної роботи	02.06 – 04.06.2015	

Студентка

(підпис)

Р.Я. Лагутіна
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

І.Р. Пархомей
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Загальний обсяг магістерської дисертації складає 110 сторінок, що містить 6 таблиць, 6 плакатів, 40 ілюстрацій, а також 52 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Робота присвячена питанням удосконаленню існуючих та розробці нових алгоритмів придушення пасивних радіолокаційних перешкод та дослідженню щодо їх можливої реалізації в системах управління рухомими об'єктами. Проведено аналіз впливу перешкод на характеристики системи управління рухомого об'єкту. Визначено, що для створення інформаційно-вимірювальних та управляючих систем мобільних роботів з дистанційними сенсорами ключовими моментами є розробка самих алгоритмів роботи окремих модулів, рішень принципових питань можливої реалізації способів обробки сенсорної інформації оцінка достатності отриманих даних для управління та навігації. Для адаптивної системи управління запропоновано встановлення процесора компенсації завад паралельно до системи управління, що дозволить зменшити рівень впливу пасивних перешкод при рішенні задач навігації. Для дистанційних сенсорів запропоновані алгоритми отримання максимуму інформації від сигналів. Було використано аналітичні, обчислювальні та експериментальні методи верифікації запропонованих рішень, а також висновок підтверджено даними комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: *адаптивні системи, мобільні роботи, радіолокація, пасивні перешкоди, адаптивні алгоритми.*

ABSTRACT

Full amount thesis is 110 pages and contains 40 figures, 6 tables, 6 posters and 52 bibliographic sources for references.

Work is devoted to the improvement of existing and development of new algorithms for passive radiolocation interference suppression and researching of their possible implementation in the control systems of moving objects. The analysis of the effect of interference on characteristics of control system. It was determined that for creation of information-measuring and control systems of mobile robots with remote sensors key elements are: to develop algorithms of working separate modules, solving the principal issues of realization methods of processing information from sensors, how to handle sensory assessment of the adequacy of the data for the control and navigation. For adaptive control systems proposed setting processor for noise compensation parallel to the control system that will allow to reduce the level of passive noise impact for solving problems of navigation. For remote sensors proposed algorithms of obtaining maximum information from the signals. Was used analytical, computational and experimental methods for verification proposed solutions, and conclusion confirmed by computer simulation.

Keywords: *adaptive systems, mobile robots, radiolocation, passive radiolocation interference, adaptive algorithms.*

Пояснювальна записка
до дипломної роботи

на тему: Методика синтезу алгоритмів адаптації рухомих об'єктів до умов пересування та перешкод

Київ – 2015 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ	13
1.1. Характерні особливості досліджуваних рухомих об'єктів.....	13
1.2. Аналіз сучасних дистанційних сенсорів мобільних об'єктів.....	18
1.2.1. Ультразвукові датчики	19
1.2.2. Інфрачервоні датчики	22
1.2.3. Лазерні вимірювачі дальності.....	23
1.2.4. Радіолокаційні пристрої	24
1.3. Класифікація радіоперешкод	26
Висновки до розділу	30
2. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ІСНУЮЧИХ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЩОДО ПОДОЛАННЯ РАДІОПЕРЕШКОД	32
2.1. Аналіз існуючих адаптивних систем	32
2.2. Аналіз способів адаптації до перешкод великої інтенсивності...	37
2.3. Можливі шляхи підвищення завадостійкості існуючих систем адаптації	48
Висновки до розділу	50
3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ АЛГОРИТМІВ АДАПТАЦІЇ ДО РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПЕРЕШКОД	52
3.1. Розробка методики синтезу адаптивних алгоритмів	52
3.2. Синтез адаптивних алгоритмів	62
Висновки до розділу	70

4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ АЛГОРИТМІВ АДАПТАЦІЇ.....	71
4.1. Моделювання та оцінка ефективності системи адаптації в умовах радіоперешкод високої інтенсивності	71
4.2. Рекомендації щодо технічної реалізації запропонованих алгоритмів	78
Висновки до розділу	83
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	84
Вступ до розділу.....	84
5.2. Загальна характеристика приміщення	84
5.2.1. Опис виробничого приміщення.....	84
5.2.2. Характеристика обладнання кожного робочого місця	86
5.2.3. Оцінка стану мікроклімату.....	86
5.3. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів.....	87
5.3.1. Освітлення	87
5.4. Інженерне рішення.....	88
5.4.1. Аналіз природного освітлення.....	88
5.4.2. Аналіз штучного освітлення	90
5.5. Аналіз випромінювань.....	90
5.6. Пожежна безпека.....	92
5.6.1. Категорія приміщення по вибухо-пожежній небезпеці.....	92
5.6.2. Система попередження пожеж	94
5.6.3. Система протипожежного захисту	94
5.6.4. Електробезпека.....	95
5.7. Безпека в надзвичайних ситуаціях	97

5.7.1. Оцінювання та прогнозування можливих наслідків під час аварії з вибухом	97
Висновки до розділу	104
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	106

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ДС – дистанційні сенсори

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ІВУС – інформаційно-вимірювальні та управляючі системи

МР – мобільні роботи

ОЗУ – оперативний запам'ятовуючий пристрій

ОПФ – обернене перетворення Фур'є

ПЗ – програмне забезпечення

РО – рухомі об'єкти

СТЗ – системи технічного зору

СУ – система управління

ЦОС – цифрова обробка сигналів

ЧПК – черезперіодна компенсатор

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

ВСТУП

У сучасному світі невід’ємною складовою науково-технічного прогресу є використання різноманітних автономних рухомих об’єктів у різних операційних середовищах. Такі об’єкти заходять своє застосування в космічних, авіаційних, наземних, надводних та підводних цілях, та здатні вирішувати широкий круг задач.

Одним із перспективних напрямків наукових досліджень є вивчення можливостей і шляхів вдосконалення адаптивних методів в галузі мобільної робототехніки.

Спільною особливістю мобільних роботів є використання дистанційних сенсорів, для яких характерні істотні затримки, перешкоди і спотворення, що вносяться середовищем[32]. Недосконалість використовуваних способів отримання інформації з сенсорних даних може призводити до помилок управління і втрат мобільних роботів в умовах надзвичайних ситуацій. Так, наприклад, при попаданні об’єкту в зону з поганою видимістю через задимлення, запиленість або відсутність джерел світла, дані від систем технічного зору стають недостовірними і виникає необхідність у використанні більш ефективних пристроїв, що залишаються працездатними в цих умовах.

Актуальним є вирішення проблем, пов’язаних не тільки з конструюванням інформаційно-вимірювальних і управляючих систем, але і з формуванням більш повних і адекватних моделей цих систем, а також з побудовою на їх базі програмних комплексів для виявлення інформаційних властивостей прийнятих сигналів[39]. Подальша реалізація побудованих алгоритмів обробки призводить до необхідності створення ефективного програмного забезпечення, у тому числі при використанні мікропроцесорної техніки, що забезпечує високу швидкодію.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів придушення пасивних радіолокаційних перешкод та дослідження щодо їх можливої реалізації в системах управління рухомими об'єктами, зокрема в інформаційно-вимірювальних системах мобільних роботів.

Для досягнення поставленої мети у магістерській роботі потрібно вирішити наступні завдання:

- аналіз можливостей існуючих адаптивних систем управління щодо подолання радіоперешкод;
- розробка методики синтезу алгоритмів адаптації до радіоперешкод великої інтенсивності;
- розробка рекомендацій щодо підвищення завадостійкості системи управління рухомого об'єкту;
- інтеграція радіолокаційних методів в системі управління рухомими об'єктами для вирішення задач навігації;
- оцінка ефективності синтезованої системи управління рухомими об'єктами.

Об'єкт дослідження. Управління рухомими об'єктами.

Предмет дослідження. Моделі та алгоритми адаптації рухомих об'єктів в умовах пасивних радіоперешкод великої інтенсивності.

1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ

1.1. Характерні особливості досліджуваних рухомих об'єктів

Протягом багатьох років автоматична навігація є дуже цікавою та складною областю досліджень. Існує чимало робіт присвячених вирішенню задач автономного руху мобільних об'єктів[31]. Серед таких задач одна із самих важливих – проблема виявлення оточуючих перешкод для попередження зіткнення. Для рішення цієї проблеми розроблені різні підходи, такі як стерео-бачення, системи супутникової навігації, радары, інфрачервоні датчики, ультразвукові датчики, лазери та різні поєднання перерахованих систем[32].

Автоматизовані рухомі об'єкти набувають все більшого значення у повсякденному житті людини. Серед таких пристроїв особливе місце займають мобільні роботи (МР). Вони досить різноманітні за умовами застосування і типам рухів. Якщо тип руху (колісний, гусеничний, крокуючий, підводний) не настільки сильно впливає на інформаційне забезпечення та алгоритми управління мобільних роботів при вирішенні локомоційних завдань, то умови експлуатації фактично ставлять інші завдання для створення ІВУС (рис.1.1) для них.

Робототехніка по суті залишається комплексною проблемою інформатики та програмування, теоретичної механіки та теорії управління. Застосування дистанційних сенсорів, як основи для створення ІВУС, тим більше виправдано, чим більшу невизначеність зовнішніх умов доводиться долати мобільним роботам. Тому для розробки відповідного інформаційного забезпечення велике значення має докладне дослідження умов роботи ДС і динамічних можливостей МР (рис.1.2)[39].

Вимушена відмова від СТЗ і переключення на альтернативні пристрої часто супроводжується роботою при недопустимо великому рівні спотворень та завад у вимірювальних каналах, до 60-85% недостовірних даних. В результаті з'являється необхідність розробки нових спеціальних методів і засобів логічної фільтрації перешкод, а також побудови систем управління, які забезпечують ефективне управління у вказаних умовах зашумленості.



Рис. 1.1. Інформаційно-вимірювальна та управляюча система для мобільних роботів з дистанційними сенсорами

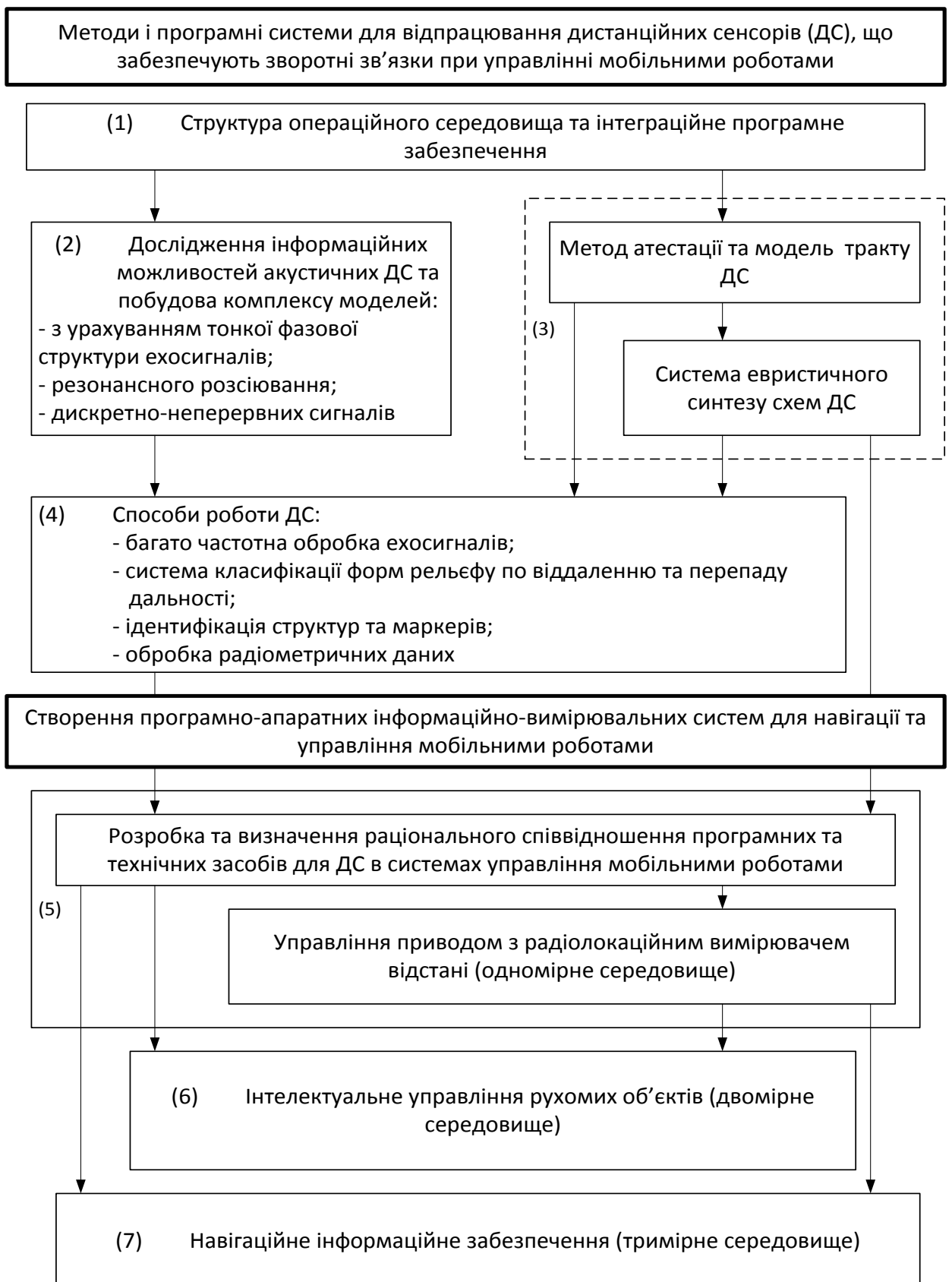


Рис. 1.2. Взаємозв'язок розробки інформаційно-вимірювальних та управляючих систем рухомих об'єктів з дистанційними сенсорами

Навігаційні та слідкуючі системи, що використовують дистанційні сенсори МР, працюють в умовах принципової відсутності інформації для побудови традиційних слідкуючих систем, котрі ідентифікують параметри мехатронних систем. У зв'язку з цим сучасні структурні схеми ІВУС передбачають логічні фільтри та роботу з шлейфами вимірювань[39].

Одною з головних цілей управління МР є локомоційна задача – переміщення в задану точку, обстеження території, мобільне патрулювання, супервізорне управління з можливістю автоматичного перемикання в автономний режим для забезпечення повернення при втраті зв'язку. Інформація про навколишнє середовище приходить через системи технічного зору(СТЗ) та локаційні датчики (рис.1.3). Ці сенсорні системи безпосередньо впливають на вирішення локомоційної задачі мобільним роботом, на відміну від пошукових сенсорних систем різних типів, які встановлюються на борт, в тому числі на змінних платформах.



Рис. 1.3. Класифікація систем відчуттів МР

Окрім основних джерел даних про навколишнє середовище від дистанційних сенсорів, в системах управління МР використовуються контактні датчики положення гусениць, лінійного або обертаючого приводу маніпуляторів та коліс (датчики внутрішнього положення робочих органів МР). Передбачається також наявність лінії передачі даних на віддалений

пульт супервізорного управління/спостереження[38]. Оператор визначає основну ціль руху об'єкту і може втрутитися в режим автоматичного управління робота, хоча при цьому суттєва частина обробки даних має проводитися на борту рухомого об'єкту. Саме таких склад засобів мобільних роботів дозволяє вирішувати спеціальні задачі[39].

Для локаційних систем важлива задача підвищення інформативності вимірювань, яка потребує побудови програмного забезпечення, яке виконує віднесення вимірів до більш вузьких секторів (рис.1.4) по результатам обробки показів сенсорів.



Рис. 1.4. Методи перетворення інформаційних сигналів в ДС

Застосування СТЗ для комплексного використання з локаційними датчиками передбачає достатньо точне співвіднесення координат на зображенні з координатами у просторі, при проведенні вимірів за допомогою СТЗ. Однак, параметри об'єктів, навіть якщо і доступні, абсолютно не достатні, так як ввід в ЕОМ вносить свої спотворення. Застосування СТЗ у поєднанні з локаційними датчиками може давати більш повну (в тому числі метрологічну) інформацію про форму, рельєф об'єктів зовнішнього середовища, необхідну для управління або ідентифікації орієнтирів.

Таким чином, основною проблемою мобільних роботів є підвищення інформативності сенсорів і інтелектуалізація управління в умовах невизначеності, створення нових зразків інформаційно-вимірювальних систем та відповідного програмного забезпечення, що реалізує управління та навігацію, підвищення живучості та забезпечення автоматичного управління, зниження навантаження на оператора при супервізорному управлінні.

Для створення ІВУС мобільних роботів з дистанційними сенсорами ключовими моментами є розробка самих алгоритмів роботи окремих модулів, рішень принципових питань можливої реалізації способів обробки сенсорної інформації оцінка достатності отриманих даних для управління та навігації, формування операційного середовища мобільних роботів. Для дистанційних сенсорів необхідно запропонувати алгоритми отримання максимуму інформації від сигналів[39].

1.2. Аналіз сучасних дистанційних сенсорів мобільних об'єктів

Сенсор, або датчик (sensor) – це самостійний конструктивно автономний засіб вимірювань, що розміщується в місці відбору інформації, яка виконує функцію первинного перетворювача вимірюваної величини в електричну або електромагнітну величину, складається з мінімально необхідного числа ланок перетворення вимірюваної величини, що володіє однозначною функцією перетворення і необхідними для даних цілей вимірювань взаємоузгодженими (несуперечливими) метрологічними даними та характеристиками надійності.

Сенсори є по суті нервовою системою робота і служать для забезпечення зворотного зв'язку між контролером і навколишнім світом[35].

Останнім часом у зв'язку із здешевленням електронних систем все частіше застосовуються датчики зі складною обробкою сигналів, можливостями налаштування і регулювання параметрів і стандартним інтерфейсом системи управління. Є певна тенденція розширювального

трактування та перенесення цього терміну на вимірювальні прилади, що з'явилися значно раніше масованого використання датчиків, а також за аналогією – на об'єкти іншої природи, наприклад, біологічні. Поняття датчика з практичної спрямованості та деталям технічної реалізації близько до понять вимірювальний інструмент і вимірювальний прилад, але показання цих приладів в основному читаються людиною, а датчики, як правило, використовуються в автоматичному режимі.

Вимоги, що пред'являються до датчиків[33]:

- однозначна залежність вихідної величини від вхідних;
- стабільність характеристик у часі;
- висока чутливість;
- малі розміри і маса;
- відсутність зворотного впливу на контрольований процес і на контрольований параметр;
- робота при різних умовах експлуатації.

Оскільки на поведінку автоматичної системи можуть мати вплив багато фізичних факторів, існує і безліч різних сенсорів здатних ці фактори фіксувати[32].

1.2.1. Ультразвукові датчики

Ультразвук – це пружні коливання та хвилі в діапазоні від 20 кГц до 1 ГГц. Ультразвукові хвилі відбиваються від різних перешкод набагато краще, чим звичайні звукові хвилі, що робить їх досить корисними на практиці.

До переваг ультразвукових вимірювачів відстані слід віднести[34]:

- низька ціна покупки;
- здатність вимірювати прозорі об'єкти, в тому числі поверхні води.

При цьому потрібно відзначити суттєві недоліки, які притаманні приладам, що працюють з використанням ультразвукової локації:

- дуже невеликий діапазон виміру (мінімальна дистанція становить 0,3м., а максимальна 20 м);
- дуже низька точність, яка визначається середовищем, в якому поширюється ультразвук (її характеристики та їх значення, в першу чергу щільності, не є постійними і можуть змінюватися в процесі проведення вимірювальних робіт);
- ультразвукові далекоміри працюють краще в порожніх кімнатах або на відкритому повітрі;
- обмежене використання в інженерних додатках.

Обмеження[34]:

- чим менше об'єкт, тим меншу відбиваючу поверхню він має. Це призводить до слабшого відбитому сигналу (рис. 1.5);

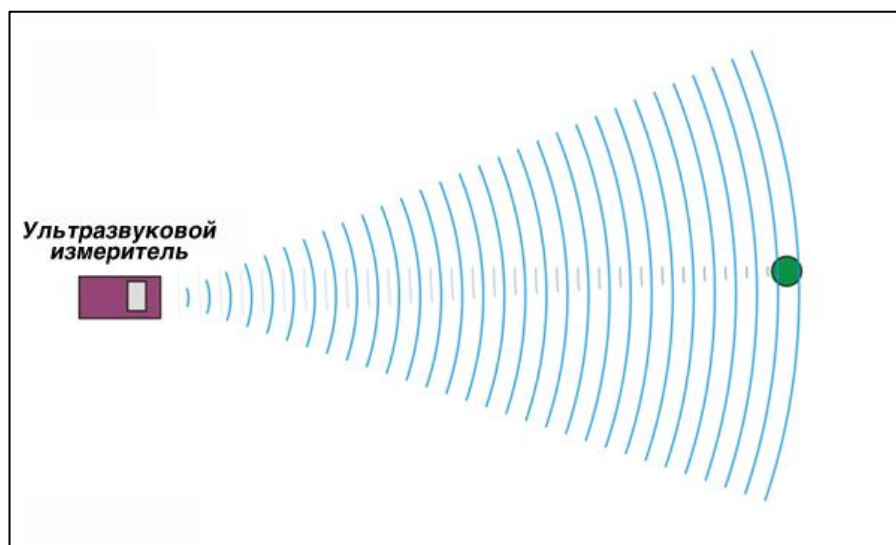


Рис. 1.5. Відображення від маленького об'єкта призводить до слабкого сигналу

- підвищенням частоти (зниженням довжини) випромінюваної хвилі можна збільшувати чутливість приладу до більш дрібних об'єктів;
- вимірювання об'єктів із звукопоглинальних, ізоляційних матеріалів або тих, що мають тканинну (вовняну) поверхню можуть призвести до неправильних вимірів внаслідок поглинання (ослаблення) сигналу;

- часткові відображення, або як їх називають паразитний луно-сигнал (рис.1.6), можуть спотворити результати вимірювань (причиною можуть стати криволінійні або похилі по відношенню до напрямку випромінювання сигналу поверхні);
- при високій вологості (дощ, сніг) сигнал також може частково відбиватися від крапель (сніжинок), що призводить до паразитного луно-сигналу;

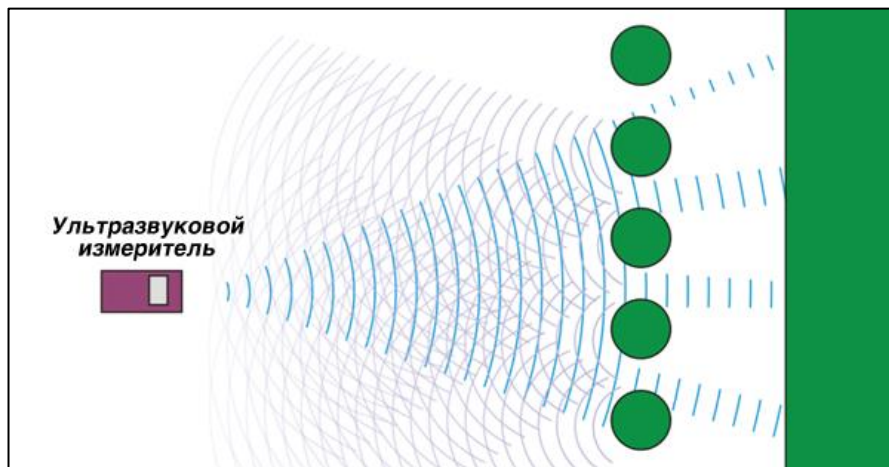


Рис. 1.6. Паразитний луно-сигнал

- сильний вітер може вплинути на поширення хвиль (буквально «здути»), що також призводить до помилки вимірювань.

Знаючи обмеження, пов'язані з фізичною природою ультразвуку можна вирішити підходить цей тип далекоміра для конкретного завдання або ж ні[34].

Ультразвукові характеризуються великим часом відгуку – порядку десятої частки секунди, і, якщо МР знаходиться на великому та відкритому просторі, це не дозволяє йому пересуватися швидко. Швидкість звуку в різних умовах також може змінюватися, впливаючи на точність оцінки відстані, в результаті спотворюється загальна картина навколишнього середовища.

1.2.2. Інфрачервоні датчики

В основі оптичних далекомірів для коротких відстаней (до сотень метрів) лежить підхід, званий тріангуляцією (рис.1.7). Інфрачервоний світлодіод через лінзу, яка фокусує, випромінює дуже вузький пучок світла. Відбите від перешкоди світло потрапляє на приймач, що представляє собою CCD матрицю. На основі аналізу зображення CCD матриці вбудований контролер розраховує кут нахилу прийнятого променя, і за допомогою нехитрих тригонометричних виразів для прямокутного трикутника обчислює відстань до перешкоди[35].

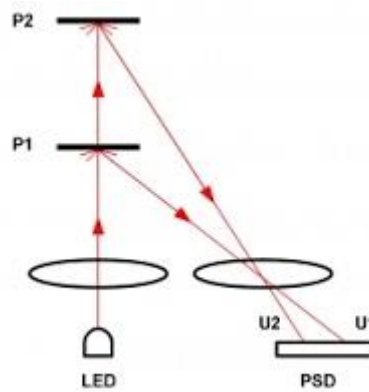


Рис. 1.7. Тріангуляційний метод вимірювань

Для позбавлення від можливих перешкод, сенсори випромінюють інфрачервоний сигнал з модульованим частотою. Це дозволяє практично повністю застрахуватися від перешкод від навколишнього світу. Крім того, датчики показують майже повну байдужість до кольору об'єкта виявлення (датчик здатний виявляти чорні стіни при сонячному світлі).

Завдяки використанню вузько спрямованого променя оптичні далекоміри можуть використовуватися для сканування поверхонь і цілих предметів, з досить високою роздільною здатністю.

Недоліки[35]:

- можуть спотворюватись результати при вимірюванні по дотичній;

- при вимірюванні поверхонь, де відбувається різка зміна кута (виступи, кути та ін.) також є спотворення результату;
- є кілька кутових напрямків, де спотворення помітно сильніше, ніж в інших напрямках.

1.2.3. Лазерні вимірювачі дальності

Слід зауважити, що в оптичному далекомірі на основі тріангуляції в якості випромінювача часто використовується лазер. Такий модуль теж може називатися лазерним далекоміром.

Для оцінки великих відстаней застосовуються лазерні далекоміри, робота яких аналогічна роботі ультразвукових ехолотів. Замість звуку, в цьому типі далекомірів використовує відбитий від перешкоди лазерний промінь.

За допомогою лазерних далекомірів можливо отримати образ середовища тільки в зоні прямої видимості. Крім того, на шляху променя часто виникають дрібні завади, що вносять похибку в такий образ. Створення тривимірних карт за допомогою лазерів в масштабі реального часу ще більш складно і, як мінімум, потребує суттєвих обчислювальних можливостей.

Переваги лазерних далекомірів[36]:

- дуже висока точність;
- дуже великий діапазон, підходячи до застосування більш ніж на 1000 м (імпульсні далекоміри);
- висока надійність вимірювань у важкодоступній місцевості і перешкодах;
- висока ефективність вимірювання для сигналу відображають об'єктів під великим кутом;
- швидкість роботи – лазерний далекомір вимірює пульс обладнання в декількох метрах приблизно 1 с;
- видно пляму лазера, який є індикатором і полегшує прицілювання;

- інтеграція вимірювання і розрахунку;
- низьке енергоспоживання.

Недоліки лазерних далекомірів[36]:

- відносно низька точність імпульсних далекомірів
- відсутність вимірювання для прозорих об'єктів
- значна чутливість роботи під прямими сонячними променями.

1.2.4. Радіолокаційні пристрої

Первинний (пасивний) радіолокатор, в основному, служить для виявлення цілей, висвітлюючи їх електромагнітної хвилею і потім приймаючи відбиття (луна) цієї хвилі від цілі. Оскільки швидкість електромагнітних хвиль постійна (швидкість світла), стає можливим визначити відстань до цілі, ґрунтуючись на вимірюванні різних параметрів поширення сигналу.

В основі пристрою радіолокаційної станції лежать три компоненти: передавач, антена і приймач.

Передавач (передавальний пристрій) є джерелом електромагнітного сигналу високої потужності. Він може являти собою потужний імпульсний генератор. Антена виконує фокусування сигналу передавача і формування діаграми спрямованості, а також прийом відбитого від цілі сигналу і передачу цього сигналу в приймач. Приймач (приймальний пристрій) виконує посилення і обробку прийнятого сигналу[23].

Різні РЛС засновані на різних методах вимірювання відбитого сигналу[37]:

1) Частотний метод вимірювання дальності заснований на використанні частотної модуляції випромінюваних безперервних сигналів.

Переваги[37]:

- дозволяє вимірювати дуже малі дальності;
- використовується малопотужний передавач.

Недоліки[37]:

- необхідне використання двох антен;
- погіршення чутливості приймача внаслідок просочування через антену в приймальний тракт випромінювання передавача, підданого випадковим змін;
- високі вимоги до лінійності зміни частоти.

2) Фазовий (когерентний) метод радіолокації заснований на виділенні і аналізі різниці фаз відправленого і відбитого сигналів, яка виникає через ефект Доплера, коли сигнал відбивається від рухомого об'єкту. При цьому передавальний пристрій може працювати як безперервно, так і в імпульсному режимі. Основною перевагою даного методу є те, що він «дозволяє спостерігати тільки рухомі об'єкти, а це виключає перешкоди від нерухомих предметів, розташованих між приймальні апаратурою і ціллю або за нею».

Так як при цьому використовуються ультракороткі хвилі, то однозначний діапазон виміру дальності складає порядку одиниць метра. Тому на практиці використовують більш складні схеми, в яких присутня дві і більше частот.

Переваги[37]:

- малопотужне випромінювання, так як генеруються незгасаючі коливання;
- точність не залежить від доплерівського зсуву частоти відображення;
- досить простий пристрій.

Недоліки[37]:

- відсутність дозволу по дальності;
- погіршення чутливості приймача внаслідок проникнення через антену в приймальний тракт випромінювання передавача, підданого випадковим змінам.

3) Імпульсний метод

Сучасні радары супроводу побудовані як імпульсні радары. Імпульсний радар передає випромінюючий сигнал тільки протягом дуже короткого часу, коротким імпульсом (зазвичай приблизно мікросекунда), після чого переходить в режим прийому.

Переваги імпульсного методу вимірювання дальності[37]:

- можливість побудови РЛС з одного антеною;
- простота індикаторного пристрою;
- зручність вимірювання дальності кількох цілей;
- простота випромінюваних імпульсів, що тривають дуже малий час, і прийнятих сигналів.

Недоліки[37]:

- необхідність використання великих імпульсних потужностей передавача;
- неможливість вимірювання малих відстаней;
- велика мертва зона.

1.3. Класифікація радіоперешкод

Радіоперешкоди можуть впливати на різні інформаційні системи, які можна класифікувати в залежності від їхнього призначення: радіозв'язок, радіолокація, акустика, оптика, сейсмологія та інші[23].

Очевидно, що основні моделі сигналів і перешкод, характерні для адаптивних радіолокаційних систем і систем радіозв'язку, істотно відрізняються один від одного.

Проведемо класифікацію радіолокаційних перешкод (рис.1.8).

Радіолокаційні перешкоди поділяються: за походженням – на навмисні та природні; за способом виникнення – на активні та пасивні; за характером впливу – ті, що маскують та ті, що імітують; за їхніми джерелами – від спеціальних передатчиків та від пасивних відбивачів; за структурою –

неперервні та імпульсні; за можливостями селекції – прицільні та загороджувальні; за взаємним розміщенням джерела перешкод та захищеного ним об'єкту – суміщені та не суміщені та інше.

І навмисні, і природні перешкоди поділяються на активні, які створюються первинним або відповідним випромінюванням, та пасивні, які виникають внаслідок небажаного відбиття електромагнітних хвиль. Активні навмисні перешкоди надходять від спеціальних передатчиків неперервного або імпульсного випромінювання, а активні природні перешкоди – від РЛС, що працюють на суміжних хвилях, та від природніх джерел шумового випромінювання – Сонця, космічних об'єктів, атмосфери та земної поверхні.

Пасивні навмисні та природні перешкоди створюються відбивачами, але в першому випадку відбивачі штучні, наприклад дипольні відбивачі, а у другому – природні, наприклад місцеві предмети.

Найбільшим різноманіттям відрізняються навмисні активні перешкоди. З них до неперервних відносяться не модульовані та модульовані регулярним сигналом або шумом, а до імпульсних – синхронні, якщо частота слідування імпульсів така ж, як в РЛС, що подавляється, і несинхронні, якщо частота інша або довільно змінюється.

Приймаючий пристрій будь-якої РЛС володіє селективністю по одному або декількох параметрах: полосі пропускання частот, поляризації хвиль та інше. Активні перешкоди називаються прицільними, якщо вони розраховані на придушення однієї РЛС або декількох з однаковою селективністю, та загороджувальними, якщо вони здатні протидіяти групі РЛС, що відрізняються за селективністю, наприклад, своїми несучими частотами.

Поділ перешкод на ті, що маскують та ті, що імітують означає, що перші маскують корисний сигнал, а другі імітують неіснуючі цілі. Зрештою, якщо передатчик перешкод та об'єкт, що захищений цим передатчиком, знаходяться разом, то перешкода називається суміщеною, а якщо об'єкт та джерело перешкод рознесені в просторі – то не суміщеною[24].

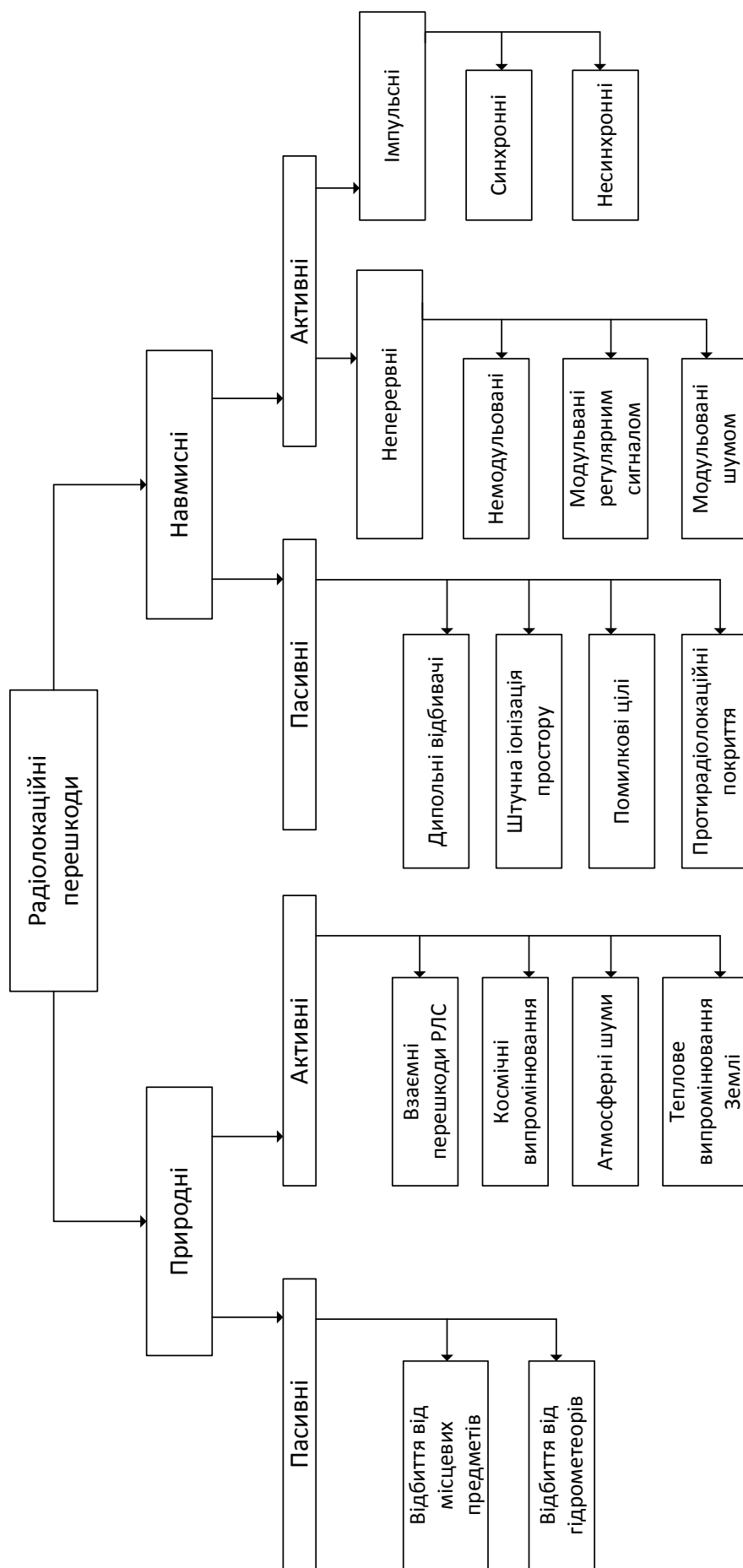


Рис. 1.8. Класифікація радіолокаційних перешкод

Джерелами пасивної завади є різного роду неоднорідності, наявні на шляху поширення зондуємого сигналу. Залежно від джерела утворення розрізняють природні та штучні пасивні перешкоди. Природні перешкоди пов'язані за своїм походженням з відбиттям хвиль від місцевих предметів, гідрометеорів (дощу, снігу, хмар) і від земної та водної поверхонь. Причиною перешкод можуть бути також аномально великі градієнти поля температур в різних шарах атмосфери. Ці перешкоди такі, що маскують, їх інтенсивність може бути досить значною, у зв'язку з цим захисту РЛС від пасивних перешкод надається велике значення[28].

Маскуючий фон пасивних перешкод має випадковий характер і, як правило, набагато (на кілька порядків) перевищує корисний сигнал. При цьому радіолокаційний контраст цілі настільки малий, що виділити її прямим шляхом неможливо[24].

Штучні пасивні перешкоди утворюються електромагнітними хвилями, розсіяними дипольними, кутовими і лінзовими радіовідбивачами, відбиваючими антенними решітками, іонізованими середовищами та аерозольними хмарами. Постановка штучних перешкод у вигляді дипольних відбивачів здійснюється, як правило, з літака або іншого літального апарату. Скинуті пачки радіо відбивачів розсіюються в просторі. В результаті утворюється хмара відбивачів, розміри якої значно перевищують роздільну здатність РЛС. При великій концентрації відбивачів рівень пасивної завади на вході приймача РЛС істотно більше рівня сигналу, що надходить від цілі. Аналогічна ситуація виникає при виявленні низько літаючих цілей. Рівень пасивних перешкод, обумовлений відображеннями від підстильної поверхні, може перевищувати рівень сигналу більш ніж на 100дБ.

Особливість пасивної завади полягає в тому, що вона створюється за рахунок зондуємого сигналу і для точкового відбивача зберігає його форму. Тому підвищення енергетичного потенціалу РЛС не змінює відношення сигнал/пасивна перешкода. Прямий шлях поліпшення спостереження цілі на

фоні пасивних перешкод полягає у зменшенні дозволеного обсягу РЛС шляхом збільшення ширини спектру сигналу та підвищення спрямованих властивостей антени РЛС. При цьому середня потужність пасивної завади зменшується, а потужність сигналу, відбитого від точкової мети, залишається незмінною. Даний метод боротьби з пасивними перешкодами вельми ефективний, але його важко реалізувати з тактичних (час огляду) і конструктивних міркувань. Тому найбільш широко для боротьби з пасивними перешкодами використовуються методи селекції, засновані на апіорно відомих відмінностях між корисним сигналом і пасивної перешкодою[28].

Перешкоду, обумовлену хаотичними відображеннями від елементарних відбивачів, можна розглядати як стаціонарний випадковий процес нормального (гауссівського) типу. Нормальний характер перешкоди пояснюється тим, що вона є суперпозицією великого числа незалежних доданків, обумовлених відображеннями від окремих відбивачів або їх груп.

Спектр пасивної завади являє суму енергетичних спектрів окремих відбивачів і має таку ж форму, що і спектр одиночного відбивача. Випадковий рух елементарних відбивачів призводить до розширення спектра, пропорційному дисперсії швидкостей елементарних відбивачів. Розширення спектру відбувається також за рахунок сканування діаграми спрямованості антени РЛС. Таким чином, форми спектрів корисного сигналу і пасивної завади визначаються спектром зондуючого сигналу. Розрізняються ці спектри, в основному, доплерівським зміщенням середніх частот спектрів[24].

Висновки до розділу

1) Проведено аналіз особливостей досліджуваних рухомих об'єктів, визначено, що однією із головних задач для них є локомоції на задачу, і при цьому якість виконання цієї задачі мобільними об'єктами в значній мірі

залежить від засобів локації, які дозволяють визначати просторові координати та швидкість цілі, а також відстані до неї.

2) Проведено порівняльний аналіз найпопулярніших вимірювачів дальності, розглянуто переваги та недоліки кожного з них. З чого можна зробити висновок, що не існує однаково ідеального рішення для всіх середовищ. І для того, щоб працювати в наперед не визначених умовах необхідно встановити на борту рухомого об'єкту декілька видів сенсорів, щоб запобігти повній втраті контролю і як наслідок втраті об'єкту.

3) Визначено, що для створення ІВУС мобільних роботів з дистанційними сенсорами ключовими моментами є розробка самих алгоритмів роботи окремих модулів, рішень принципових питань можливої реалізації способів обробки сенсорної інформації оцінка достатності отриманих даних для управління та навігації, формування операційного середовища мобільних роботів. Для дистанційних сенсорів необхідно запропонувати алгоритми отримання максимуму інформації від сигналів.

4) Вирішено приділити увагу у подальших розділах дослідженню саме радіолокаційних пристроїв, оскільки раніше вони майже не розглядалися як сенсори для встановлення на борту мобільних роботів, оскільки були досить громіздкими та мали високу вартість і були доступні здебільшого в авіації. Проте технологічних процес та мініатюризація цих засобів дозволить без проблем встановлювати їх на досить невеликих рухомих об'єктах, тому актуальним буде розглянути основні перешкоди, що можуть зустрічатися при використанні радарів.

5) Здійснено класифікацію основних радіоперешкод та визначено, що на відкритій місцевості найбільшого впливу на якість прийнятих сигналів можуть мати пасивні перешкоди. Вони пов'язані за своїм походженням з відбиттям хвиль від місцевих предметів, гідрометеорів (дощу, снігу, хмар) і від земної та водної поверхонь. Вирішено розглянути детальніше боротьбу саме з цим видом радіоперешкод.

2. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ІСНУЮЧИХ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЩОДО ПОДОЛАННЯ РАДІОПЕРЕШКОД

2.1. Аналіз існуючих адаптивних систем

Система управління забезпечує управління рухом і роботою технологічного устаткування, а також адаптивне управління ходовою частиною та енергетичною установкою з урахуванням взаємодії транспортної системи з навколишнім середовищем[29].

Система управління включає в себе інформаційно-керуючу частину (апаратура управління роботом, датчики, система технічного зору та мікропроцесори попередньої обробки інформації), розташовану на мобільному роботі; пост оператора мобільного робота (пульт управління, пристрої для переглядання відеоінформації; ЕОМ для обробки даних) і комплект приймально-передавальної апаратури, що забезпечує передачу інформації від робота на пост оператора і керуючих команд від поста оператора на мобільний робот (рис.2.1).

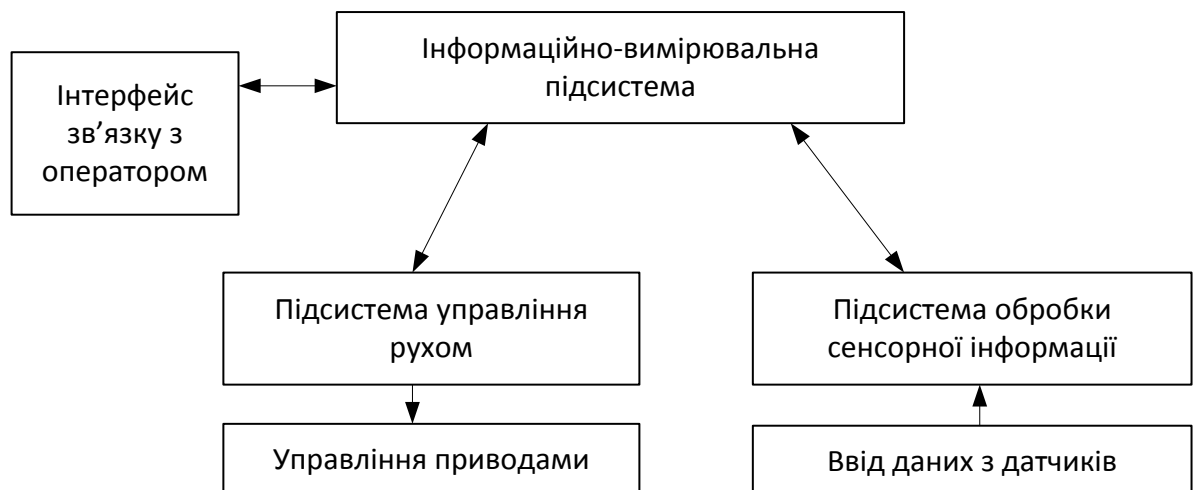


Рис. 2.1. Загальна структура системи управління

Система управління рухом повинна також забезпечувати планування руху в недетермінованих умовах на основі картографічної бази з урахуванням

безперервного надходження інформації в систему управління від технічних органів почуттів і навігаційної системи.

Складність системи управління визначається складністю розв'язуваної задачі, ступенем невизначеності зовнішнього середовища і необхідної ступенем автономності робота.

Саме розвиток систем управління визначає розвиток робототехнічних комплексів в цілому, і це, зокрема, лягло в основу класифікації мобільних роботів по поколінням. В загальному випадку системи управління містять три рівні управління: верхній (стратегічний), середній (тактичний) і нижній (виконавчий), які мають вбудовані механізми адаптації, що працюють на основі оцінки якості реалізації планів різного рівня в реальному фізичному світі. Організація взаємодії рівнів управління повинна дозволяти приймати рішення на тому рівні, який в даний момент володіє найбільш достовірною інформацією, без передачі управління на більш високий рівень.

Адаптація (пристосування до зовнішніх умов) передбачає зміну структури і параметрів пристрою, щоб він в умовах дії перешкод будь-якого виду виконував свої функції найкращим чином. В даний час проблема адаптації радіотехнічних засобів при врахуванні дії на них спеціально організованих радіоперешкод ще далека від свого вирішення, але посилено вивчається. Уже є деякі рекомендації, що впливають з теоретичних досліджень і спрямовані на поліпшення окремих елементів, що входять до складу радіолокаційних вимірників координат, командних радіоліній управління, систем радіозв'язку і тому подібне.

Адаптивний автомат представляє собою систему, структура якої змінюється або пристосовується таким чином, щоб його поведінка або функціонування покращувалось (у відповідності з деяким підходящим критерієм) у результаті взаємодії з навколишнім середовищем. Простим прикладом автомату для автоматичної адаптивної системи є автоматичне регулювання підсилення (АРП), що застосовується в радіо- та телевізійних

приймачах. Функція цієї системи – зменшення чуттєвості приймача при збільшенні середнього рівня вхідного сигналу. Таким чином, приймач може адаптуватися до широкого діапазону рівнів вхідних сигналів і формувати значно більш вузький діапазон рівнів вихідних сигналів[17].

Адаптивні системи управління володіють деякими або всіма перерахованими нижче властивостями:

- 1) Вони можуть адаптуватися (самооптимізуватися) при зміні (нестационарній) умов навколишнього середовища і вимог до системи.
- 2) Вони можуть навчатися для здійснення заданого виду фільтрації та виконання задачі прийняття рішення. Системи з такими властивостями можна автоматично синтезувати через навчання. Адаптивні системи можна в деякому сенсі «запрограмувати» процесом навчання.
- 3) Вони не потребують детально розроблених методів синтезу, які зазвичай необхідні для не адаптивних систем. Їх навпаки можна вважати здатними до самоорганізації.
- 4) Вони можуть екстраполювати модель поведінки для функціонування в нових умовах після навчання на кінцевому і часто невеликому числі навчаючих сигналів або ситуацій.
- 5) Вони можуть в деякій мірі відновлюватися, тобто адаптуватися до визначених внутрішніх дефектів.
- 6) Їх можна розглядати як нелінійні системи зі змінними у часі параметрами.
- 7) Їх складніше аналізувати, чим не адаптивні системи, але вони дозволяють значно збільшити область функціонування системи, тоді параметри вхідного сигналу не відомі або змінюються у часі.

Основною властивістю адаптивної системи є змінне у часі функціонування з саморегулюванням. Необхідність такого функціонування очевидна з наступних міркувань. Якщо розробник проектує «незмінну» систему, яку він вважає оптимальною, то це означає, що розробник

передбачає всі можливі умови на її вході, по меншій мірі в статистичному змісті, і розраховує, що система буде працювати при кожній з цих умов. Далі розробник обирає критерій, за яким має оцінюватися функціонування, наприклад, середнє число помилок між вихідним сигналом реальної системи та вихідним сигналом деякої обраної моделі або «ідеальної» системи. Нарешті, розробник обирає систему, яка виявляється кращою у відповідності з встановленим критерієм функціонування, зазвичай з деякого апріорно обмеженого класу (наприклад, з класу лінійних систем).

Проте в багатьох випадках весь діапазон вхідних умов може бути не відомим точно навіть в статистичному змісті або умови можуть час від часу змінюватися. Тоді адаптивна система, яка використовує регулярний процес пошуку, постійно шукає оптимум в границях допустимого класу можливостей, має переваги у порівнянні з незмінною системою.

Адаптивні системи по своїй природі мають бути змінними у часі і нелінійними. Їхні властивості залежать, окрім всього іншого, від вхідних сигналів. Якщо на вхід подається сигнал x_1 , то адаптивна система налаштується на нього і сформує вихідний сигнал – назвемо його y_1 . Якщо на вхід подається другий сигнал x_2 , то система налаштовується на цей другий сигнал і знову формує вихідний сигнал – назвемо його y_2 . В загальному випадку структура і процеси корекції адаптивної системи будуть різними для двох різних вхідних сигналів. Якщо на вхід адаптивної системи подається сума двох сигналів, то вона налаштовується на цей новий вхідний сигнал, в загальному випадку не рівний сумі вихідних сигналів $y_1 + y_2$, які відповідали б вхідним сигналам x_1 , x_2 . В цьому випадку, як показано на рис.2.2, не виконується принцип суперпозиції, який має місце в лінійних системах.

Якщо сигнал подається на вхід адаптивної системи для визначення властивостей по її відгуку, то система адаптується до цього визначеного вхідного сигналу і тим самим змінює власну структуру. Таким чином, адаптивні системи по суті важко описати в звичайних представленнях[17].

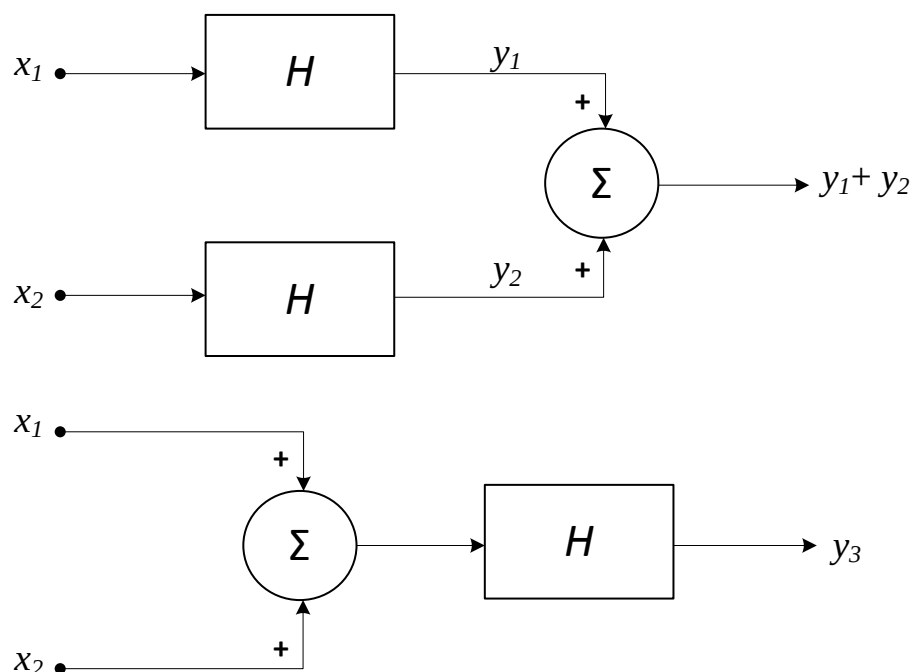


Рис. 2.2. Процеси корекції адаптивної системи

Не можна сказати, що адаптивні системи належать до абсолютно чітких підмножин нелінійних систем. Однак притаманні їм дві особливості в загальному випадку відрізняють їх від інших видів нелінійних систем. По-перше, адаптивні системи є регульованими, і процеси їх регулювання залежать від усереднених в обмеженому інтервалі часу характеристик сигналу, а не від моментального значення сигналів або моментальних значень внутрішніх станів системи. По-друге, процеси регулювання адаптивних систем цілеспрямовано змінюються для того, щоб оптимізувати задані параметри функціонування.

Деякі види адаптивних систем стають лінійними системами, якщо їхня структура після адаптації залишається постійною. Їх можна назвати лінійними адаптивними системами, описати математично і в загальному випадку легше розробляти, чим інші види адаптивних систем[17].

Так, добре відома система автоматичного регулювання шумів (САРШ) здійснює адаптацію приймача, підтримуючи на його виході незмінним рівень помилкової тривоги при дії широкосмугових шумових завад.

Іншим прикладом адаптивної системи є антена радіолокаційного вимірювального кути пристрою з самоналаштуванням його діаграми спрямованості. Можливі також автоматичні регулювання інтервалу квантування повідомлень, що передаються, за рівнем, коефіцієнтів передачі вимірників і командних радіоліній управління в залежності від інтенсивності діючих перешкод.

2.2. Аналіз способів адаптації до перешкод великої інтенсивності

Умовно, алгоритми виявлення радіолокаційних цілей на тлі пасивних перешкод можна класифікувати по ефективності і обчислювальним затратам, пов'язаних з практичною реалізацією алгоритмів виявлення.

Часто доводиться йти на компроміс, вибираючи алгоритм виявлення, роботу якого можна забезпечити на наявній елементній базі в режимі реального часу.

Так був реалізований алгоритм виявлення з черезперіодною компенсацією, ефективність якого є невисокою порівняно з іншими алгоритмами виявлення. Але, на елементній базі того часу випуску, з усіх алгоритмів виявлення, практична реалізація яких була можлива, алгоритм виявлення з черезперіодною компенсацією володів прийнятною ефективністю[18].

У зв'язку з прогресом в області цифрової обробки сигналів представляється можливим реалізація на сучасній елементній базі алгоритмів виявлення, ефективність яких можна порівняти з ефективністю теоретично оптимальних алгоритмів виявлення, що дозволить поліпшити завадостійкість радарів.

Розглянемо існуючі алгоритми виявлення, які можна розділити на алгоритми, що використовують статистичні відмінності цілей і пасивних перешкод, і алгоритми, які використовують спектральні відмінності цілей і перешкод (фільтрові).

Математичною основою першої групи алгоритмів виявлення є розроблена теорія виявлення сигналів на тлі перешкод, що розташовує методами аналізу та синтезу оптимальних алгоритмів виявлення.

При синтезі алгоритмів виявлення необхідно володіти апіорною інформацією про сигнал, заваду і шуми.

Якщо розробник РЛС має повну апіорну інформацію про сигнал і перешкоди, синтез оптимального алгоритму виявлення не викликає складнощів. Однак, на практиці, розробник стикається з наступними проблемами:

- невідома доплерівська частота відбитого сигналу;
- невідома кореляційна матриця перешкоди, що унеможлиблює синтез оптимального алгоритму виявлення[41].

Черезперіодна компенсація пасивних перешкод

В імпульсних РЛС відбитий від цілі сигнал являє пачку імпульсів з несучою частотою, рівною $f_0 \pm F_d$, де f_0 – несуча частота зонduючого сигналу, F_d – доплерівський зсув частоти. Спектр такого сигналу має гребінчасту форму (рис.2.3). Спектр пасивної завади відрізняється величиною доплерівського зсуву і шириною «зубця» гребінки. Для виділення сигналу на фоні пасивної перешкоди можна використовувати гребінчасті фільтри з зонами резекції, відповідними «зубців» спектра пасивної завади[18].

Реалізація таких фільтрів на радіочастотах зустрічає значні труднощі, тому резекції пасивної завади зазвичай проводять на відеочастоті. Для переносу спектрів сигналу і перешкоди в область відеочастот використовується фазовий детектор, на один вхід якого подається сигнал, що приймається, а на іншій – опорне коливання, частота і фаза якого жорстко пов'язані з зонduючим сигналом. Залежно від способу отримання опорного коливання розрізняють РЛС з істинною внутрішньою когерентністю, псевдокогерентні РЛС і РЛС із зовнішньою когерентністю. У РЛС із істинною

внутрішньої когерентністю (рис.2.4) коливання когерентного гетеродина використовуються для формування зондуєчого сигналу і як опорної напруги.

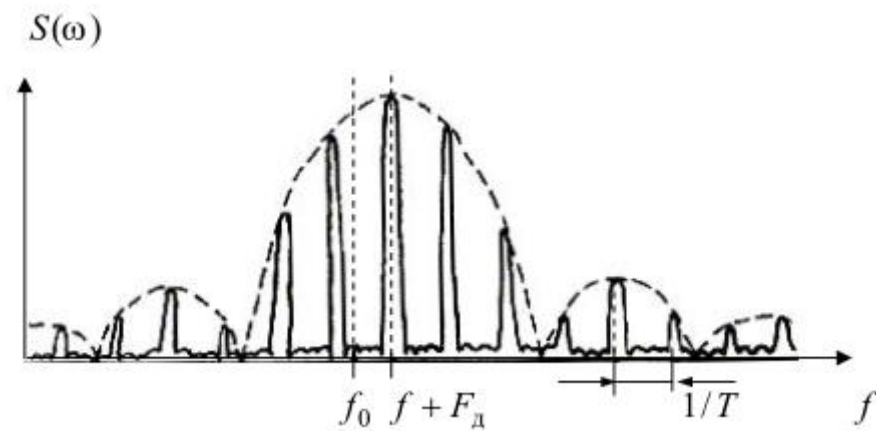


Рис. 2.3. Спектр відбитого від цілі сигналу

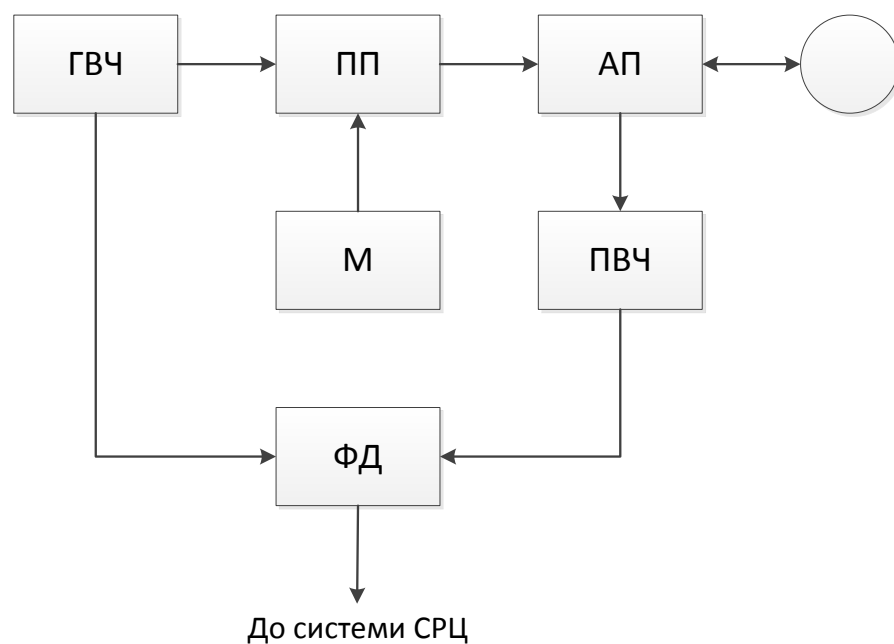


Рис. 2.4. Структурна схема РЛС з істинною внутрішньою когерентністю

ГВЧ – генератор високої частоти (когерентний гетеродин)

ПП – підсилювач потужності

М – модулятор

АП – антенний перемикач

ПВЧ – підсилювач високої частоти

ФД – фазовий детектор

В псевдокогерентній РЛС (рис.2.5) опорна напруга формується шляхом періодичної прив'язки фази когерентного гетеродина до фази зонduючого сигналу[18].

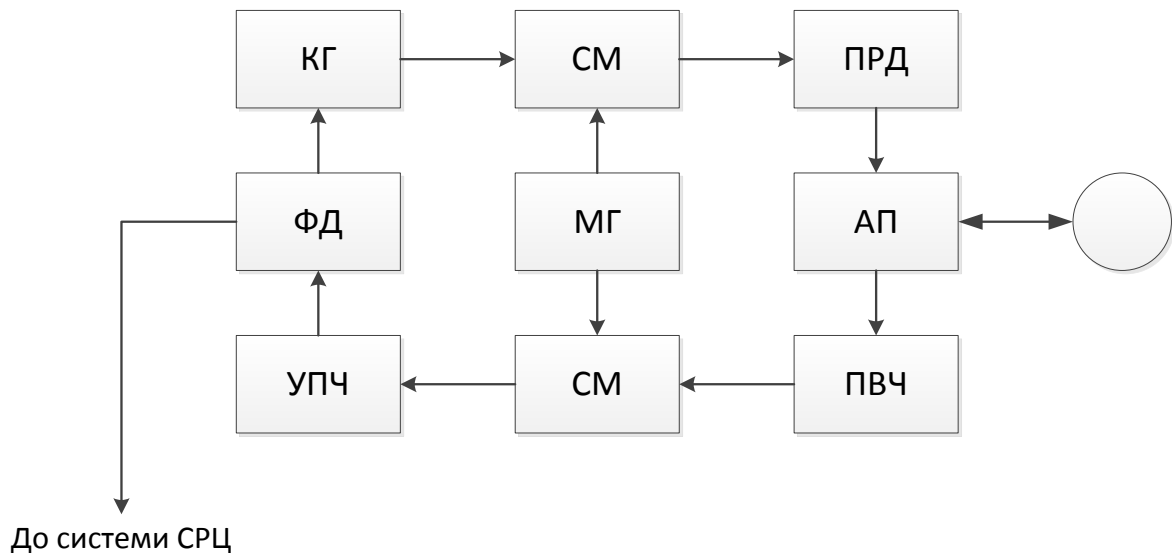


Рис. 2.5. Структурна схема псевдокогерентної РЛС

МГ – місцевий гетеродин

КГ – когерентний гетеродин

В РЛС з зовнішньою когерентністю в якості опорного сигналу використовується сигнал, відбитий від підстилаючої поверхні, на фоні якої проходить виявлення цілі[18].

Визначимо спектр сигналу на виході фазового детектору в когерентній РЛС за умови, що відбитий сигнал являє собою нескінченну послідовність імпульсів (при нерухомій діаграмі направленості антени РЛС).

На входи фазового детектору поступає відбитий сигнал $u_c(t)$ і напругу когерентного гетеродина.

$$u_{\text{кг}}(t) = U_{\text{кг}} \cos \omega_0 t, \quad (2.1)$$

де $\omega_0 = 2\pi f_0$ – несуча частота зонduючих імпульсів.

Так як відбитий сигнал являє собою періодичну послідовність імпульсів, то його можна представити сумою гармонічних складових виду:

$$u_{\text{відб}}(t) = U_0 \cos[(\omega_0 - \Omega_d)t] + \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cos[(\omega_0 - \Omega_d \pm k\Omega_{\text{п}})t + \varphi_k], \quad (2.2)$$

$$\text{де } \Omega_d = 2\pi F_d; \quad \Omega_{\text{п}} = 2\pi f_{\text{п}};$$

$f_{\text{п}}$ – частота повторення зондуючих імпульсів.

Напруга на виході фазового детектору пропорційна косинусу різниці фаз напруг, що подаються на його виходи, і рівна

$$u_{\text{фд}}(t) = K_{\text{фд}} U_0 U_{\text{кг}} \cos \Omega_d t + K_{\text{фд}} U_{\text{кг}} \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cos[(k\Omega_{\text{п}} \pm \Omega_d)t + \varphi_k] \quad (2.3)$$

Таким чином, спектр сигналу на виході фазового детектору складається з складової з частотою Ω_d і складових з частотами $k\Omega_{\text{п}} \pm \Omega_d$ (рис.2.6).

Даний висновок отриманий для нескінченної послідовності імпульсів. В дійсності, сигнал, відбитий від рухомої цілі або джерела пасивної перешкоди, обмежений в часі через переміщення діаграми направленості при огляді простору. Кінцева тривалість сигналу приводить до розширення кожної спектральної лінії спектру. Спектр із лінійного перетворюється в безперервний гребінчастий спектр[18].

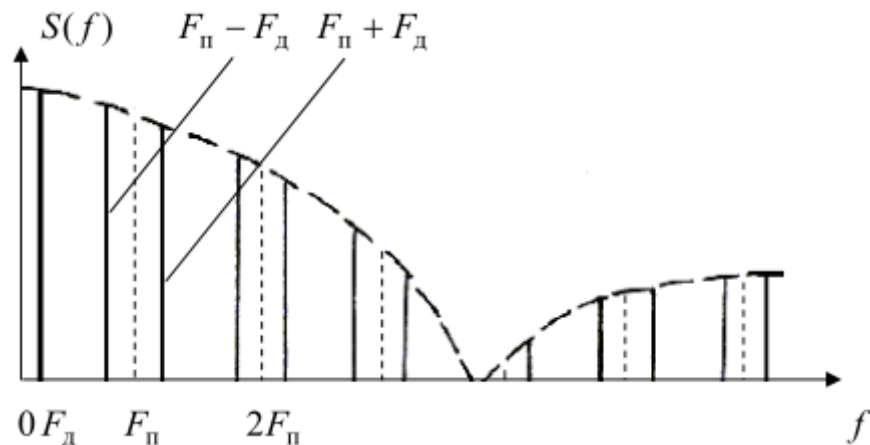


Рис. 2.6. Спектр сигналу на виході фазового детектору

Ширина «зубців» спектру пасивної завади визначається дисперсією швидкостей елементарних відбивачів і швидкістю огляду. Допплерівський зсув пасивної завади незначний в порівнянні з доплерівським зміщенням сигналу, і її спектр зосереджений поблизу нульової складової і складових, кратних частоті повторення[18].

Отже, для придушення пасивної завади повинен використовуватися фільтр з областями резекції на частотах kF_{Π} , $k = 0,1,2, \dots$

Найпростішим гребінчастим фільтром такого типу є система черезперіодної компенсації (ЧПК) першого порядку (рис.2.7).

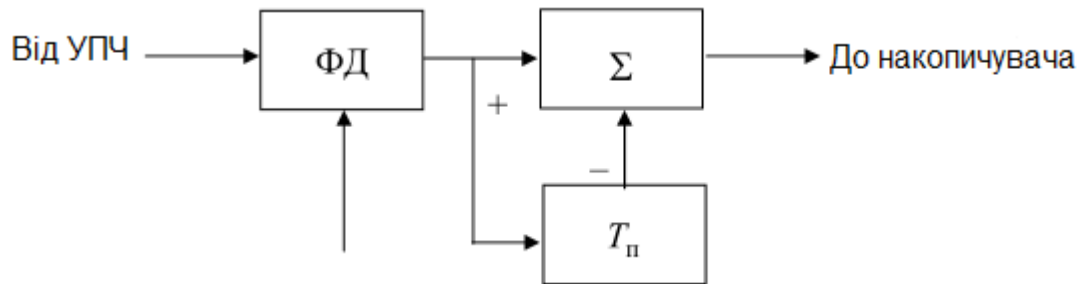


Рис. 2.7. Схема черезперіодної компенсації першого порядку

Коефіцієнт передачі схеми ЧПК першого порядку (однократної ЧПК)

$$\dot{K}(\omega) = 1 - e^{-j\omega T_{\Pi}} \quad (2.4)$$

Амплітудно-частотна характеристика рівна модулю коефіцієнту передачі

$$\begin{aligned} K(\omega) &= |\dot{K}(\omega)| = |1 - \cos \omega T_{\Pi} + j \sin \omega T_{\Pi}| = \\ &= \sqrt{((1 - \cos \omega T_{\Pi})^2 + \sin^2 \omega T_{\Pi})} = 2 \left| \sin \frac{\omega T_{\Pi}}{2} \right| \end{aligned} \quad (2.5)$$

Приведена на рис.2.8 амплітудно-частотна характеристика системи ЧПК першого порядку наглядно пояснює роботу пригнічувача пасивної перешкоди зі спектральною точкою зору[18].

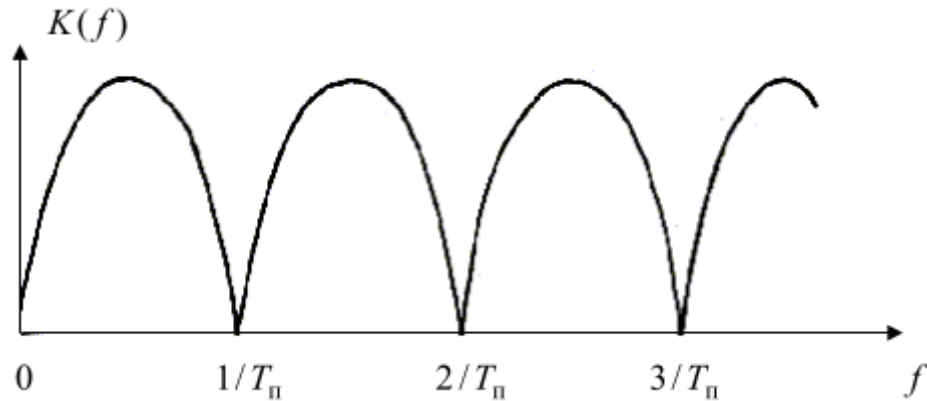


Рис. 2.8. Амплітудно-частотна характеристика системи ЧПК першого порядку

Так як періодична послідовність імпульсів від нерухомої цілі містить спектральні складові з частотами $k f_{\Pi}$, відповідні нулям АЧХ пригнічувача, то сигнали від таких цілей придушуються повністю. У випадку рухомих цілей спектр сигналу містить складові з частотами $k f_{\Pi} \pm f_{\text{Д}}$, тобто відповідні сигнали проходять на вихід схеми ЧПК. Амплітуда цих сигналів сильно залежить від швидкості руху цілі. Очевидно, що при $F_{\text{Д}} = \frac{(2n+1)F_{\Pi}}{2}$ придушення сигналу відсутнє (оптимальні швидкості цілі), а при $F_{\text{Д}} = nF_{\Pi}$, $n = 1, 2, \dots$ сигнал придушується повністю (сліпі швидкості руху цілі).

Залежність відносної амплітуди сигналу на виході системи СРЦ від швидкості руху цілі (або від доплерівського зсуву частоти) називається швидкісною характеристикою. При великій кількості імпульсів в пачці швидкісна характеристика практично співпадає з амплітудно-частотною характеристикою фільтру пригнічувача, якщо від віссю частот розуміти вісь доплерівських частот.

Придушення пасивної перешкоди схемою ЧПК буде неповним через кінцеву ширину «зубця» спектру перешкоди. Ефективність придушення пасивної перешкоди зручно характеризувати коефіцієнтом придушення:

$$K_{\Pi} = \frac{\sigma_{\Pi \text{ ВХ}}^2}{\sigma_{\Pi \text{ ВИХ}}^2}, \quad (2.6)$$

де $\sigma_{\Pi \text{ ВХ}}^2$ і $\sigma_{\Pi \text{ ВИХ}}^2$ – потужності пасивної перешкоди на вході і виході подавляючого фільтру[18].

При відомому енергетичному спектрі пасивної перешкоди коефіцієнт її придушення визначається виразом

$$K_{\Pi} = \frac{\int_0^{\infty} S_{\Pi}(f) df}{\int_0^{\infty} S_{\Pi} K^2(f) df}, \quad (2.7)$$

де $K(f)$ – амплітудно-частотна характеристика фільтру придушення;

S_{Π} – спектральна щільність потужності перешкоди.

Експериментальні дослідження показують, що спектральна щільність потужності перешкоди при відбитті від місцевих предметів, підстилаючої поверхні і гідрометеорів добре апроксимується виразом[20-21]:

$$S_n(f) = S_0 e^{-\alpha \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}, \quad (2.8)$$

де α – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від дисперсії швидкостей елементарних відбивачів.

Так, для пагорбів з густим лісом при швидкості вітру 10 м/с $\alpha = 2,3 \cdot 10^{17}$, для морської поверхні в вітряний день $\alpha = 1,41 \cdot 10^{16}$, для дощових хмар $\alpha = 2,8 \cdot 10^{15}$ [20-21]. Коефіцієнт α і ширина «зубця» спектру пасивної перешкоди на рівні 0,5 зв'язані співвідношенням

$$\Delta F_{0.5} = 0.79 \frac{f_0}{\sqrt{\alpha}} \quad (2.9)$$

У випадку, коли ширина «зубця» спектру пасивної перешкоди значно менше частоти повторення F_{Π} (для вузькосмугових перешкод), коефіцієнт придушення для однократної схеми ЧПК визначається виразом[19]

$$K_{\Pi 1} = \frac{\alpha}{2} \left(\frac{F_{\Pi}}{\pi f_0} \right)^2 = 0.32 \left(\frac{F_{\Pi}}{\pi \Delta F_{0.5}} \right)^2 \quad (2.10)$$

А для двохкратної схеми ЧПК

$$K_{\Pi 2} = \frac{\alpha^2}{12} \left(\frac{F_{\Pi}}{\pi f_0} \right)^4 = 0.33 \left(\frac{F_{\Pi}}{\pi \Delta F_{0.5}} \right)^4 \quad (2.11)$$

При відомій автокореляційній функції перешкоди коефіцієнт придушення може бути визначеним наступним шляхом.

Напруга на виході схеми однократної ЧПК

$$u_{\text{вих}}(t) = u_{\text{вх}}(t) - u_{\text{вх}}(t - T), \quad (2.12)$$

де $T_{\Pi} = 1/F_{\Pi}$ – період повторення зондуючих імпульсів.

Дисперсія перешкоди на виході схеми придушення

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{вих}}^2 &= \langle u_{\text{вих}}^2(t) \rangle = \langle u_{\text{вх}}^2(t) \rangle - 2\langle u_{\text{вх}}(t)u_{\text{вх}}(t - T_{\Pi}) \rangle + \langle u_{\text{вх}}^2(t - T) \rangle \\ &= 2\sigma_{\Pi \text{ вх}}^2[1 - r(T_{\Pi})], \end{aligned} \quad (2.13)$$

де $r(T_{\Pi})$ – міжперіодний коефіцієнт кореляції пасивної перешкоди на виході фазового детектору; $\langle \rangle$ – знак статистичного усереднення.

Звідси

$$K_{\Pi 1} = \frac{\sigma_{\Pi \text{ вх}}^2}{\sigma_{\text{вих}}^2} = \frac{1}{2(1 - r(T_{\Pi}))} \quad (2.14)$$

Видно, що коефіцієнт придушення пасивної перешкоди схемою однократної ЧПК повністю визначається міжперіодним коефіцієнтом кореляції ПП $r(T_{\Pi})$. Отриманий висновок нескладно пояснити з часової точки

зору. При відсутності доплерівського зміщення частоти відображення від цілі сигналу різниця фаз опорного та відбитого на входах фазового детектора буде постійною. Постійною буде і амплітуда послідовності імпульсів на виході ФД. (рис.2.9).



Рис. 2.9. Амплітуда послідовності імпульсів на виході фазового детектора(ФД)

Нескладно впевнитися в тому, що такий сигнал буде повністю компенсуватися схемою ЧПК.

При русі цілі різниця фаз опорного коливання ФД та імпульсів відбитого від цілі сигналу $\Delta\varphi(t) = \Omega_{\text{д}}t + \varphi_0$. При цьому амплітуда імпульсів послідовності на виході ФД змінюється по гармонічному закону з частотою $\Omega_{\text{д}}$. При черезперіодному відніманні повної компенсації таких сигналів не відбувається, за винятком випадків сліпих швидкостей, що відповідають $\Omega_{\text{д}} = n\Omega_{\text{п}}$. При сліпих швидкостях рух цілі різниця фаз двох сусідніх імпульсів стала і рівна нулю[18].

При дії пасивної перешкоди з нульовим доплерівським зміщенням частоти амплітуди імпульсів напруги пасивної перешкоди на виході ФД буде змінюватися по випадковому закону. Причому, чим ближче до одиниці коефіцієнт міжперіодної кореляції пасивної перешкоди, тим менше будуть відрізнятися амплітуди імпульсів ПП в сусідніх періодах повторення і, відповідно, тим більше вона буде придушена системою ЧПК.

Система ЧПК першого порядку володіє невисокою ефективністю, зубці резекції її АЧХ погано узгоджені зі спектром перешкоди. Для кращого

придушення спектральних складових ПП та малого послаблення спектральних складових сигналу фільтр резекції повинен мати близьку до прямокутної форму зубців резекції частотної характеристики. Так, наприклад, амплітудно-частотна характеристика системи ЧПК другого порядку описується виразом $K(\omega) = 4\sin^2 \frac{\omega T_{\Pi}}{2}$, дозволяє отримати більший коефіцієнт придушення пасивної перешкоди за рахунок розширення зони резекції ПП та має вигляд, що показано на рис.2.10.

Коефіцієнт придушення системи ЧПК другого порядку рівний

$$K_{п2} = \frac{1}{2[3 - 4r(T_{\Pi}) + r(2T_{\Pi})]} \quad (2.15)$$

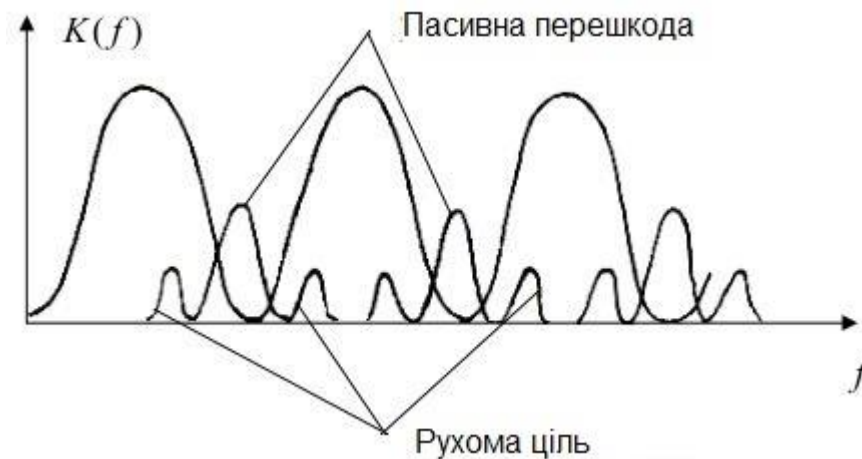


Рис. 2.10. Амплітудно-частотна характеристика системи ЧПК другого порядку

Пригнічувач високої кратності сильно послаблює і корисний сигнал. Тому для отримання резекторного гребінчастого фільтру з більш вузькими та крутими зубцями резекції необхідно використовувати в пристрої компенсації додаткові обернені зв'язки. Структурна схема рекурсивного фільтру другого порядку показана на рис.2.11, а його амплітудно-частотна характеристика на рис.2.12. Змінюючи коефіцієнти β_1 і β_2 , можна міняти форму частотної характеристики, добиваючись потрібної селективності на частотах, близьких до F_{Π} , і достатньої розмірності в решті області[18].

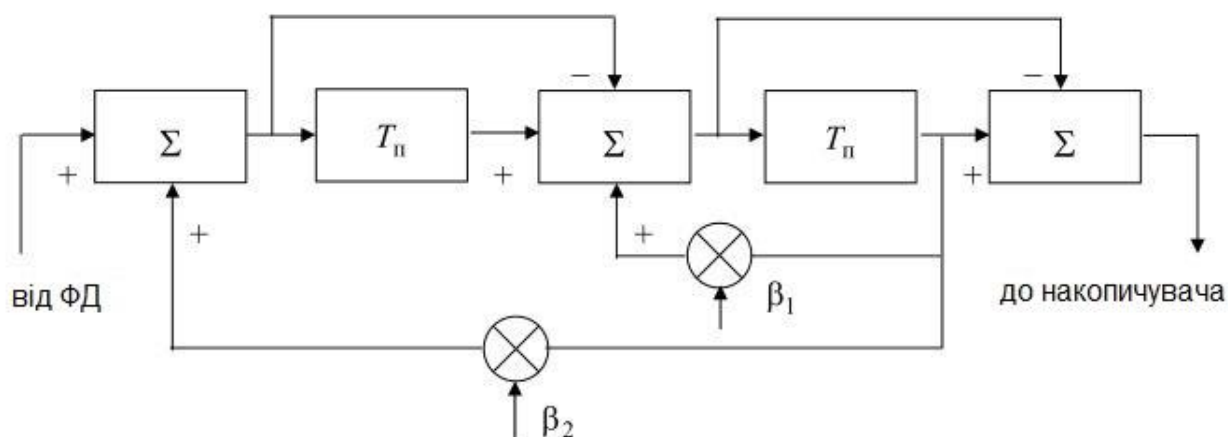


Рис. 2.11. Структурна схема рекурсивного фільтру другого порядку

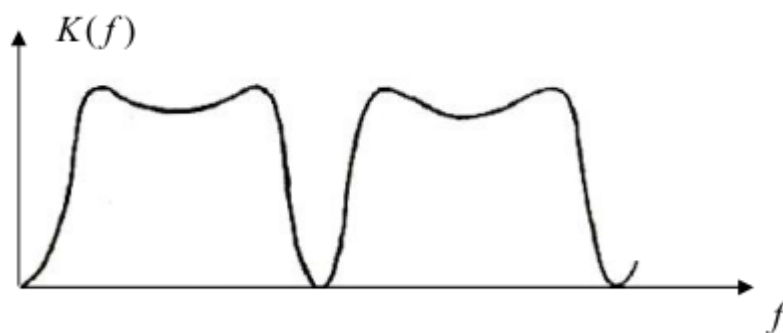


Рис. 2.12. Амплітудно-частотна характеристика рекурсивного фільтру другого порядку

2.3. Можливі шляхи підвищення завадостійкості існуючих систем адаптації

Принципи комплексного використання інформації реалізуються в радіолокаційних і радіонавігаційних вимірювальних приладах, що розміщуються на рухомих об'єктах. В таких приладах відомості про шукані координати отримують в результаті обробки сигналів, що формуються радіотехнічними та нерадіотехнічними датчиками інформації. Нерадіотехнічні датчики контролюють рух об'єкта, на якому розташований радіотехнічний вимірювач. При комплексному використанні інформації

забезпечується додаткове звуження смуги пропускання радіотехнічного вимірювача при збереженні малого рівня динамічних помилок. Це досягається завдяки тому, що зміни, які містяться в радіосигналі і параметру, який підлягає вимірюванню, обумовлені рухом об'єкта, контролюються нерадіотехнічними датчиками. Прикладами нерадіотехнічних датчиків інформації, здатних працювати спільно з радіотехнічними вимірювачами, є акселерометри, гіроскопічні датчики, вимірювачі повітряної швидкості літаків.

В процесі роботи радіотехнічних і нерадіотехнічних датчиків можлива їх взаємна корекція, яка дозволяє не тільки звужувати смугу пропускання радіотехнічного вимірювача координат, а й здійснювати періодичне вимикання останнього. При цьому в якості корисних використовуються сигнали, що формуються нерадіотехнічними датчиками. Щоб була можливість проводити необхідні перемикання в радіотехнічному пристрої при дії на нього радіоперешкод, до складу комплексного вимірювача повинен входити аналізатор перешкод.

Метод комплексного використання інформації є порівняно універсальним. Він може застосовуватися при захисті як від перешкод, що маскують, так і від імітаційних перешкод.

Використання перешкоджаючих сигналів в інтересах радіоелектронних засобів забезпечується зазвичай пасивними вимірювачами кутових координат цілей[28].

Прийоми боротьби з перешкодами полягають в забезпеченні такого рівня сигналу в місці прийому, який би забезпечив необхідну якість прийнятого сигналу. Однією з найважливіших характеристик сигналу є відношення потужності сигналу до потужності шуму. Цей параметр в радіотехніці так і називається – відношення сигнал/шум. Це відношення в місці прийому може бути збільшено різними способами, наприклад, збільшенням потужності передавача системи зв'язку, застосуванням

передавальної або приймальної антени з направленими властивостями (якщо це дозволяють умови експлуатації для даної системи зв'язку). Відношення сигнал/шум можна збільшити при зниженні рівня шумів. Наприклад, частку внутрішніх шумів можна зменшити, застосовуючи у вхідних каскадах приймача малошумні підсилювачі.

Інші методи підвищення якості прийнятих сигналів пов'язані із застосуванням складних сигналів і методів їх обробки, що забезпечують збільшення відношення сигнал/шум на виході приймального пристрою.

Висновки до розділу

1) Основною властивістю адаптивної системи є змінне у часі функціонування з саморегулюванням. Проте в багатьох випадках весь діапазон вхідних умов може бути не відомим точно навіть в статистичному змісті або умови можуть час від часу змінюватися. Тоді адаптивна система, яка використовує регулярний процес пошуку, постійно шукає оптимум в границях допустимого класу можливостей, має переваги у порівнянні з незмінною системою. Адаптивні системи по своїй природі мають бути змінними у часі і нелінійними. Їхні властивості залежать, окрім всього іншого, від вхідних сигналів.

2) Принципи комплексного використання інформації реалізуються в радіолокаційних і радіонавігаційних вимірювальних приладах, що розміщуються на рухомих об'єктах. В таких приладах відомості про шукані координати отримують в результаті обробки сигналів, що формуються радіотехнічними та не радіотехнічними датчиками інформації.

3) Розглянуто існуючі алгоритми виявлення, які можна розділити на алгоритми, що використовують статистичні відмінності цілей і пасивних перешкод, і алгоритми, які використовують спектральні відмінності цілей і перешкод (фільтрові).

4) Прийоми боротьби з перешкодами полягають в забезпеченні такого рівня сигналу в місці прийому, який би забезпечив необхідну якість прийнятого сигналу. Однією з найважливіших характеристик сигналу є відношення потужності сигналу до потужності шуму.

3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ АЛГОРИТМІВ АДАПТАЦІЇ ДО РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПЕРЕШКОД

3.1. Розробка методики синтезу адаптивних алгоритмів

Для адаптивної системи управління необхідно запропонувати таке рішення, яке б забезпечувало отримання максимально точної інформації від сенсорів, що розташовані на мобільному роботі.

Синтез фільтрів з постійними параметрами обов'язково базується на апіорних відомостях про сигнал та перешкоду, а адаптивні фільтри володіють здатністю автоматично перебудовувати свої параметри, і при їхньому синтезі майже не потребуються апіорні відомості про властивості сигналу та перешкоди.

На рис. 3.1 наведено структурну схему системи управління мобільним роботом, у якій запропоновано встановлення процесора компенсації завад паралельно до системи управління, що дозволить зменшити рівень впливу пасивних перешкод при рішенні задач навігації.

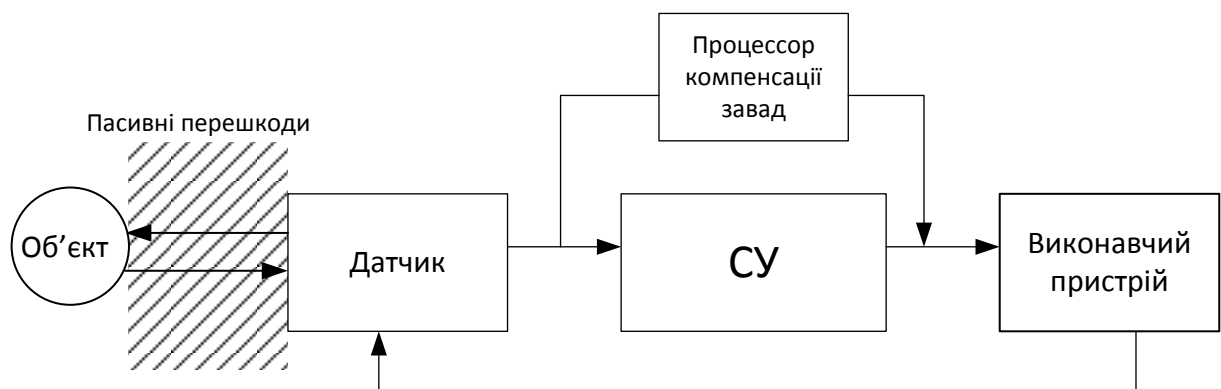


Рис. 3.1. Структурна схема СУ МР

Датчик приймає інформацію про об'єкт в сумі з пасивними перешкодами, для виокремлення максимально корисного сигналу з цієї суміші використовується процесор компенсації завад. Система управління

базуючись на отриманих даних формує необхідні команди та передає їх на виконавчий пристрій.

При обробці в радіолокаційній системі цифровими методами необхідно враховувати деякі обмеження, які відсутні тільки в тих випадках, коли аналого-цифрове перетворення проводиться після завершення обробки сигналу. Так, сума сигналу та шуму має бути достатньо великою для того, щоб забезпечувати зміни хоча б молодшого розряду АЦП, і в той же час не занадто великою, щоб запобігти обмежень в АЦП.

Необхідно враховувати, що АЦП мають скінченне число розрядів i , відповідно обмежений динамічний діапазон. Вибір великих значень σ порівняно з q призводить, з однієї сторони, до зменшення шуму квантування, а з іншої – до звуження діапазону можливих змін рівня сигналу, в результаті чого АЦП буде працювати з обмеженнями, котрі призведуть до втрати інформації. Тому, щоб динамічний діапазон, був якомога більшим, доцільно, наскільки це можливо, зменшувати відношення σ/q . Правда, занадто велике зменшення цього відношення також призводить до втрати інформації.

На рис. 3.2 наведена функціональна схема запропонованого адаптивного компенсатора перешкод.

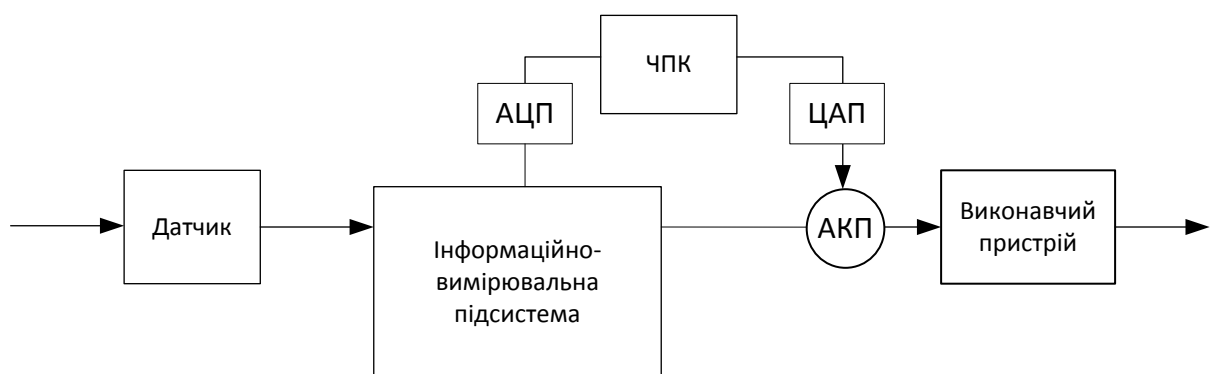


Рис.3.2. Функціональна схема адаптивного компенсатора перешкод(АКП)

Інформаційно-вимірювальна підсистема отримує набір даних від датчиків, після чого передає їх до АЦП, де і здійснюється їх обробка і

передача на черезперіодний компенсатор. Адаптивний компенсатор враховуючи параметри сигналу та перешкоди, а також отримані після ЧПК дані аналізує та передає на виконавчий пристрій вже оброблений сигнал.

При синтезі алгоритмів виявлення сигналів на фоні пасивних радіоперешкод необхідно володіти апіорною інформацією про сигнал, заваду і шуми.

У когерентних РЛС відбитий від цілі сигнал у багатьох випадках може бути представлений повільно флюктурованим комплексним гауссовим процесом (модель Сверлінга №1), а перешкода – комплексним гауссовим процесом з нульовим середнім, винятки становлять радіолокаційні станції з високою роздільною здатністю і спостереження під малими кутами місця[41].

У випадку, якщо розробник РЛС володіє повною апіорною інформацією про сигнал і перешкоди, синтез оптимального алгоритму виявлення не викликає ускладнень. На практиці розробник зіштовхується з наступними проблемами:

- невідома доплерівська частота відбитого сигналу;
- невідома кореляційна матриця перешкоди, що унеможливорює синтез оптимального алгоритму виявлення.

Завдання синтезу оптимального алгоритму виявлення в умовах апіорної невизначеності може вирішуватися за допомогою параметричного опису апіорної невизначеності із застосуванням адаптивного байєсівського підходу. У цьому випадку алгоритм виявлення синтезується при повній апіорній визначеності, після чого невідомі параметри алгоритму виявлення замінюються їх оцінками.

Скориставшись даним підходом, можна отримати оптимальний алгоритм виявлення, для практичної реалізації якого необхідно оцінювати доплерівську частоту відбитого сигналу і обернену кореляційну матрицю перешкоди.

Однак, застосування адаптивного байєсівського підходу для вирішення проблеми апріорної невизначеності доплерівської частоти відбитого сигналу призводить до інших, не менш складних проблем.

Так, в деяких роботах пропонується вирішити проблему апріорної невизначеності доплерівської частоти відбитого сигналу за допомогою вимірювача доплерівської фази сигналу. Похибки оцінки фази сигналу при одноканальній побудові оптимального алгоритму виявлення призводять до втрат в ефективності виявлення і з метою зменшення цих втрат доводиться використовувати кілька каналів узгодженої обробки, що перекривають діапазон розподілу оцінки доплерівської фази сигналу. У цьому випадку спостерігаються робочі характеристики, близькі до характеристик оптимального алгоритму виявлення, але при цьому істотно збільшуються обчислювальні витрати.

Іншим рішенням проблеми апріорної невизначеності доплерівської частоти відбитого сигналу може служити багатоканальний фільтр доплерівських частот. Кожен канал фільтра доплерівських частот налаштований на певну доплерівську частоту і операція когерентного множення на опорний сигнал виконується в кожному каналі; максимальний з виходу всіх каналів сигнал надходить на компаратор. Недоліком даного способу є значні обчислювальні витрати: так, для виявлення цілі в діапазоні швидкостей від 0 до 2000 км/год з кроком в 10 км/год буде потрібно 200 канальний фільтр доплерівських частот.

Оскільки способи вирішення проблеми апріорної невизначеності доплерівської частоти відбитого сигналу приводять до алгоритмів виявлення зі значними обчислювальними витратами, на практиці використовують алгоритми виявлення, які не потребують обчислення оцінок доплерівської частоти відбитого сигналу[41].

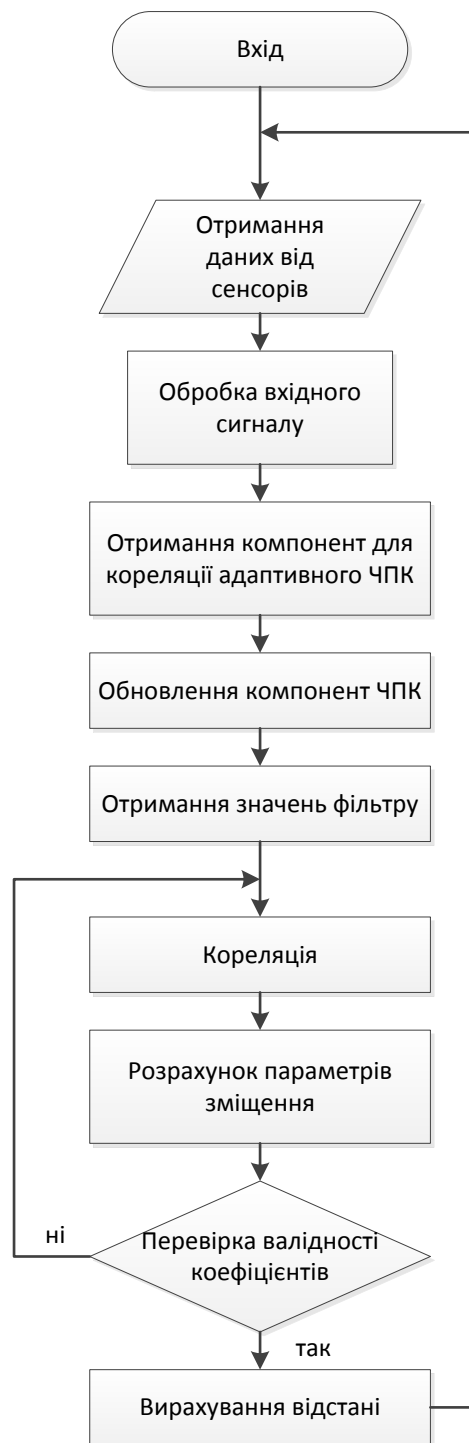


Рис. 3.3. Блок-схема алгоритму обробки радіолокаційних даних з використанням ЧПК

Для вирішення проблеми апіорної невизначеності доплерівської частоти відбитого сигналу необхідно виконати наступне. Оскільки модель когерентного сигналу призводить до необхідності обчислення оцінки доплерівської частоти відбитого сигналу, то при синтезі алгоритму виявлення

виберемо модель некогерентного сигналу, і отриманий алгоритм виявлення будемо застосовувати для виявлення когерентного сигналу.

Опишемо модель корисного сигналу когерентно-імпульсної РЛС, для чого попередньо розглянемо модель зонduючого сигналу.

Уявімо сигнал з виходу підсилювача потужності РЛС у вигляді когерентної пачки імпульсів:

$$s_{\text{ym}}(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=0}^{N-1} s_0(t - t_i), \quad t \in [0, T], \quad (3.1)$$

де T – тривалість сигналу; t_i – Моменти появи імпульсів у пачці;

E_p – середня енергія одного імпульсу, N – число імпульсів у пачці,

$s_0(t)$ – форма радіоімпульсу з одиничною енергією.

Вважаємо, що послідовність імпульсів не перекривається, тобто виконується така умова:

$$s_0(t - t_i)s_0(t - t_j) = 0 \text{ при } i \neq j \quad (3.2)$$

Сигнал з виходу підсилювача потужності надходить на перемикач «прийом-передача» і випромінюється антеною, при цьому сигнал модулюється за амплітудою діаграмою спрямованості антени. Зауважимо, що діаграма спрямованості антени є функцією кута, однак, якщо взяти до уваги, що антена РЛС обертається рівномірно, можна перейти до діаграми спрямованості антени, як функції часу. Таким чином, сигнал, що випромінюється антеною РЛС, можна записати наступним чином:

$$s_3(t) = F_E(t)s_{\text{ym}}(t) = F_E(t)\sqrt{E_p} \sum_{i=0}^{N-1} s_0(t - t_i), \quad (3.3)$$

де $F_E(t)$ – діаграма спрямованості антени по напруженості поля.

Отримаємо модель відбитого корисного сигналу від радіолокаційної цілі.

Ціль практично не змінює форму відбитого сигналу, зокрема, не збільшує тривалість відображених імпульсів. В силу цілого ряду причин (зміна положення об'єкту відносно РЛС, зміна провідності між окремими елементами рухомого об'єкту, обертання гвинта і т.д.) виникають флуктуації відбитого сигналу і відповідні їм зміни ефективної площі розсіювання та амплітуди відбитого сигналу. Крім того, частота відбитого сигналу змінюється внаслідок ефекту Доплера. Враховуючи це, відбитий сигнал від мети має вигляд:

$$s_{\text{відб}}(t) = \sqrt{E_p} F_E(t - t_3) \sum_{i=0}^{N-1} \xi(t) s_0(t - t_i - t_3) \exp(j2\pi f_D t_i), \quad (3.4)$$

де f_D – доплерівська частота відбитого сигналу від цілі; $\xi(t)$ – залежний від часу випадковий комплексний модулюючий множник; t_3 – час запізнювання сигналу.

Для радіолокаційних сигналів із загальною тривалістю менше мілісекунди і смугою 3 ... 5 МГц випадкові функції $\xi(t)$ зазвичай зводяться до незалежних від часу випадкових величин. З урахуванням того, що для одноантенної РЛС, у якої діаграма спрямованості при прийомі описується тією ж функцією $F_E(t)$, що і при передачі, сигнал на вході приймача запишемо у вигляді:

$$s_{\text{пр}}(t) = \sqrt{E_p} F_E(t) F_E(t - t_3) \sum_{i=0}^{N-1} \xi_i s_0(t - t_i - t_3) \exp(j2\pi f_D t_i) \quad (3.5)$$

Зауважимо, що модуляція радіолокаційного сигналу діаграмою спрямованості антени призводить до зміни енергії прийнятих імпульсів, що будемо враховувати, ввівши в модель корисного сигналу замість добутку $F_E(t)F_E(t-t_3)$ відповідний коефіцієнт для кожного імпульсу.

Розглянемо, що являють собою комплексні випадкові величини ξ_i , для чого представимо їх у вигляді: $\xi_i = |\xi_i| \exp(j\varphi_i)$

Розподіл амплітуд $|\xi_i|$ відбитих сигналів сильно залежить від виду цілі. Відомо, що вторинному випромінювача з великим числом незалежних приблизно рівноцінних елементів (наприклад, літак) відповідає релієвський розподіл амплітуд (моделі Сверлінга I, II). У випадку, якщо ціль можна звести до одного великого та інших малих відбивачів (наприклад, корабель, літак середніх розмірів), амплітуда відбитого сигналу має розподіл Накагамі (моделі Сверлінга III, IV). Зауважимо, що при виборі останньої моделі розподілу амплітуд відбитих сигналів істотно ускладнюється аналіз і синтез оптимальних алгоритмів виявлення.

Крім описаних вище розподілів амплітуд, існують також і інші, нерелієвські, (наприклад, лог-нормальне або розподіл Вейбулла), що виникають, як відомо, при випромінюванні кораблів і цілей з клинчастими елементами.

З метою спрощення синтезу оптимального алгоритму виявлення, а також, оскільки в більшості випадків радіолокаційні цілі описуються моделями Сверлінга I, II, виберемо модель релієвського розподілу амплітуд $|\xi_i|$.

Відомо, що випадкові фази φ_i , відбитого сигналу рівномірно розподілені в інтервалі $[0, 2\pi]$.

При релієвському розподілі амплітуд $|\xi_i|$ і рівномірному розподілі фаз φ_i комплексні випадкові величини ξ_i є гауссівськими з нульовим математичним очікуванням. Відповідно до висновків, зробленими на початку розділу, модель корисного сигналу повинна бути некогерентною, що можливо, якщо випадкові величини ξ_i будуть незалежними.

Зауважимо, що на вхід приймача в момент часу t_3 одночасно надходять сигнали, відбиті від корисних радіолокаційних цілей і пасивних перешкод, тому з метою скорочення запису параметр t_3 не будемо враховувати в моделях корисного сигналу і пасивної перешкоди.

Запишемо остаточно модель корисного сигналу у вигляді:

$$s(t) = \sqrt{E_s} \sum_{i=0}^{N-1} \xi_i a_i s_0(t - t_i), t \in [0, T], \quad (3.6)$$

де ξ_i – незалежні комплексні гаусові випадкові величини з нульовим математичним очікуванням і одиничною дисперсією;

T – тривалість сигналу;

t_i – моменти появи імпульсів;

$E_s a_i^2$ – середня енергія i -ого імпульсу,

N – число оброблюваних імпульсів,

$s_0(t)$ – форма радіоімпульсу з одиничною енергією;

a_i – коефіцієнти, що враховують різну енергію імпульсів у пачці.

Як відомо, пасивна перешкода являє собою відбиття від підстилаючої поверхні, будівель, споруд, метеоутворень і т.д.

Оскільки модель зондуючого сигналу однакова як для моделі корисного сигналу, так і моделі пасивних перешкод, то зроблені вище припущення при обґрунтуванні моделі відбитого сигналу від цілі, за винятком розподілу випадкових множників η_i , також справедливі і для пасивної завади. Попередньо, сигнал на вході приймача можна записати наступним чином:

$$n(t) = \sqrt{E_c} \sum_{i=0}^{N-1} \eta_i a_i s_0(t - t_i) \exp(j2\pi f_D t_i) \quad (3.7)$$

Розподіл амплітуд η_i відбитих сигналів від пасивної цілі, як і у випадку відбиття від корисних радіолокаційних цілей, сильно залежить від її виду. Так, релієвський розподіл амплітуд відповідає місцевості, покритої густою рослинністю; нерелієвський розподіл виникає тоді, коли підстилаюча поверхня опромінюється РЛС з високою роздільною здатністю (тривалість зондуючого імпульсу менше 0,5 мкс) під малими кутами ковзання (менше 5°).

Оскільки тривалість зондуючих імпульсів РЛС УВС більше 1 МКС, а також з метою спрощення синтезу оптимального алгоритму виявлення, виберемо модель релієвського розподілу амплітуд.

Відомо, що випадкові фази φ_i відбитого сигналу рівномірно розподілені в інтервалі $[0, 2\pi]$.

При зазначених припущеннях щодо розподілу амплітуд і фаз комплексні випадкові величини η_i є гауссівськими з нульовим математичним очікуванням. Випадкові величини η_i є в загальному випадку залежними, що відповідає повільним міжперіодним флуктуаціям імпульсів у пачці.

Зауважимо, що приймач РЛС, працюючи в режимі посилення, посилює в більшій мірі шуми антени, в тому числі ті, що надходять з навколишнього простору, а також шуми перших своїх каскадів, адитивну суміш зовнішніх і внутрішньо прийомних шумів можна вважати білим гауссовським шумом.

Таким чином, модель перешкоди можна представити як адитивну суміш пасивної завади і білого гауссівського шуму:

$$y(t) = \sqrt{E_c} \sum_{i=0}^{N-1} \eta_i a_i s_0(t - t_i) + n(t), t \in [0, T], \quad (3.8)$$

де η_i – гаусівські комплексні випадкові величини з нульовим математичним очікуванням і нормованої кореляційної матрицею міжперіодних флуктуацій пасивної завади R

$$(R = \|r_{ij}\|, r_{ij} = M[\eta_i \eta_j^*], r_{ii} = 1) \quad (3.9)$$

$E_c a_i^2$ – середня енергія i -ого імпульсу пасивної завади; $n(t)$ – білий гауссівський шум зі спектральною щільністю потужності $\frac{N_0}{2}$; $*$ – Знак комплексного сполучення.

3.2. Синтез адаптивних алгоритмів

У відповідності до обраної моделі сигналу та завади вирішимо задачу виявлення сигналу на фоні перешкод:

$$x(t) = \begin{cases} s(t) + y(t): H_1 \\ y(t): H_0 \end{cases} \quad (3.10)$$

Відомо, що оптимальний алгоритм виявлення гауссівського сигналу з кореляцією функції $K_s(t, u)$ на фоні гауссівської перешкоди з кореляційною функцією $K_y(t, u)$ має вигляд:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \frac{a_k}{1 + a_k} \left| \int_0^T x(t) \varphi_k(t) dt \right|^2, \quad (3.11)$$

де a_k і $\varphi_k(t)$ – власні числа та функції інтегрального виразу:

$$\int_0^T K_s(t, u) \varphi_k(u) du = \alpha_k \int_0^T K_y(t, u) \varphi_k(u) du \quad (3.12)$$

Власні функції нормовані умовою:

$$\int_0^T \int_0^T K_y(t, u) \varphi_k(u) \varphi_k(t) du dt = 1 \quad (3.13)$$

Вирішимо інтегральний вираз, для чого попередньо запишемо вирази для кореляції функцій моделей сигналу та завади.

За визначенням $K_s(t, u) = M[(s(t) - \overline{s(t)}) \cdot (s(u) - \overline{s(u)})]$, риска зверху означає операцію математичного усереднення. За умовою, математичне очікування сигналу рівне нулю, тому

$$\begin{aligned} K_s(t, u) &= M[s(t)s(u)] = \\ &= M \left[\sqrt{E_s} \sum_{i=0}^{N-1} \xi_i a_i s_0(t - t_i) \sqrt{E_s} \sum_{j=0}^{N-1} \xi_j a_j s_0(u - t_j) \right] \end{aligned} \quad (3.14)$$

Винесемо всі не випадкові величини з операцій усереднення:

$$K_s(t, u) = E_s \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j s_0(t - t_i) s_0(u - t_j) M[\xi_i \xi_j] \quad (3.15)$$

За умовою, $M[\xi_i \cdot \xi_j] = \delta_{ij}$, де δ_{ij} – символ Кронекера. Враховуючи це, кореляційна функція сигналу отримує вигляд:

$$K_s(t, u) = E_s \sum_{i=0}^{N-1} a_i^2 s_0(t - t_i) s_0(u - t_i) \quad (3.16)$$

Виконавши аналогічні викладки для кореляційної функції перешкоди $K_y(t, u)$. За визначенням:

$$K_y(t, u) = M[(y(t) - \overline{y(t)}) \cdot (y(u) - \overline{y(u)})] \quad (3.17)$$

За умовою, математичне очікування перешкоди рівне нулю, тому кореляційна функція перешкоди отримує вигляд:

$$\begin{aligned} K_y(t, u) &= M[y(t)y(u)] = \\ &= M\left[\left(\sqrt{E_c} \sum_{i=0}^{N-1} \eta_i a_i s_0(t - t_i) + n(t)\right) \left(\sqrt{E_c} \sum_{j=0}^{N-1} \eta_j a_j s_0(u - t_j) + n(u)\right)\right] \end{aligned} \quad (3.18)$$

Винесемо за знак математичного очікування не випадкові величини:

$$K_y(t, u) = E_c \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j s_0(t - t_i) s_0(u - t_j) M[\eta_i \eta_j] + M[n(t)n(u)] \quad (3.19)$$

За умовою, $M[\eta_i \cdot \eta_l] = r_{ij}$ і $M[n(t) \cdot n(u)] = \frac{N_0}{2} \delta(t - u)$, і з урахуванням цього, кореляційна функція перешкоди $K_n(t, u)$ отримує вигляд:

$$K_y(t, u) = E_c \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j s_0(t - t_i) s_0(u - t_j) r_{ij} + \frac{N_0}{2} \delta(t - u), \quad (3.20)$$

де $\delta(t)$ – дельта-функція.

Перейдемо до вирішення інтегрального виразу, для чого підставимо в нього отримані вирази для кореляційних функцій сигналу та перешкоди:

$$\int_0^T \left(E_s \sum_{i=0}^{N-1} a_i^2 s_0(t - t_i) s_0(u - t_i) \right) \varphi_k(u) du =$$

$$a_k \int_0^T \left(E_c \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j s_0(t - t_i) s_0(u - t_j) r_{ij} + \frac{N_0}{2} \delta(t - u) \right) \varphi_k(u) du \quad (3.21)$$

Винесемо з під знаку інтегралу всі величини, не залежні від змінної інтегрування, звівши останній вираз до вигляду:

$$E_s \sum_{i=0}^{N-1} a_i^2 s_0(t - t_i) \int_0^T s_0(u - t_i) \varphi_k(u) du =$$

$$a_k \left[\frac{N_0}{2} \varphi_k(t) + E_c \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j s_0(t - t_i) r_{ij} \int_0^T s_0(u - t_j) \varphi_k(u) du \right] \quad (3.22)$$

Відмітимо, що якщо обрати власні функції вигляду:

$$\varphi_k(u) = \sum_{n=0}^{N-1} q_{kn} s_0(u - t_n) \quad (3.23)$$

то останній вираз матиме вигляд:

$$\frac{E_s a_i^2}{a_k} q_{ki} = \sum_{j=0}^{N-1} \left(E_c a_i a_j r_{ij} + \frac{N_0}{2} \delta_{ij} \right) q_{kj} \quad (3.24)$$

Вираз в круглих дужках представляє собою елементи кореляційної матриці К адитивної суміші міжперіодних флуктуацій перешкоди та шуму:

$$k_{ij} = E_c a_i a_j r_{ij} + \frac{N_0}{2} \delta_{ij} \quad (3.25)$$

Введемо позначення $\psi_{ki} = a_i q_{ki}$, розділимо на a_i ліву та праву частину останнього виразу, отримаємо задачу на власні значення:

$$\frac{E_s \psi_{ki}}{a_k} = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{k_{ij}}{a_i a_j} \psi_{kj} \quad (3.26)$$

Введемо матрицю В з елементами $b_{ij} = \frac{k_{ij}}{a_i a_j}$. Замітимо, що матриця В допускає розклад по власним значенням λ_k і власним векторам $\vec{\psi}_k$, з урахуванням того, власні числа інтегрального виразу рівні:

$$a_k = \frac{E_s}{\lambda_k} \quad (3.27)$$

А власні функції:

$$\varphi_k(u) = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{\psi_{kj}}{a_j} s_0(u - t_j) \quad (3.28)$$

Необхідно відмітити, що власні вектори, які входять в останній вираз є ортонормованими. Нормуванню підлягають тільки власні функції інтегрального виразу, визначені з точністю до постійного множника, який можна знайти з умови нормування. Будемо шукати цей постійний множник в припущенні, що власні функції мають наступний вигляд:

$$\varphi_k(u) = h_k \sum_{j=0}^{N-1} \frac{\psi_{kj}}{a_j} s_0(u - t_j) \quad (3.29)$$

Підставимо в вираз:

$$\int_0^T \int_0^T \left[E_c \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j s_0(t - t_i) \dot{s}_0(u - t_j) r_{ij} + \frac{N_0}{2} \delta(t - u) \right] \cdot \left(h_k \sum_{b=0}^{N-1} \frac{\psi_{kb}}{a_b} s_0(u - t_b) \right) \left(h_k \sum_{d=0}^{N-1} \frac{\dot{\psi}_{kd}}{a_d} \dot{s}_0(t - t_d) \right) du dt = 1 \quad (3.30)$$

Перетворимо останній вираз наступним чином: винесемо з-під знаку інтегралу вирази, які не залежать від змінної інтегрування:

$$h_k^2 \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left(E_c a_i a_j r_{ij} + \frac{N_0}{2} \delta_{ij} \right) \sum_{b=0}^{N-1} \frac{\psi_{kb}}{a_b} \int_0^T s_0(u - t_b) \dot{s}_0(u - t_j) du \cdot \sum_{d=0}^{N-1} \frac{\dot{\psi}_{kd}}{a_d} \int_0^T s_0(t - t_i) \dot{s}_0(t - t_d) dt = 1 \quad (3.31)$$

Оскільки імпульси в пачці вважаються такими, що не підлягають перекриванню та мають одиничну енергію, то внутрішній інтеграл рівний:

$$\int_0^T s_0(t - t_i) \dot{s}_0(t - t_d) dt = \begin{cases} 0, i \neq d \\ 1, i = d \end{cases} \quad (3.32)$$

Умова нормування, з урахуванням останнього виразу запишемо наступним чином:

$$h_k^2 \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left(E_c a_i a_j r_{ij} + \frac{N_0}{2} \delta_{ij} \right) \frac{\dot{\psi}_{ki}}{a_i} \frac{\psi_{kj}}{a_j} = h_k^2 \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} b_{ij} \dot{\psi}_{ki} \psi_{kj} = 1 \quad (3.33)$$

З теорії матриць відомо, що

$$\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} b_{ij} \dot{\psi}_{ki} \psi_{mj} = \lambda_k \delta_{km} \quad (3.34)$$

Тоді шуканий постійний коефіцієнт h_k рівний:

$$h_k = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \quad (3.35)$$

Остаточно, власні функції і власні числа інтегрального виразу відповідно рівні:

$$\varphi_k(u) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{\psi_{kj}}{a_j} s_0(u - u_j) \quad (3.36)$$

$$a_k = \frac{E_s}{\lambda_k} \quad (3.37)$$

Отже, в результаті ми отримуємо наступний алгоритм виявлення:

- 1) Ініціалізація параметрів.
- 2) Вирахування кореляційного інтегралу

$$x_j = \int_0^T x(t) s_0(t - t_j) dt \quad (3.38)$$

На практиці може виконувати фільтр, узгоджений з імпульсом $s_0(t)$.

- 3) З виходу узгодженого фільтру (УФ) відлік x_j ділиться на величину a_j .
- 4) Надходить на набір фільтрів, узгоджених з власними векторами $\vec{\psi}_k$ матриці $\mathbf{B}$, при чому порядок і число даних фільтрів рівний числу імпульсів, що обробляються N .
- 5) Результат фільтрації кожним фільтром множиться на величину

$$\frac{1}{(E_s + \lambda_k) \lambda_k} \quad (3.39)$$

- 6) Поступає на загальний суматор, після чого по сумі компаратором виноситься рішення про наявність чи відсутність цілі в прийнятій реалізації.

Описаний вище процес виявлення ілюструє , блок-схема алгоритму виявлення(рис. 3.4).

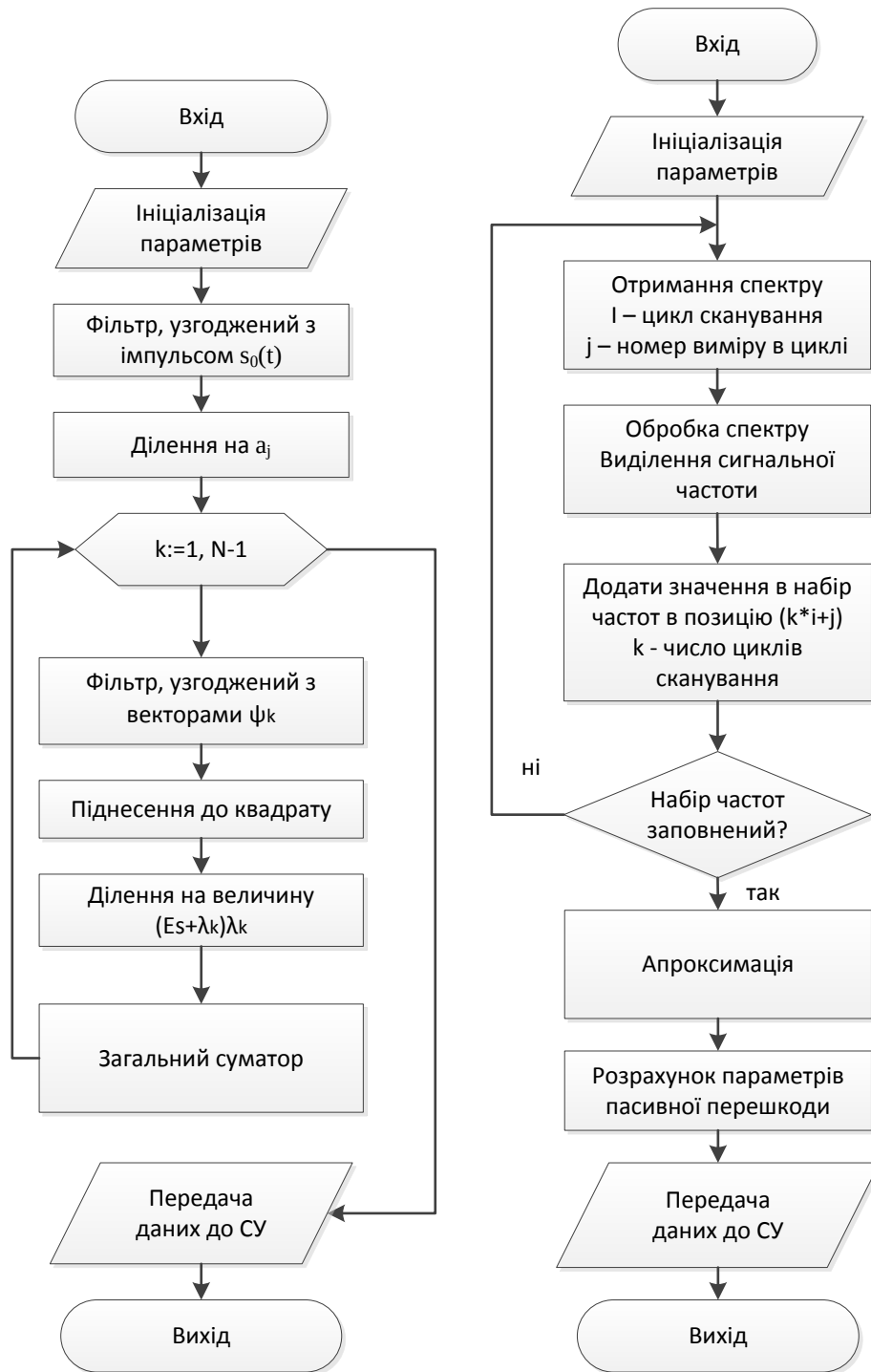


Рис. 3.4. – 3.5. Блок-схеми алгоритму виявлення та обробки даних

Відмітимо, що отриманий в результаті синтезу алгоритм виявлення, в загальному випадку, багатоканальний. Ця багатоканальність зумовлена тим,

що перешкода корельовано. Дійсно, у випадку відсутності кореляції, елементи матриці **B** рівні:

$$b_{ij} = E_c \delta_{ij} + \frac{N_0}{2a_i a_j} \delta_{ij} \quad (3.41)$$

А власні значення і власні вектори матриці **B** відповідно рівні:

$$\lambda_k = E_c + \frac{N_0}{2a_k^2}, \psi_{ki} = \delta_{ki} \quad (3.42)$$

Звідси нескладно отримати вигляд алгоритму виявлення на випадок впливу некорельованих перешкод:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{\left(E_s + E_c + \frac{N_0}{2a_k^2}\right) \left(E_c + \frac{N_0}{2a_k^2}\right)} \left| \frac{x_k}{a_k} \right|^2 \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} C \quad (3.43)$$

У випадку, якщо всі імпульси, що обробляються, мають однакову енергію, тобто: $a_k = const, k = \overline{0, N-1}$, алгоритм виявлення отримує наступний вигляд виявлення некогерентної пачки імпульсів на фоні білого гауссівського шуму:

$$\sum_{k=0}^{N-1} |x_k|^2 \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} C \quad (3.44)$$

Що частково підтверджує правильність зроблених висновків в ході синтезу алгоритму виявлення.

Відмітимо, що у випадку однакової енергії імпульсів, що обробляються, алгоритм виявлення зводиться до алгоритму виявлення некогерентного сигналу на фоні пасивних гауссівських перешкод. Крім того, якщо прийняти модель швидких міжперіодних флуктуацій сигналу на фоні пасивних перешкод, то у випадку однакової енергії імпульсів, що обробляються цей алгоритм виявлення буде еквівалентним раніше отриманим.

Висновки до розділу

1) Для адаптивної системи управління запропоновано встановлення процесора компенсації завад паралельно до системи управління, що дозволить зменшити рівень впливу пасивних перешкод при рішенні задач навігації. Розроблено алгоритм обробки радіолокаційних даних з використанням ЧПК.

2) Запропоновано використовувати модель некогерентного сигналу для вирішення завдання виявлення когерентного сигналу на фоні пасивних гауссівських перешкод, що дозволить уникнути оцінки невідомої доплерівської частоти відбитого сигналу при практичній реалізації алгоритму виявлення.

3) Відповідно до обраних моделей сигналу і перешкоди, синтезовано алгоритм виявлення. Показано, що якщо виявлення сигналу відбувається тільки на фоні білого гауссівського шуму, і всі імпульси в пачці мають однакову енергію, то синтезований алгоритм виявлення набуває вигляду відомого алгоритму виявлення некогерентної пачки імпульсів на фоні білого гауссівського шуму, що підтверджує правильність виконаних розрахунків.

4) Для випадку різних відносин сигнал/перешкода отримані алгоритми виявлення з меншими обчислювальними витратами по відношенню до вихідного синтезованого алгоритму виявлення. Показано, що якщо всі імпульси в пачці мають однакову енергію, то отримані алгоритми виявлення зводяться до відомих алгоритмів виявлення, які використовуються для виявлення когерентного сигналу з невідомою доплерівською частотою.

4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ АЛГОРИТМІВ АДАПТАЦІЇ

4.1. Моделювання та оцінка ефективності системи адаптації в умовах радіоперешкод високої інтенсивності

Для початку необхідно змоделювати сигнал та перешкоду і провести аналіз їх характеристик.

Реалізація простого сигналу у часі без впливу перешкод та шумів буде мати наступний вигляд[4.1].

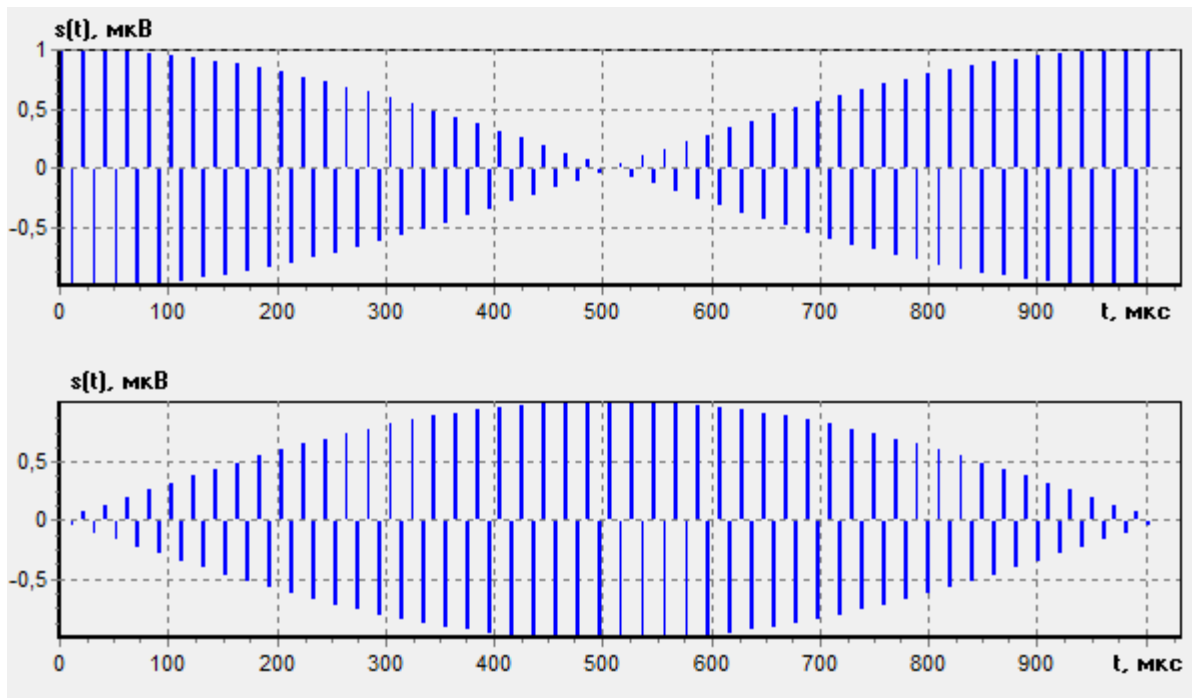


Рис. 4.1. Реалізація сигналу у часі

На верхньому графіку зображено дійсну частину, на нижньому уявну.

Компонентами наступного процесу, реалізованого у часі (рис.4.2) є простий сигнал, перешкода та шум. Енергетичними відношеннями для даного випадку є відношення сигнал/(перешкода + шум) та відношення шум/перешкода.

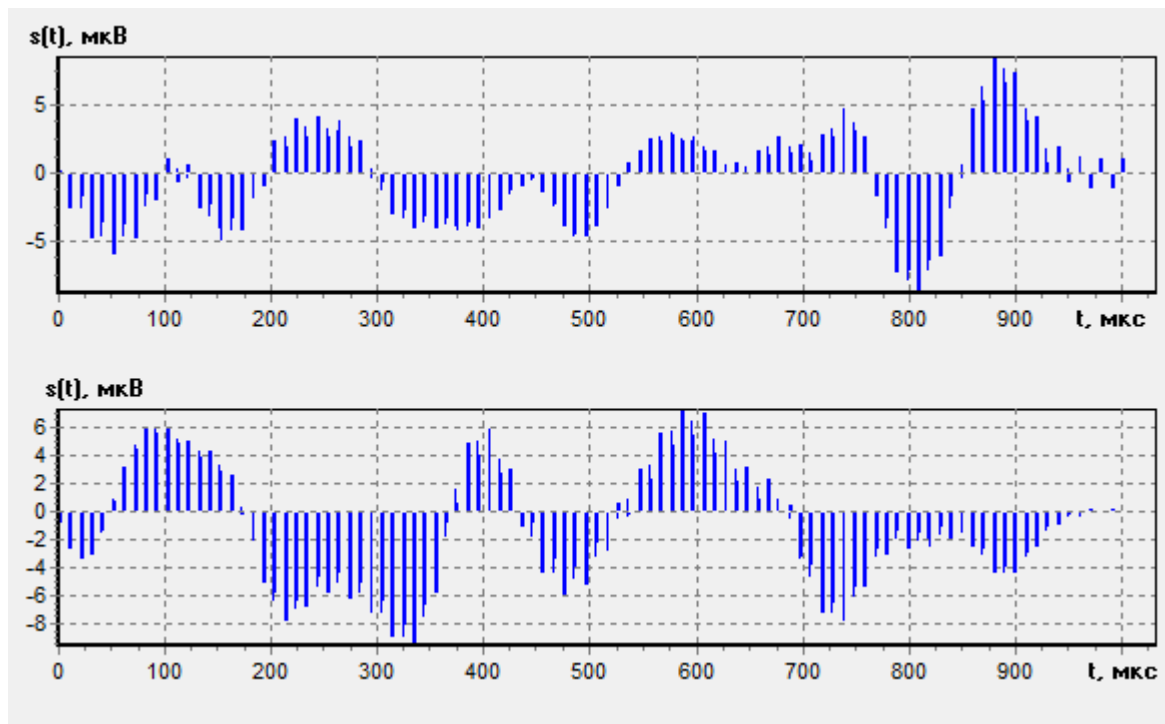


Рис. 4.2. Реалізація процесу у часі

Змодельований процес відповідає наступним характеристикам. Амплітуда імпульсу рівна 1 мкВ, а його тривалість 2 мкс. Кількість імпульсів в пачці для даного процесу 100. Перешкода з гауссівською формою спектру. Ширина спектру флуктуаційної перешкоди 20 кГц, доплерівська частота перешкоди 0 кГц. Величина діапазону однозначного визначення доплерівських частот від 0 до 100 кГц.

Амплітудний спектр даного процесу зображено на графіку (рис.4.3). Це набір амплітуд всіх гармонік, який зазвичай представляють діаграмою у вигляді вертикальних ліній, довжини яких пропорційні (у обраному масштабі) амплітудним значенням гармонічним складовим.

Місце на горизонтальній осі визначається частотою (номером гармоніки) даної складової.

Спектральні лінії знаходяться на відстані f друг від друга, де f – частотний інтервал, рівний частоті першої гармоніки f .

Автокореляційна функція процесу зображена на рис. 4.4.

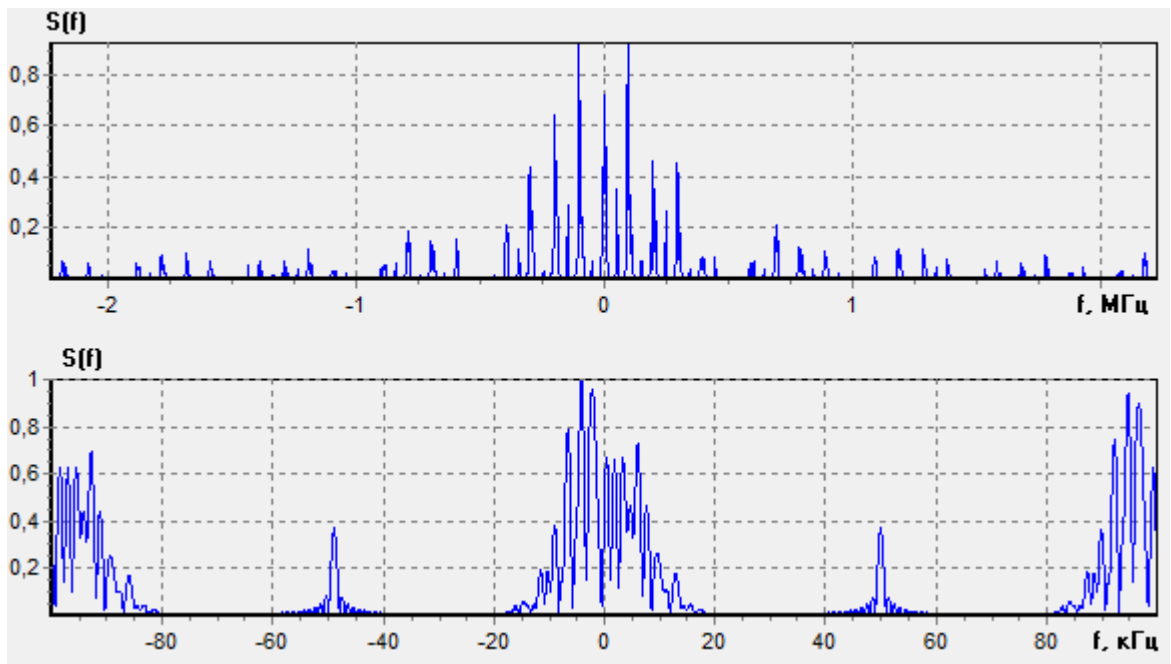


Рис. 4.3. Амплітудний спектр процесу

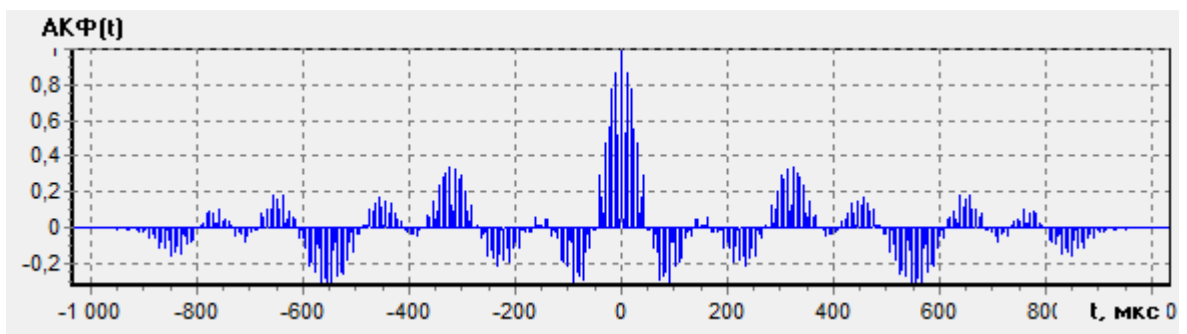


Рис. 4.4. Автокореляційна функція процесу

Автокореляційна функція – це характеристика сигналу, яка допомагає знаходити ділянки сигналу, що повторюються або визначати несучу частоту сигналу, приховану через накладення шуму та коливань на інших частотах.

Вважається, що придушення перешкод є ефективним, якщо вони придушені до рівня шумів.

На рис.4.5 показано як буде змінюватися коефіцієнт придушення перешкод при різних порядках фільтру.

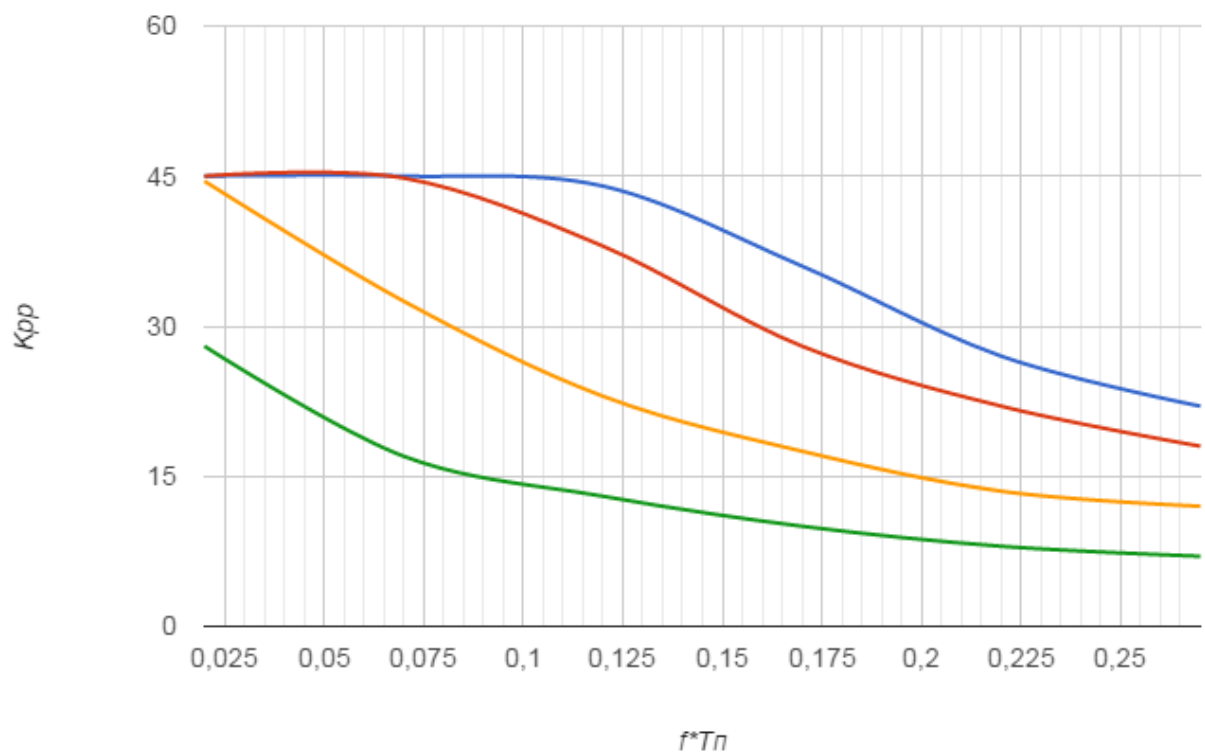


Рис. 4.5. Залежність коефіцієнту подолання перешкоди від ширини спектру флуктуаційної перешкоди при різних порядках фільтру

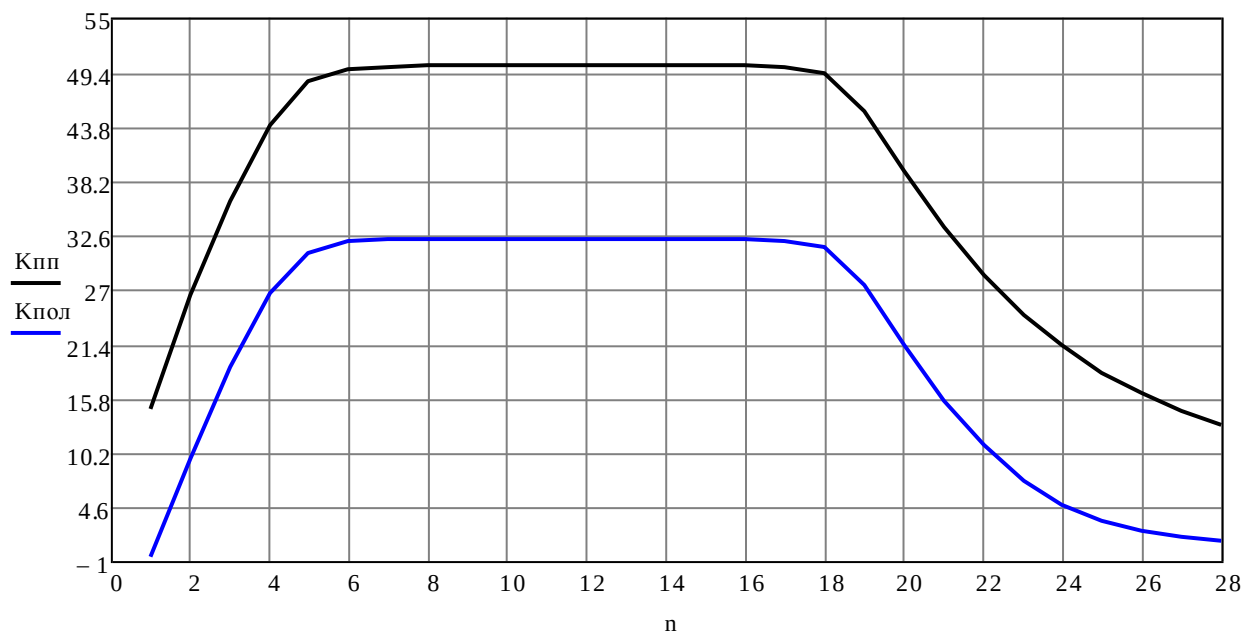


Рис. 4.6. Залежність коефіцієнту подолання перешкоди та коефіцієнту поліпшення від порядку фільтру ЧПК

На рис. 4.7 змодельована амплітудно-частотна характеристика фільтру та спектру вхідного сигналу.

Амплітудно-частотна характеристика – це залежність амплітуди вхідного сигналу від частоти вхідного сигналу, а також функція, яка описує дану залежність. Математично амплітуда – це модуль деякої комплексної функції від частоти.

При звуженні спектру збільшується точність прийнятого сигналу, проте надмірне звуження спектру АЧХ призводить до втрати даних.

Необхідно підбирати параметри фільтру так, щоб коефіцієнти подолання перешкоди та коефіцієнти покращення були максимально високими.

На рис. 4.6 наводиться залежність коефіцієнту подолання перешкоди та коефіцієнту поліпшення від порядку фільтру ЧПК при вище заданих параметрах.

Можна відзначити, що стрімке зростання ефективності для даного дослідження відбувалося до шостого порядку фільтру, після чого не відбувалося майже ніяких змін при подальшому збільшенні цього параметру. А після шістнадцятого порядку навпаки відбулося погіршення результатів фільтрації. Отже, можна зробити висновок, що регулювання фільтру підпадає під чіткі границі і необхідно в цих межах підбирати параметри фільтрації.

Це підтверджують графіки 4.7 – 4.9. На осі абсцис відкладено частоту, а по осі ординат відношення амплітуд вихідного та вхідного сигналу системи.

Програмою розраховуються коефіцієнти придушення перешкод та покращення сигналу (перешкода + шум).

Основним способом селекції корисного сигналу в даному випадку є збільшення часу запам'ятовування в пристроях віднімання до значення, при якому помітно проявляється рух цілі.

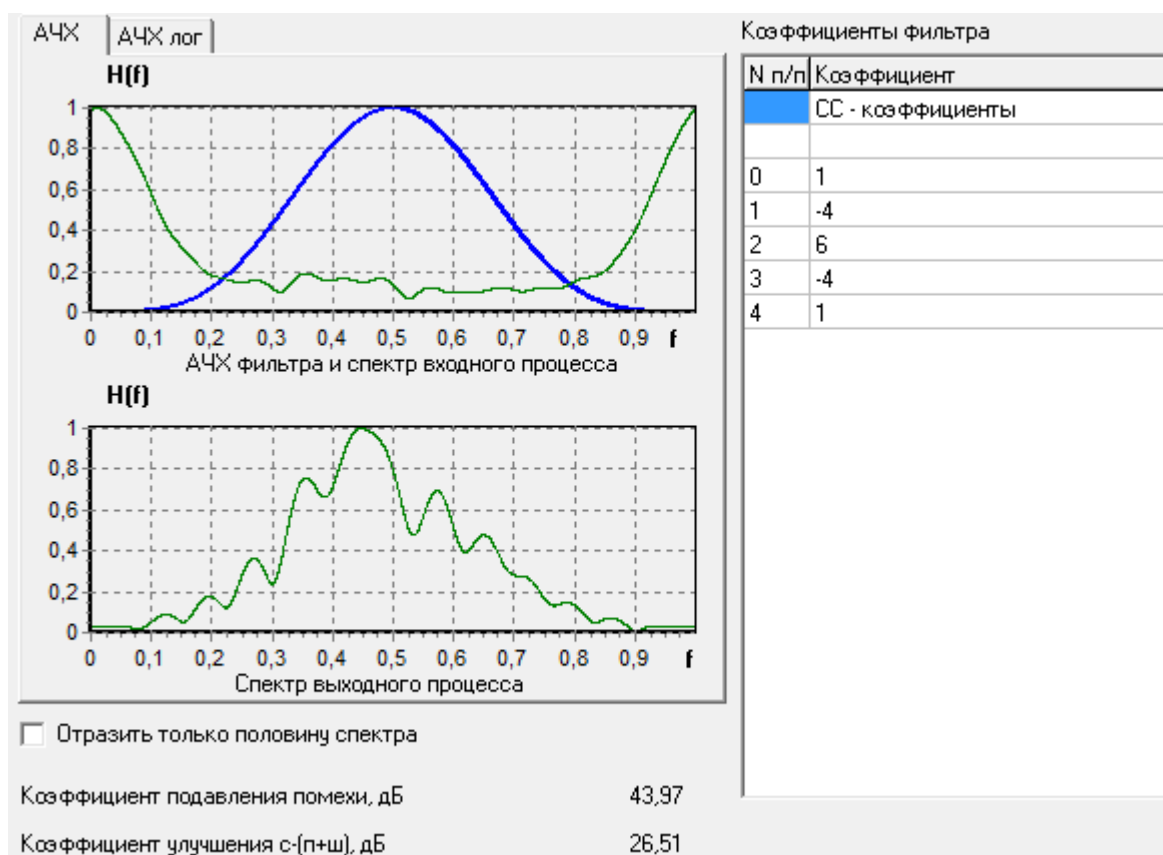


Рис. 4.7. Моделирование работы фильтра при максимально допустимой АЧХ

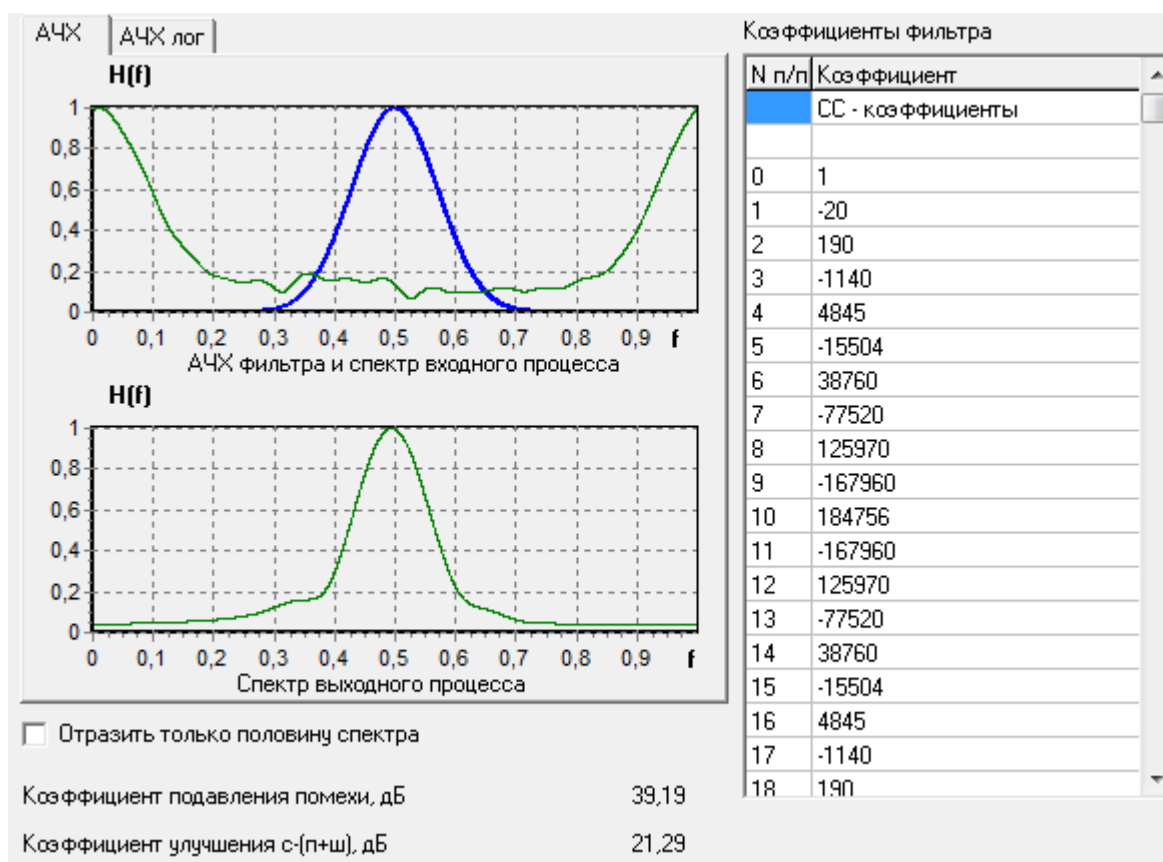


Рис. 4.8. Моделирование работы фильтра при минимально допустимой АЧХ

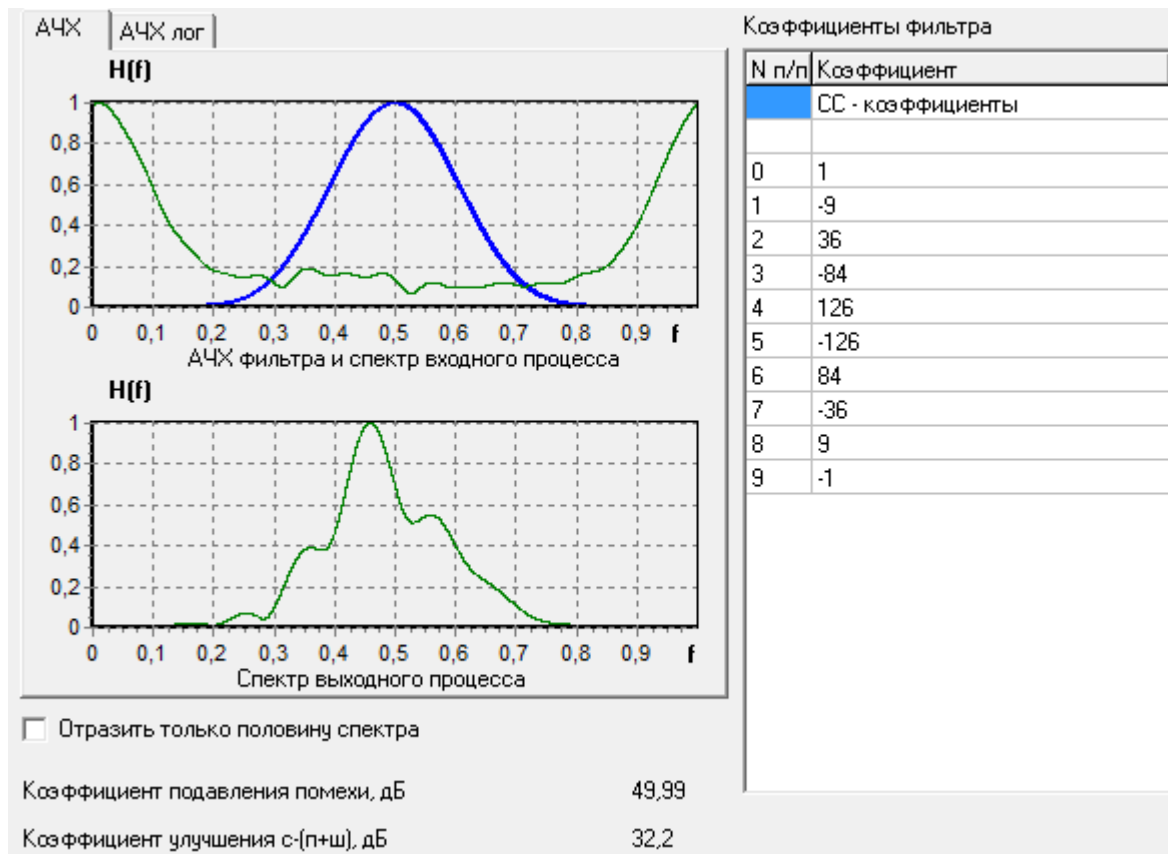


Рис. 4.9. Моделювання роботи фільтру при оптимальних параметрах фільтру з точки зору точності

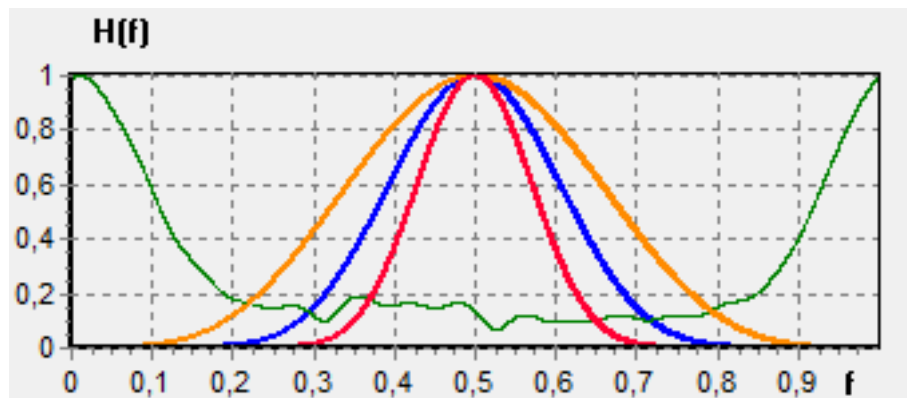


Рис. 4.10. Амплітудно-частотна характеристика при різних параметрах фільтру

Запропонований алгоритм виявлення при оптимальних параметрах фільтру з точки зору точності дає вигравш 11% у порівнянні з існуючими алгоритмами (рис. 4.10).

4.2. Рекомендації щодо технічної реалізації запропонованих алгоритмів

Для практичної реалізації адаптивних алгоритмів виявлення здебільшого використовуються багатопроцесорні системи, зокрема необхідно використовувати три процесори, що розташовуються на процесорній платі модуля, субмодуль цифрового прийому та ХОСТ-комп'ютер[41].

Субмодуль цифрового прийому виконує роль цифрового фазового детектору, на вхід якого поступають дані на проміжній частоті, а з виходу АЦП субмодуль дані поступають на пристрій цифрової обробки сигналів. Структурна схема розробленого пристрою цифрової обробки сигналів наведена на рис. 4.11

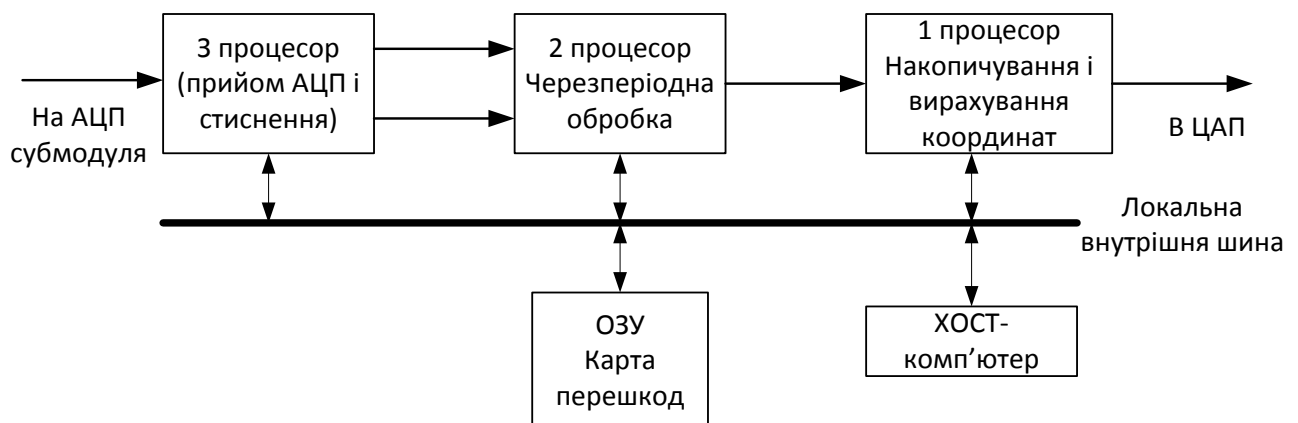


Рис. 4.11. Структурна схема пристрою ЦОС

Весь процес адаптивного виявлення розбитий на три основних етапи – це прийом даних від АЦП і стиснення, черезперіодна обробка радіолокаційних даних адаптивного алгоритму виявлення з використанням карти перешкод, накопичування і вирахування координат цілі[41].

Кожен процесор має свою початкову адресу простору пам'яті в пам'яті багатопроцесорної системи та відповідає за свій етап обробки даних.

Об'єднаний адресний простір допускає пряме міжпроцесорне звернення до внутрішньої пам'яті кожного процесору.

З регістрів FIFO АЦП субмодуль цифрового прийому 32-розрядні дані в режимі DMA (прямий доступ до пам'яті) зчитуються в пам'ять третього процесору[41].

В третьому процесорі прийнятий масив з 2048 відліків по дальності піддається процедурі стиснення. Процедура стиснення представляє собою фільтрацію прийнятих даних з використанням алгоритму ШПФ. Після цього виконується пересилка стиснених даних із третього процесору до другого процесору багатопроцесорної системи. Передача даних між процесорами здійснюється через лінк-порти. Шість 8-ми розрядних лінк-портів процесору синхронізуються двічі за цикл, що дозволяє за цикл кожному з них передати 16 біт. Дані лінк-порту упаковуються в 32-розрядні слова і можуть прямо зчитуватись ядром процесору або передаватися по DMA у внутрішню пам'ять процесора. Кожен лінк-порт має власні двобуферні вхідні та вихідні регістри. Це дозволяє досягнути максимальної продуктивності при передачі даних між процесорами до 240 Мбайт/с. Процесори ADSP-21160 дозволяють виконувати неподільну послідовність зчитування-модифікація-запис. Таким чином, зчитування в третьому процесорі даних з регістрів FIFO, виконання процедури стискання даних, прийнятих раніше, і передача даних, оброблених у попередньому циклі, у другий процесор проводиться паралельно[51].

У другому процесорі виконується черезперіодна обробка радіолокаційних даних адаптивними алгоритмами виявлення. Черезперіодна обробка виконується з використанням карти перешкод, яка розташована у внутрішній пам'яті багатопроцесорної системи (ОЗУ об'ємом 128 Мбайт) та змінюється в процесі роботи алгоритму адаптивного виявлення. Запис та зчитування даних з карти перешкод, розташованої в ОЗУ, у внутрішню пам'ять процесора і навпаки проводиться по каналам DMA. Після виконання черезперіодної обробки даних, отримана послідовність 32-розрядних чисел

через лінк-порт передається в перший процесор, в якому виконується накопичування та вирахування координат цілі. З першого процесора всі отримані дані передаються в ЦАП і в ХОСТ-комп'ютер, де реалізована програма виводу даних[41].

Робота третього процесора тактується сигналом з частотою 25 МГц. Інші процесори автоматично синхронізуються по запитам переривання від третього процесора. Кожен процесор системи може звертатися до внутрішньої пам'яті та до регістрів інших процесорів, що відображаються в карті пам'яті[51].

Для підвищення продуктивності при виконанні обчислень, що пов'язані з процедурами стискання і черезперіодної обробки даних, в процесорах системи організовано обмін даними по двом шинам: РМ і DM. В пам'яті даних DM зберігаються операнди даних, що є реальною частиною даних комплексного сигналу, що приймається в пам'яті програми РМ – дані, що є уявною частиною даних.

Управління роботою всіх трьох процесорів модуля здійснюється з ХОСТ-комп'ютера. З нього здійснюється початкова загрузка всієї багатопроцесорної системи, запуск процесорів і загрузка даних, необхідних для початкового програмування плати. Крім того, з ХОСТ-комп'ютера виконується управління системою в процесі роботи і відображення радіолокаційної інформації[41].

Прикладом такого модуля може бути модуль ADP160QPCI (рис. 4.12), який розроблений на базі чотирьох процесорів SHARC ADSP-21160 фірми Analog Devices і призначений для побудови систем збору та обробки даних в реальному масштабі часу у складі ЕОМ з системною шиною PCI. Збір даних здійснюється за допомогою субмодуль цифрового прийому, що встановлюється у гніздо інтерфейсу ADM, а цифрова обробка виконується за допомогою процесорів ЦОС SHARC ADSP-21160[43].

Сигнальний процесор ADSP-21160 працює на тактовій частоті 100 МГц, має два виконавчих пристрої для виконання SIMD операцій і внутрішню пам'ять 4 Мбіт. 64-розрядна шина процесора забезпечує одночасну вибірку двох 32-розрядних даних для їх паралельної обробки в процесорі. Процесор забезпечує обчислення 1024 точкового комплексного перетворення Фур'є з біт реверсними перестановками за 90мкс[43].

Плата ADP160PCI також може бути встановлена як на мобільному роботі, так і в PCI шину персонального комп'ютера та дозволяє виконувати програми у взаємодії з пристроями АЦП та ЦАП, котрі розташовуються на дочірній розширювальній платі ADM. При цьому є можливість загрузити програми ADSP-21160 і дані, здійснювати скидання процесора, переглядати пам'ять і ініціювати виконання програм. Для налагодження програмного забезпечення в середовищі VisualDSP до плати ADP160PC підключається внутрішньо схемний емулятор EZ-ICE[43].

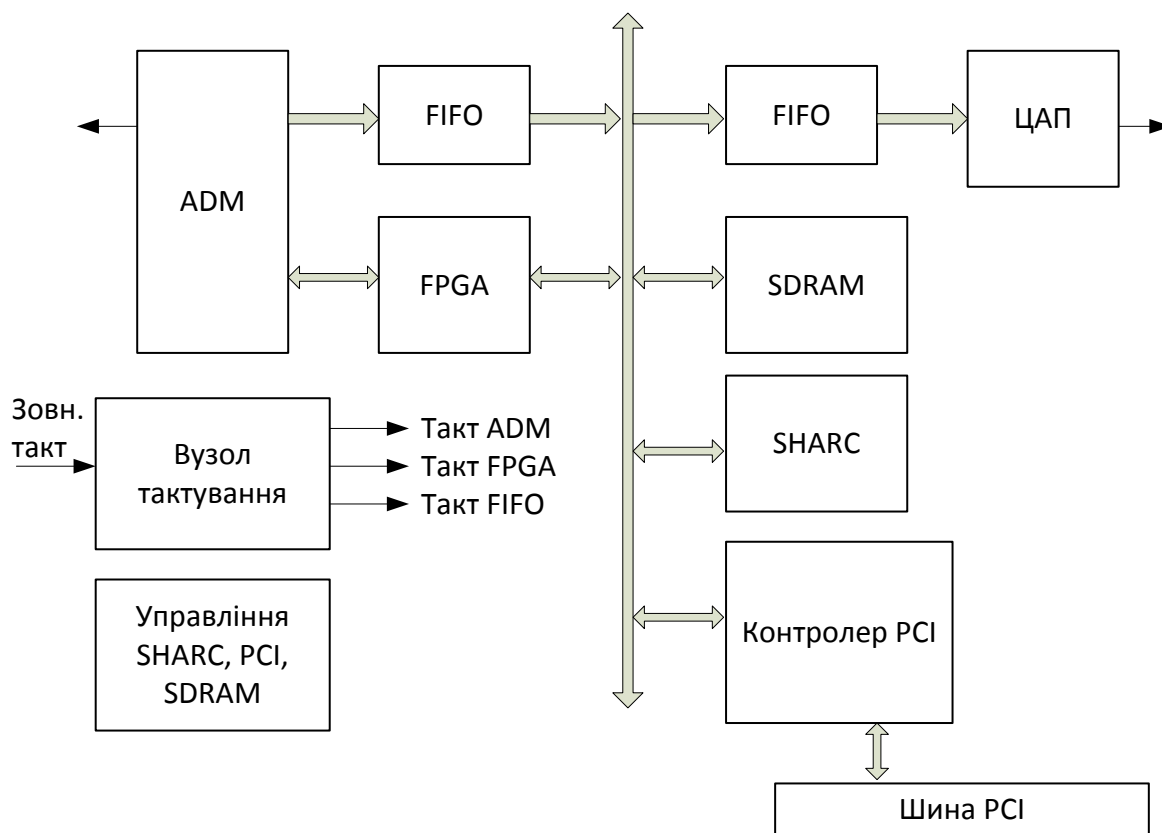


Рис. 4.12. Структурна схема плати ADP160PCI

Емулятор EZ-ICE дозволяє завантажувати програми, розпочинати та зупиняти виконання програми, спостерігати та змінювати стан регістрів та пам'яті, виконувати інші операції налаштування[51].

Ще одним прикладом є модуль DSP60V6 (рис.4.13) – це високопродуктивний мультипроцесорний модуль збору та цифрової обробки сигналів, що базується на процесорі ADSP-21060/62 SHARC (рис.4.4). Він дозволяє виконувати програми SHARC у взаємодії з пристроями, що розташовані на дочірній платі ADM, у якості якої можуть використовуватися модулі АЦП, ЦАП. ADP60V5 встановлюється у промислові крейти з розміром плат 6U[43].



Рис. 4.13. Зовнішній вигляд модуля DSP60V6

Модуль може працювати як автономно, так і з комп'ютером, який має шину VME. Він дає можливість завантажувати програми ADSP-21060/62 та дані через шину VME і/або через користувацькі виводи гнізда J2/P2 (X2),

здійснювати скидання процесорів, переглядати пам'ять і ініціювати виконання програм[43].

Модуль має у своєму складі процесорний кластер з шести процесорів ADSP2106x, продуктивністю 120 MFLOPs кожний. У процесорному кластері встановлюється до 1Mx48 біт оперативної статичної пам'яті і до 16Mx32 біт оперативної динамічної пам'яті. Кластер має в своєму адресному просторі VME інтерфейс і FLASH пам'ять 4Mx8 біт. Модуль може працювати незалежно від шини VME, у цьому випадку прийом і передача даних проводиться по 6 комунікаційним портам[43].

Висновки до розділу

1) Проведено комп'ютерне моделювання для визначення основних властивостей сигналів, перешкод та шумів, а також параметрів фільтру. Шляхом проведення експериментальних досліджень встановлено основні залежності та розраховано на скільки відсотків покращилося відношення сигнал/шум.

2) Запропонований алгоритм виявлення при оптимальних параметрах фільтру з точки зору точності дає вигравш 10% у порівнянні з існуючими алгоритмами.

3) Також розроблено рекомендації щодо технічної реалізації отриманих алгоритмів. Встановлено, що необхідно використання багатопроцесорних систем. Зокрема необхідно використовувати як мінімум три процесори, оскільки весь процес адаптивного виявлення розбитий на три основних етапи – це прийом даних від АЦП і стиснення, черезперіодна обробка радіолокаційних даних адаптивного алгоритму виявлення з використанням карти перешкод, накопичування і вирахування координат цілі

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Вступ до розділу

Результатом дипломної роботи є алгоритми та рекомендації щодо їх застосування для написання програмного забезпечення, що можуть втілитися у програмний продукт. Отже варто розглянути умови праці для розробників ПЗ. На програмістів можуть впливати такі шкідливі й небезпечні виробничі фактори як: електромагнітне та інфрачервоне випромінювання, шум, іонізуюче випромінювання та електрична, пожежна безпека та інші, від чого суспільство несе великі витрати. Враховуючи це, важливим моментом в комплексі заходів спрямованих на вдосконалення умов праці є заходи з охорони праці. Цим питанням з кожним роком приділяється все більше уваги, тому що турбота про здоров'я людини стала не тільки справою державної ваги, але й елементом конкуренції роботодавців у питанні залучення кадрів. Порушення здоров'я, викликані станом охорони праці на роботі, мають вигляд гострої соціально-економічної проблеми. Для успішного втілення в життя заходів з охорони праці необхідні знання в галузі фізіології праці, які дозволяють правильно організувати процес трудової діяльності людини, а також адміністративно-технічна підготовленість працівників.

Враховуючи те, що неможливо передбачити, в яких приміщеннях буде використовуватися рішення, яке розробляється в даній роботі, тому, в даному випадку виробниче приміщення – це відділ розробки і підтримки ПЗ.

5.2. Загальна характеристика приміщення

5.2.1. Опис виробничого приміщення

Довжина	6 м
Ширина	4 м
Висота	2.5 м

Загальна площа	24 м ²
Загальний об'єм	60 м ³
Кількість робочих місць	3
Площа на робоче місце	8 м ²
Об'єм на робоче місце	20 м ³
Кількість вікон	2

Розміри приміщення, зокрема площа та об'єм на одну людину в приміщенні відповідають нормам [4]: $S_1 = 8 > 6 \text{ м}^2$, $V_1 = 20 \geq 20 \text{ м}^3$

Стіни приміщення мають бути світлого зеленого кольору, стеля – біла, підлога – ламінат.

Згідно СН 181-70, враховуючи орієнтацію вікна (на південний захід), приміщення може бути виконане в будь-якій кольоровій гаммі, допустимому кольоровому контрасті між основними поверхнями і кількістю світла основних поверхонь інтер'єру.

Приміщення повинне бути обладнане системою кондиціонування та опалення, віконні прорізи обладнанні вертикальними жалюзіями, скло синього відтінку (покрите плівкою), матове внутрішнє оздоблення, підлога рівна.

Обладнання приміщення: столи – 3 штуки, висота 700мм, ширина 1200мм, глибина 750мм), ергономічні ортопедичні крісла з підлокітниками – 3 штуки, 2 шафи для зберігання книжок – висота 1500мм, ширина 3000мм, глибина 600мм кожної, ноутбуки – 3 штуки, оптичні мишки – 3 штуки, багатофункціональний пристрій друку/копіювання, телефон, свіч, кондиціонер відповідно до [1].

Робота в приміщенні виконується в одну денну зміну.

Згідно [4] при характері робіт 1а легкі допустима кількість кольору основних поверхонь інтер'єру – середня.

5.2.2. Характеристика обладнання кожного робочого місця

Характер роботи постійний. Кожне робоче місце обладнане столом та поворотним кріслом. Конструкція робочого столу відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання моніторів, клавіатури, і документів. Згідно з п. 4.5 [5].

Робочий стілець відповідає вимогам [5], висота і кут нахилу спинки та висота стільця регулюються.

Підставки для ніг, що вимагає [5] робоче місце немає.

Робоче місце оснащено монітором, що відповідає стандарту [6].

5.2.3. Оцінка стану мікроклімату

Згідно [7] Категорія робіт 1а – легка. Робота виконується сидячи і не потребує фізичного напруження. Робоче місце постійне.

Таблиця – 5.1. Параметри мікроклімату

Температура повітря град. С			Відносна вологість повітря %			Швидкість руху повітря м/с			Період року
Опт.	Допуст.	Факт.	Опт.	Допуст.	Факт.	Опт.	Допуст.	Факт.	
22-24	21-25	23	60-40	75	50	0,1	Не >0,1	0,1	Холодн.
23-25	22-28	24-25	60-40	55	50-60	0,1	0,2-0,1	0,1	Теплий

Загальний висновок: Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні відповідають нормативним.

Можливою небезпекою для працюючих може бути виділення в повітря робочої зони шкідливих речовин з покриття підлоги – лінолеуму.

Для запобігання шкідливого впливу на людей потрібно здійснювати регулярне провітрювання приміщення.

5.3. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

5.3.1. Освітлення

В приміщенні виконуються офісні роботи з використанням комп'ютерної техніки.

Таблиця 5.2 – Характеристики зорових робіт

Мінімальний об'єкт розпізнавання, мм	Контраст між об'єктом розпізнавання та фоном	Характеристика фону	Відносна тривалість зорової роботи в напрямку зору на робочу поверхню, %
1-5	Великий	Світлий	≥ 70

Згідно [3] Розряд зорової роботи V та підрозряд – Г.

Нормоване значення освітленості робочих поверхонь при загальному освітленні = 200лк. [3] Характеристика зорової роботи – малої точності.

Система природного освітлення – бокова. Система штучного освітлення – загальна.

Для природного освітлення табличне значення КПО e_n становить 1,0%.
Нормоване значення КПО e_m .

$$e_m = e_n \cdot t = 1,0 \cdot 0,9 = 0,9 = 0,9\% \text{ (округлення до десятих).}$$

Згідно табл.5.2 $m = 0,9$ для приміщень, розташованих в Києві, з вікнами, орієнтованими на північний схід.

На рис. 5.1 відображено план робочого приміщення.

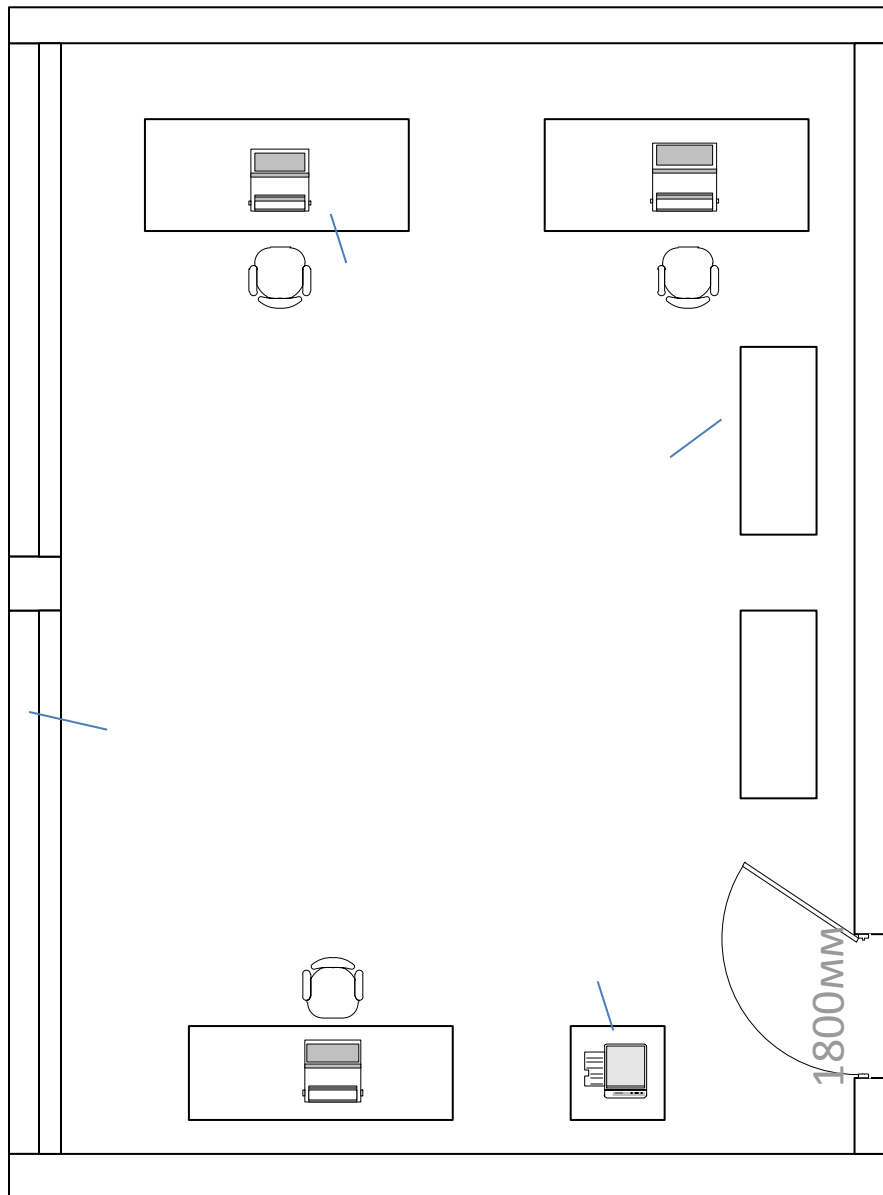


Рисунок 5.1 – План робочого приміщення

1 – сонцезахисні жалюзі; 2 – комп'ютеризоване робоче місце працівника; 3 – багатофункціональний пристрій друку/копіювання; 4 – шафа для зберігання книжок.

5.4. Інженерне рішення

5.4.1. Аналіз природного освітлення

Фактична площа вікон $S_{\phi} = 6,0 \text{ м}^2$

Згідно методики визначення S_{ϕ} освітленість всередині приміщення

$$E_{\text{вн}} = E_{\text{з}} + E_{\text{в}} + E_{\text{б}}$$

Попередній розрахунок природного освітлення при односторонньому боковому освітленні полягає у визначенні площі світлових прорізів за формулою:

$$100 * \frac{S_B}{S_{\Pi}} = \frac{e_n K_z \eta_B K_{\text{буд}}}{\tau_{\text{заг}} r_1} \quad (5.1)$$

S_B – площа вікон;

S_{Π} – площа підлоги (24 м²);

e_n – нормоване значення КПО;

K_z – коефіцієнт запасу (для виробничих приміщень $K_z = 1,3-1,5$);

η_B – світлова характеристика вікон

$K_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, що розташовані навпроти;

$\tau_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт пропускання світла дорівнює

$\tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5 = 0,6$;

r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення;

τ_1 – коефіцієнт пропускання світла матеріалу;

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в віконній рамі;

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в несучих конструкціях;

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях;

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в захисній сітці, що встановлюється під ліхтарями (приймається рівним 0,9);

$$S_B = \frac{S_{\Pi} e_n K_z \eta_B K_{\text{буд}}}{100 \tau_3 r_1} = \frac{24 * 0,9 * 1,4 * 15 * 1}{100 * 0,6 * 2} = 3,78 \text{ м}^2 \quad (5.2)$$

Площа вікон, що забезпечить нормоване значення КПО 3,78 м², фактична площа вікон 6,0 м²

Висновок: Фактична площа вікон здатна забезпечити нормоване значення КПО у виробничому приміщенні.

5.4.2. Аналіз штучного освітлення

Фактична освітленість виробничого приміщення:

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{л}} N n \eta}{S K_3 Z} \quad (5.3)$$

$F_{\text{л}}$ – світловий потік однієї лампи в світильнику = 1200 лм ;

N – кількість світильників = 6;

n – кількість ламп у світильнику = 3;

η – коефіцієнт використання світлового потоку = 0.35;

S – площа приміщення = 24 м²;

K_3 – коефіцієнт запасу = 1,4;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення = 1,1.

Згідно індексу приміщення:

$$i = \frac{L * B}{h(L + B)} = \frac{10 * 7}{4 * (10 + 7)} = 1.03 \quad (5.4)$$

Коефіцієнт використання світлового потоку світильниками типу ЛПО01 становить 31%.

$$E_{\phi} = \frac{1200 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0.35}{24 \cdot 1.4 \cdot 1.1} = 204.54 \text{лк.} \quad (5.5)$$

Нормоване значення освітленості робочих поверхонь при загальному освітленні дорівнює 200лк. [3]

Висновок: Фактичне значення освітленості приміщення відповідає нормованим значенням.

5.5. Аналіз випромінювань

Комп'ютери, що використовуються в приміщенні, пройшли відповідну сертифікацію і відповідають вимогам цих нормативних документів.

Яскравість екрану складає 250-300 кд/кв.м., що більше ніж мінімальні нормативні 100-120 кд/кв. Відношення яскравості екрану до яскравості навколишніх поверхонь не перевищує 3:1.

Відстань від очей оператора до екрану складає 70 см в нормальному робочому положенні.

Тривалість зосередженого спостереження для працюючих за ПЕВМ не перевищує 80 % усього часу спостереження.

Оператори ЕВМ роблять перерви 10-15 хвилин кожні 2 години одночасно з провітрюванням приміщення.

Усі перераховані параметри відповідають нормам.

Приміщення віддалене від автомагістралей, важкого промислового обладнання, залізничних шляхів та інших зовнішніх джерел шуму, отже, вплив зовнішніх джерел шуму вважаємо знехтовно малим.

Джерелами шуму всередині приміщення є шум від вентиляторів системних блоків комп'ютерів.

Усього в ноутбуках 3 вентилятори (3 ЕОМ по 1 вентиляторі, кожен по 18дБа, рівень звукового тиску: 18 дБ). Багатофункціональний пристрій «НР Р30» також є досить шумний, рівень звукового тиску 30дБ, рівень шуму 35 дБА.

Висновок:

а) максимальний рівень шуму у виробничому приміщенні знаходиться в допустимих межах. Рівень шуму 35,252 дБА знаходиться нижче рівня звичайних офісних приміщень;

б) джерел вібрації в цьому виробничому приміщенні немає;

в) потужних джерел інфрачервоного випромінювання, (Станки, трансформатори, нагрітий метал та ін.) в приміщенні немає. Джерелами інфрачервоного (теплого випромінювання) в даному виробничому приміщенні є персональні комп'ютери та принтери. При роботі кожного ПК в повітря приміщення з кожного ПК разом з теплим повітрям, яке видують вентилятори виходить до 0,3 кВт тепла. Інтенсивність опромінювання в приміщенні складає не більше 100Вт/м^2 , що нижче від показників [9] для

робіт категорії 1а. Для створення комфортних умов праці рекомендується кожні 1-2 години здійснювати провітрювання приміщення;

г) електромагнітні поля в виробничому приміщенні створюються персональними комп'ютерами та принтерами. Для зменшення електромагнітних полів всі корпуси пристроїв надійно під'єднані до контуру захисного заземлення;

д) монітори персональних комп'ютерів, що застосовуються в виробничому приміщенні мають сертифікат [6], який засвідчує, що рівень іонізуючого випромінювання знаходиться в межах допустимих норм;

е) джерелами лазерного випромінювання в виробничому приміщенні є лазерний принтер HP P30. Лазерне випромінювання, може викликати незначне роздратування очей або тимчасове ушкодження окремих ділянок сітківки (у цих апаратах використовуються дуже малопотужні лазери). Але практично ця подія неможлива. Лазерний блок перебуває в самій серцевині апарата, добратися до нього без викрутки й спеціальних навичок неможливо, а на шляху променю передбачені численні електричні й механічні блокування.

5.6. Пожежна безпека

5.6.1. Категорія приміщення по вибухо-пожежній небезпеці

Приміщення відноситься до категорії В по вибухонебезпечній і пожежній небезпеці за ознакою перебування в ньому важкогорючих твердих й волокнистих речовин і матеріалів: ПК, моніторів, паперу тощо.

В приміщенні є 3 вогнегасники ВУ-3 (об'єм 5 літрів, маса заряду – 3кг). Отже, на площі 24 м². є 4 вогнегасники, що задовольняє вимогам ППБУ-2004 (на 20 квадратних метрів необхідно 3 вогнегасника).

Технічними засобами виявлення пожежі обрані димові оптико-електронні автономні автоматичні сповіщувачі ДІП-43М (ІП-212-43М) у

кількості двох штук, встановлені на стелі приміщення на відстані, обумовленій в [11].

На стіні в приміщенні та в коридорі знаходиться план евакуації людей при пожежі. Двері в бік аварійного виходу відкриваються назовні. На шляху до дверей немає перешкод для руху персоналу. Всередині біля входу знаходиться вимикач електроенергії в межах всього приміщення. В коридорі знаходиться вимикач світла в офісному блоці, на 1 поверсі – вимикач світла в будівлі.

В приміщенні знаходяться наступні пожежонебезпечні матеріали:

- а) документація паперова на полицях шафи для документів;
- б) папір для принтерів;
- в) меблі дерев'яні (столи, полиці та шафи.);
- г) пластмасові корпуси телефонних апаратів, принтерів та моніторів.

Вибухонебезпечних речовин в приміщенні немає.

Виходячи з властивостей та кількості пожежо- та вибухонебезпечних матеріалів та речовин, визначено категорію приміщення за вибухопожежною небезпекою згідно [10] – В (пожежонебезпечне). Ступінь вогнестійкості будівлі III. (Згідно [11])

Можливими джерелами запалювання в приміщенні, які можуть привести до спалахування, займання пожежонебезпечних речовин і матеріалів є короткі замикання та перевантаження в електрообладнанні та в електропроводці.

Можливими причинами запалювання можуть бути перевантаження електричної мережі внаслідок несправності в комп'ютерному обладнанні та в електрочайнику.

Класи можливої пожежі – це клас А – горіння твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір) та клас Е пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

5.6.2. Система попередження пожеж

Система попередження пожеж реалізується наступним чином:

- приміщення обладнано електричними автоматами, які повинні відключити електромережу в разі короткого замикання в електрообладнанні;
- електрична проводка в приміщенні скрита(дроти в стіні);
- електричні кабелі, які під'єднують електрообладнання до електромережі мають мінімально необхідну довжину і не перетинаються на підлозі;
- кількість паперу для друку документів в приміщенні мінімально необхідна;
- в приміщенні кожний день здійснюється вологе прибирання для запобігання накопичування пожежонебезпечного пилу.

5.6.3. Система протипожежного захисту

Ступінь вогнестійкості будівлі III. (Згідно [11]). Система протипожежного захисту спроектована наступним чином:

- в приміщенні є мережа протипожежної сигналізації, датчики якої знаходяться на стелі, а звуковий пристрій попередження про пожежу знаходиться в коридорі поверху.
- в приміщенні є вогнегасник, який належним чином перевірений і опломбований відповідною організацією.

Для виявлення пожежі приміщення оснащено димовими оптико-електронними автономними сповіщувачами (8 штук) марки ДІП-43М (ІП-212-43М), що вмонтовані в стелю приміщення. Сигнал пожежної небезпеки переходить до пульта управління, що знаходиться на 1-му поверсі. Для гасіння пожеж всередині будівель встановлено автоматично діючі спринклерні установки.

В коридорі поверху, на якому знаходиться приміщення на відстані 1.5 м від вхідної двері знаходиться шафа пожежного крану з пожежним краном і кнопкою виклику пожежної тривоги. при натисканні кнопки в шафі пожежного крану на пульт диспетчера поступає сигнал про пожежну тривогу, включаються пожежні насоси і в систему протипожежного водопостачання поступає вода.

Система організаційно-технічних засобів, спрямованих на забезпечення пожежної та вибухової безпеки приміщення включає в себе:

- первинний інструктаж кожного працівника перед початком трудової діяльності на підприємстві;
- обов'язковий щорічний інструктаж з записом в відповідному журналі;
- наявність відповідних правил та інструкцій, з якими обов'язково повинен бути ознайомлений кожен працівник;
- призначення особи відповідальної за пожежну безпеку.

5.6.4. Електробезпека

Трансформатор, від якого приміщення живиться електричною енергією знаходиться в окремій будівлі в приміщенні, доступ до якого обмежений.

Напруга на високій стороні 5КВ, напруга на низькій 380/220В с глухим заземлення нейтралі.

Загальний вимикач електричної енергії в приміщенні розташований в електричному щиті.

Електрична проводка виконана в стінах потай.

На схемі виробничого приміщення вказані всі споживачі електричної енергії (3 робочих місця, обладнані комп'ютерами та принтер). До кожного робочого місця підведено блок електричних розеток 220В.

Все комп'ютерне обладнання виконано за класом захисту від ураження електричним током – «І». Клас І – живлення установки електричним струмом виконано так, що в разі підключення її до електричної мережі в першу чергу

гарантовано забезпечується з'єднання її корпусу з заземлювачем (нульовим захисним провідником), а в разі її відключення – від'єднання її корпусу від заземлювача (нульового захисного провідника) здійснюється в останню чергу;

Категорія приміщення щодо небезпеки ураження людини електричним струмом – це приміщення без підвищеної небезпеки.

Приміщення сухе, без наявності струмопровідного пилу, без хімічно активних речовин.

Захисні міри, що застосовуються у приміщенні і забезпечують безпечну експлуатацію електрообладнання у нормальному режимі його роботи:

- обладнання, що застосовується в приміщенні повинно експлуатуватись тільки с закритими корпусами. В принтерах, які використовуються в приміщенні є система блокування включення живлення при відкритих корпусах;
- кабелі, якими обладнання підключене до розеток електроживлення мають подвійну ізоляцію;
- струмопровідні частини обладнання в робочому стані недоступні персоналу.

Захисні міри, що застосовуються у приміщенні і забезпечують безпеку людей в разі аварійного стану електрообладнання:

Обладнання підключене до контуру захисного заземлення через кабель живлення. Контакт заземлення довший за контакти «220В» та «0», тому він підключається першим і відключається останнім при вимкненні обладнання з розетки.

В приміщенні може статися електротравма тільки при невиконанні правил внутрішнього розпорядку, при розкритті корпусів ПК і включенні блоків живлення ПК в електромережу без захисних корпусів.

Організаційними заходами, які забезпечують безпеку робіт в порядку поточної експлуатації, є:

- визначення необхідності і можливості безпечного виконання робіт в порядку поточної експлуатації;
- складання і затвердження переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації, визначених в пунктах 3.15.3 (1,2,3) і 3.14.8 цих Правил, та додаткових робіт стосовно до місцевих умов із затвердженням цього переліку керівником;
- призначення виконавців (виконавця) робіт з групою з електробезпеки відповідно до характеру робіт, що виконуються.

5.7. Безпека в надзвичайних ситуаціях

В приміщенні, що розташовано в п'ятиповерховій будівлі, виявлено та проведено аналіз потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робочих місцях, тепер виконаємо аналіз безпеки працівників в надзвичайних ситуаціях, так як безпека життя та здоров'я людей в процесі трудової діяльності є основним завданням охорони праці. Залежно від причин виникнення, фізичної сутності та впливу на навколишнє середовище надзвичайні ситуації бувають природного, техногенного, соціально-політичного та воєнного характеру.

Проаналізуємо безпеку в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру, а саме оцінимо та спрогнозуємо можливі наслідки під час аварії з вибухом.

5.7.1. Оцінювання та прогнозування можливих наслідків під час аварії з вибухом

Вихідні дані:

- відстань від виробничого приміщення до місця аварії (вибуху) $r_0 = 1.5\text{км}$;
- тип вибухової речовини – пропан;

- маса вибухової речовини $q = 500$ т;

Характеристики елементів виробничого приміщення:

- будівля виробничого приміщення: виробнича, одноповерхова, цегляна;
- межа вогнестійкості несучих стін – 1 год, перекриттів – 0,25 год;
- обладнання: електронно-обчислювальна апаратура в виробничому приміщенні, трубопроводи на естакадах, кабельні мережі наземні;
- категорія будівлі з пожежної небезпеки – В;
- щільність забудови об'єкта $\sigma = 35$ %.

1) Визначення параметрів ОУ і можливого попадання виробничого приміщення в зону ураження (ЗУ):

Параметри визначаємо за графіком (рис. 5.2).

Радіус ОУ R_{oc} і радіус зони слабких руйнувань R_{cl} (на зовнішній межі якої $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа) за вибуху продукту масою $Q = 500$ т становить $R_{oc} = R_{cl} = 1600$ м.

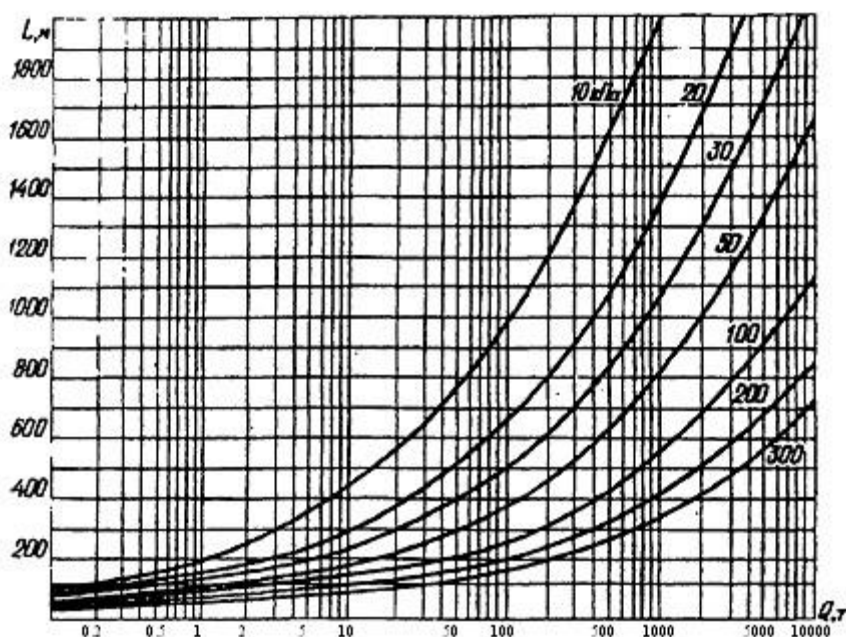


Рисунок 5.2 – Графік для визначення радіусів зон руйнування залежно від маси вуглеводневого продукту

Радіус зони середніх руйнувань $R_{\text{ср}} = 1070$ м, якщо $\Delta P_{\text{ф}} = 20$ кПа;
сильних $R_{\text{сип}} = 850$ м, якщо $\Delta P_{\text{ф}} = 30$ кПа; повних $R_{\text{п}} = 650$ м, якщо $\Delta P_{\text{ф}} = 50$ кПа.

Порівнюємо відстань від виробничого приміщення до місця аварії $R_0 = 1.5$ км і радіус ОУ $R_{\text{ос}} = 1.6$ км.

Оскільки $R_0 < R_{\text{ос}}$, виробниче приміщення може опинитися в осередку ураження ударної хвилі вибуху в зоні слабких або середніх руйнувань.

2) Визначення величини надмірного тиску УХ, очікуваного в районі цеху ($\Delta P_{\text{ф}}$).

Визначаємо радіус зони детонаційної хвилі (зони I):

$$r_1 = 17.5 \sqrt[3]{Q} = 17.5 \sqrt[3]{500} = 138.8 \text{ м} \quad (5.6)$$

Визначаємо радіус зони дії продуктів вибуху (зони II):

$$r_{II} = 1.7 r_1 = 1.7 \cdot 138.8 = 235.9 \text{ м} \quad (5.7)$$

Порівнюючи відстань від виробничого приміщення до місця аварії ($R_0 = 1500$ м) з радіусом зони I (138,8 м) і зони II (235,9 м), робимо висновок, що об'єкт опиниться за межами цих зон, тобто в зоні повітряної УХ (зона III).

Визначаємо надмірний тиск УХ у зоні III на відстані $R_0 = 1000$ м за формулою:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \frac{700}{2.67 \left(\sqrt{1 + 7.66 \cdot 10^{-5} \frac{R_0^3}{Q}} - 1 \right)} = \frac{700}{2.67 \left(\sqrt{1 + 7.66 \cdot 10^{-5} \frac{1500^3}{500}} - 1 \right)} = 12 \text{ кПа.} \quad (5.8)$$

Висновок. У місці розташування виробничого приміщення очікується максимальний надмірний тиск 12 кПа. Виробниче приміщення може опинитися в зоні легких руйнувань.

3) Визначення ступеня руйнувань елементів виробничого приміщення та очікуваних збитків.

Визначаємо можливий ступінь руйнувань кожного елемента виробничого приміщення за величиною $\Delta P_{\phi} = 12$ кПа (табл. 5.4).

Таблиця 5.3 – Ступінь руйнування об'єкта залежно від надмірного тиску ударної хвилі P_{ϕ} , кПа

Елементи об'єкта	Ступінь руйнувань			
	Слабкі	Середні	Сильні	Повні
1. Виробничі, адміністративні будівлі та споруди				
1. Бетонні та залізобетонні будинки та споруди антисейсмічної конструкції	25–35	80–120	150–200	200
2. Споруди з легким металевим каркасом і безкаркасні конструкції	10–20	20–30	30–50	50–70
3. Споруди зі збірного залізобетону	10–20	20–30	–	30–60
4. Складські цегляні будинки	10–20	20–30	30–40	40–50
5. Адміністративні багатоповерхові будівлі з металевим або залізобетонним каркасом	20–30	30–40	40–50	50–60
6. Цегляні малоповерхові будівлі (один–два поверхи)	8–15	15–25	25–35	35–45

Таблиця 5.3 – Ступінь руйнування об'єкта залежно від надмірного тиску ударної хвилі Рф, кПа (продовження)

7. Цегляні багатоповерхові будівлі (три поверхи та більше)	8–12	12–20	20–30	30–40
2. Деякі види обладнання				
8. Верстати важкі	25–40	40–60	60–70	–
9. Верстати середні	15–25	25–35	35–45	–
10. Верстати легкі	6–15	–	15–25	–
11. Крани та кранове обладнання	20–30	30–50	50–70	70
12. Стрічкові конвеєри в галереї на залізобетонній естакаді	5–6	6–10	10–20	20–40
13. Ковшові конвеєри в галереї на залізобетонній естакаді	8–10	10–20	20–30	30–50
14. Електродвигуни потужністю від 2 до 10 кВт, відкриті	30–50	50–70	–	80–90
15. Трансформатори від 100 до 1000 кВ	20–30	30–50	50–60	60
16. Генератори на 100–300 кВт	30–40	50–60	–	–
17. Відкриті розподільні пристрої	15–25	25–35	–	–
18. Масляні вимикачі	10–20	20–30	–	–
19. Електронно-обчислювальна апаратура	5–10	10–20	20–30	30

Таблиця 5.3 – Ступінь руйнування об’єкта залежно від надмірного тиску ударної хвилі P_f , кПа (закінчення)

3. Комунально-енергетичні мережі та споруди				
20. Газгольдери та наземні резервуари хімічних речовин	15–20	20–30	30–40	40
21. Наземні металеві резервуари та баки	30–40	40–70	70–90	90
22. Кабельні підземні мережі	200–300	300–600	600–1000	1500
23. Кабельні наземні мережі	10–30	30–50	50–60	60
24. Трубопроводи наземні	20	50	130	–
25. Трубопроводи на металевих або залізобетонних естакадах	20–30	30–40	40–50	–

Очікувані збитки визначаємо за табл. 5.5, виходячи із ступеня руйнувань елементів. Результати заносимо в підсумкову табл. 5.7.

Таблиця 5.4 – Збитки залежно від ступеня руйнувань елементів об’єкта

Ступінь руйнувань	Слабкі	Середні	Сильні	Повні
Збитки, зруйновані елементи обладнання, %	10–30	30–50	50–90	90–100

4) Визначення можливих утрат виробничого персоналу.

За $\Delta P_f = 12$ кПа люди отримують травми:

а) на відкритій місцевості – легкого ступеня (легка контузія організму, часткова втрата слуху);

б) у будинку виробничого приміщення за середнього ступеня руйнування – до 50 % людей отримають додатково ураження уламками зруйнованих елементів будівлі, розбитим склом та іншими предметами.

5) Визначення можливого характеру пожеж на об'єкті.

Таблиця 5.5 – Можлива пожежна обстановка після вибуху

Характер забудови	Ступінь вогнестійкості будівель	ΔP_{ϕ} , кПа	Очікувана обстановка	
			Упродовж перших 30 хв	Через 1–2 год після вибуху
Міська забудова або виробництво В, Г, Д категорій пожежної безпеки	IV, V	10–20	Окремі пожежі	Суцільні пожежі, щільність забудови становить, %:
	III	менше 20		Щ > 10
	I, II	20–50		Щ > 20 Щ > 30
Виробництво А і Б категорій пожежної безпеки	–	10–50	Окремі пожежі, що швидко перетворюються в суцільні і супроводжуються вибухами та руйнуванням виробничого устаткування	

За табл. 5.6 визначаємо, що на об'єкті можуть виникнути окремі пожежі з переходом у суцільні через 1–2 год, виходячи з того, що:

- категорія виробництва за пожежною безпекою – В;
- очікується надмірний тиск УХ $\Delta P_{\phi} > 10$ кПа;
- щільність забудови Щ = 35 %;
- ступінь вогнестійкості будівель – III (Згідно [11]).

Таблиця 5.6 – Результати прогнозування та оцінювання наслідків аварії

В якій зоні руйнувань об'єкт. Надмірний тиск	Елементи цеху	Ступінь руйнування	Очікувані збитки, %	Характер пожеж	Ступінь ураження виробничого персоналу
Зона середніх руйнувань, $\Delta P_{\phi} = 12$ кПа	Будівля	слабкі	10–30	Окремі пожежі з переходом у суцільні через 1–2 год	Легкі травми. Ті, що в будівлі – до 50 % –
	Верстати	слабкі	10–30		отримують пошкодження
	Трубопроводи	слабкі	10–30		уламками скла і конструкцій
	Кабельні мережі	слабкі	10–30		
	Контрольно-вимірвальна апаратура	середні	30–50		

Висновки до розділу

1) У разі аварії з вибухом виробниче приміщення може опинитися в зоні слабких руйнувань. Сильних руйнувань зазнає електронно-обчислювальна апаратура, тому виробниче приміщення нестійке до дії УХ.

2) Для зменшення наслідків впливу вибуху на виробниче приміщення здійснити такі заходи:

- укріпити будівлю виробничого приміщення установленням додаткових колон, ферм, підкосів;
- трубопроводи та кабельні мережі прокласти під землею;
- створити 50%-ний запас електронно-обчислювальної апаратури і зберігати в безпечному місці;
- установити на вікнах металеві сітки, щоб розбите скло не потрапляло в приміщення виробничого приміщення;
- порушити питання щодо перенесення вибухонебезпечного об'єкта на більшу відстань або зменшення вибухової речовини до безпечної кількості.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1) Визначено, що для управління рухомими об'єктами з дистанційними сенсорами ключовими моментами є розробка самих алгоритмів роботи окремих модулів, рішень принципових питань можливої реалізації способів обробки сенсорної інформації оцінка достатності отриманих даних для управління та навігації, формування операційного середовища мобільних роботів. Для дистанційних сенсорів необхідно запропонувати алгоритми отримання максимуму інформації від сигналів.

2) В результаті проведеного дослідження вперше запропоновано:

- синтезовані алгоритми придушення пасивних радіолокаційних перешкод великої інтенсивності;
- архітектура програмно-апаратного комплексу системи управління мобільними об'єктами для дослідження ефективності використання запропонованих алгоритмів з використанням радіолокаційних засобів.

3) Розроблені методи дослідження та розрахунку, а також результати експериментів пропонується застосовувати на етапі розробки або модернізації рухомих об'єктів з дистанційними сенсорами. Вони дають змогу здійснювати вибір ефективних алгоритмів роботи і параметрів необхідних для цих інформаційно-вимірювальних та управляючих систем.

Було використано аналітичні, обчислювальні та експериментальні методи верифікації запропонованих рішень, а також висновок підтверджено даними комп'ютерного моделювання.

Експерименти проводились у тестовому програмному середовищі та показали достатню адекватність запропонованих алгоритмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. СНиП 2.04.05-92. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
2. ДБН В.2.5.-28-2006. Природне і штучне освітлення. Мінбуд України, 2006 – 76 с.
3. СН 181-70 Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий.
4. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.
5. ТСО 5.1 Стандарты эргономичности и безопасности электронного оборудования.
6. ДСН 3.3.6.042-99 Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
7. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
8. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
9. НАПБ Б.03.002-2007. Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
10. СНиП 2.01.02–85. Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы.
11. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методика определения.
12. ДНАОП 0.00-1.31-99 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин».
13. НАПБ Б.03.002-2007. Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
14. СНиП 2.01.02–85. Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы.

15. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методика определения.
16. ДНАОП 0.00-1.31-99 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин».
17. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 440 с.
18. Устройства череспериодной компенсации пассивных помех: Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Радиотехнические системы» / НГТУ; Сост.: Д.А. Иванников. Н.Новгород, 2011, – 19 с .
19. Информационные технологии в радиотехнических системах. Учебное пособие/В.А.Васин, И.Б.Власов, Ю.М.Егоров и др.; под ред. И.Б.Федорова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. – 672с.
20. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов.- М.: Радиотехника, 2007, 320с.
21. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Я. Д. Ширман, Ю. И. Лосев, Н. Н. Минервин и др. Под ред. Я. Д. Ширмана. М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. – 828 с.
22. Оппенгейм Аллан В. (ред.). Применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1980. – 552 с.
23. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника»/Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; Под ред. Ю. М. Казаринова. — М.: Высш. шк., 1990. — 496 с.
24. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства – Москва: Издательство "Советское Радио", 1975 год – 336 стр.
25. Ржепішевський А.Л. Аналіз підходів до систем розпізнавання перешкод в умовах промислового та побутового застосування мобільних роботів / А.Л. Ржепішевський // Young Scientist. – 2014. – №8(11) . – с.27-29.
26. Digital Signal Processing, – Steven W. Smith – 1999, – 630p.

27. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
28. Максимов М.В. (ред.) и др. Защита от радиопомех. – М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.
29. Батанов А.Ф. Робототехнические комплексы для обеспечения специальных операций / Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В. // Специальная техника. – 1999 . – №6. – с. 10-17.
30. Како Н. Датчики и микро-ЭВМ / Како Н., Яманэ Я. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.
31. Ермолов И.Л. Автономность мобильных роботов, ее сравнительные меры и пути повышения / И. Л. Ермолов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 6. – С. 23-28.
32. Кирильченко А.А. Способы представления информации о местности в системе управления мобильного робота : Препринт № 80 / Кирильченко А.А., Кугушев Е.И., Ярошевский В.С. М.:Ин-т прикл. математики АН СССР, 1982. – 27 с.
33. Классификация датчиков, основные требования к ним [Электронный ресурс] : Электротехническая энциклопедия / Нікулін С.А. – Режим доступа до статті. http://electrolibrary.info/subscribe/sub_16_datchiki.htm
34. Как работает ультразвуковой дальномер. Электроника [Электронный ресурс] : Роботоша, 2014 – Режим доступа до статті. <http://robotosha.ru/electronics/how-works-ultrasound-meter.html>
35. Сенсор. Технология [Электронный ресурс] : Популярная робототехника, 2012 – Режим доступа до статті. <http://www.poprobot.ru/ideologia/sensor>
36. Преимущества и недостатки лазерных дальномеров [Электронный ресурс] : 62UA – Режим доступа до статті. <http://www.62.ua/article/663058>

37. Радиолокационная станция [Электронный ресурс] : Википедия. Свободная энциклопедия, 2015 – Режим доступа до статті. https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиолокационная_станция
38. Андреев В.П. Разработка новых принципов построения информационно-измерительных систем технического зрения мобильных роботов: автореф. дис. д.т.н. / В.П. Андреев – 2011. – 19с.
39. Пряничников В.Е. Исследование возможностей и путей совершенствования информационно-измерительных и управляющих систем мобильных роботов с дистанционными сенсорами: автореф. дис. к.т.н. / В.Е. Пряничников – К.: МГУПИ, 2010. – 33с.
40. Михеев П.В. Синтез оптимальных и квазиоптимальных методов пространственно-временной обработки сигналов в импульсных радиолокационных системах: автореф. дис. к.т.н. / П.В. Михеев – НГУЛ, 2007. – 18с.
41. Светлов А.Ю. Адаптивные алгоритмы обнаружения радиолокационных целей на фоне пассивных помех в когерентно-импульсных РЛС: диссертация. к.т.н. / А.Ю. Светлов – ЮУГУ, 2006. – 173с.
42. Янакова Е.С. Алгоритмы комбинированной обработки сигналов и управления для радиоэлектронных приборных комплексов охраны с активными датчиками: диссертация д.т.н. / Е.С. Янакова – ЗАО «ЭВИИС», 2014. – 425с.
43. Высокопараллельные вычислители и нейроускорители производства АОЗТ "Инструментальные системы" [Электронный ресурс] : Библиотека on-line/ / В.А. Шахнов, А.И. Власов, А.С. Кузнецов, Ю.А.Поляков, 2000 – Режим доступа до статті. <http://citforum.ru/hardware/neurocomp/>
44. Галеев Р.Г., Краснов Т.В. Эффективность подавления структурных помех в широкополосной радионавигационной системе / Р.Г. Галеев, Т.В. Краснов – СФУ, 2011. – 58-67с.

45. Сурков А.А. Анализ и синтез систем междупериодной комбинированной обработки многочастотных сигналов на фоне пассивных помех. автореф. дис. к.т.н. / А.А. Сурков – 2003. – 21с.
46. Першин А.С. Методы пространственной фильтрации помех / А.С. Першин – Доклады ТУСУРа, № 3 (29), 2013 – 43-46.
47. Демин А.В., Витяев Е.Е. Логическая модель адаптивной системы управления / А.В. Демин, Е.Е. Витяев – Нейроинформатика, 2008, том 3, №1. – 79 –107с.
48. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес.; отв. ред. С.М. Калупов; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. — М.: Наука, 2006. — 376 с.
49. Богомолов Н.Е. Язык реализации алгоритмов управления в робототехнике / Богомолов Н.Е., Лазутин Ю.М., Ярошевский В.С. // Программное обеспечение промышленных роботов: Сб. научн. трудов / АН СССР, Научный совет "Роботы и РТС". – М.: Наука. 1986. – С. 223-238.
50. Носков В.П. Опыт решения задачи автономного управления движением мобильных роботов / Носков В.П., Рубцов И.В. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 21-24.
51. Крылов Е.Т. Быстродействующий аналого-цифровой преобразователь для микропроцессорных систем / Крылов Е.Т., Крылова Е.Э., Медведева Л.П. — Микропроцессорные средства и системы, 1985. – № 1. – С. 75-77.
52. Руководство пользователя по сигнальным процессорам семейства SblARC ADSP- 2106X. Пер. с англ. А.В. Бархатов, А.А. Коновалов, М.Н. Петров. – СПб., 2002.