

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності
радіолокаційних систем

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)


(підпис)

Недошитко І.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

Дедів І.Ю.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль


(підпис)

Хвостівська Л.В.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри


(підпис)

Дунець В.Л.
(прізвище та ініціали)

Рецензент


(підпис)

Додатковий підпис
(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

« 9 » грудня

2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Недошитку Ігорю Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності радіолокаційних систем

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 01 » грудня 2023 року № 4/7-1135

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання, ефективність радіолокаційних систем

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Основна частина

3. Науково-дослідна частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Антени системи для супутникового зв'язку

2. Вибір типу антени

3. Конструкція плоскої антени для систем супутникового зв'язку

4. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., ст. викл. каф. ОХ	<i>Стручок В.С.</i>	<i>28.12.23</i>
	Клепчик В.М., ст. викл. каф. ОХ	<i>Клепчик В.М.</i>	<i>28.12.23</i>

7. Дата видачі завдання *06 вересня 2023 року*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	06.09.2023	<i>виконано</i>
2	Написання розділу 1	05.10.2023	<i>виконано</i>
3	Написання розділу 2	21.10.2023	<i>виконано</i>
4	Написання розділу 3	04.10.2023	<i>виконано</i>
5	Написання розділу 4	18.11.2023	<i>виконано</i>
6	Попередній захист	<i>14.12.2023</i>	<i>виконано</i>
7	Захист	28.12.2023	<i>виконано</i>

Студент

[Signature]
(підпис)

Недошитко Ігор Михайлович
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

[Signature]
(підпис)

Дедів Ірина Юріївна
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності радіолокаційних систем // Кваліфікаційна робота магістра // Недошитко Ігор Михайлович // ТНТУ ім. І.Пулюя, ФПТ // Тернопіль, 2023 // с. - 98, рис. - 53, дод. - 1, бібл. - 21.

Ключові слова: РАДІОЛОКАЦІЯ, КОМБІНОВАНА ЗАВАДА, АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ.

В роботі запропоновано спосіб захисту від комбінованих завад для підвищення ефективності радіолокаційних систем. Проаналізовано типи комбінованих завад та їх вплив на якість радіолокаційної інформації. Проаналізовано адаптивні методи захисту від комбінованих завад, зокрема метод узгодженої фільтрації. Запропоновано структуру пристрою подавлення активної і пасивної завади та пристрою захисту від комбінованих завад. Проведено мітаційне моделювання вимірювальних радіолокаційних систем за умов впливу комбінованих завад. Розроблено блок-схему алгоритму імітаційного моделювання роботи радіолокаційної системи. Розроблено блок-схему роботи алгоритму подавлення комбінованих завад для адаптивної радіолокаційної системи.

ANNOTATION

A method of protection against combined interference to increase the effectiveness of radar systems // Master's qualification work // Nedoshytko I.M. // TNTU, FPT // Ternopil, 2023 // p. - 98, tabl. - 53, appl. - 1, bibl. - 11.

Keywords: RADAR, COMBINED INTERFERENCE, ADAPTIVE FILTERING.

The paper proposes a method of protection against combined interference to increase the effectiveness of radar systems. The types of combined interference and their influence on the quality of radar information are analyzed. Adaptive methods of protection against combined interference are analyzed, in particular, the method of coordinated filtering. The structure of the device for suppressing active and passive interference and the device for protection against combined interference is proposed. Simulation modeling of measuring radar systems under the influence of combined interference was carried out. A block diagram of the algorithm for simulating the operation of the radar system has been developed. A block diagram of the combined interference suppression algorithm for the adaptive radar system has been developed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.1. Загальні поняття в радіолокації.....	11
1.2. Класифікація РЛЗ.....	13
1.3. Принцип оцінювання відстаней до об'єктів в РЛС.....	17
1.4. Етапи опрацювання радіолокаційної інформації.....	20
1.5. Висновки до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	23
2.1. Рівняння радіолокації.....	23
2.2. Проходження сигналу в каналі.....	26
2.3. Виявлення сигналів за присутності шуму.....	28
2.4. Стиснення імпульсів.....	34
2.5. Висновки до розділу 2.....	36
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	37
3.1. Вплив завад на РЛС.....	37
3.2. Особливості комбінованих завад.....	40
3.3. Алгоритми та пристрої захисту від комбінованих завад.....	46
3.4. Принципи статистичного (імітаційного) моделювання вимірювальних радіолокаційних систем за умов впливу комбінованих завад.....	67
3.5. Розробка статистичної моделі адаптивної РЛС із лінійною ФАР.....	72
3.6. Дослідження алгоритмів захисту від комбінованих завад.....	75
3.7. Висновки до розділу 3.....	79
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	81
4.1. Охорона праці.....	81
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	83

4.3. Висновки до розділу 4.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність. Радіолокація являє собою галузь радіотехніки, що забезпечує отримання відомостей про об'єкти шляхом прийому та аналізу енергетичних, просторово-часових, поляризаційних та частотних параметрів електромагнітних коливань (радіохвиль). Сукупність одержуваних відомостей про об'єкти називають радіолокаційною інформацією (РЛІ). В основі отримання РЛІ лежить сукупність методів, що забезпечують виявлення наступних відомостей про цілі: просторових координат і законів їх зміни в часі (траєкторій цілі), радіальної швидкості, типу цілі. Для реалізації методів радіолокації створюються спеціальні радіотехнічні засоби - радіолокаційні станції (РЛС).

Сучасний етап розвитку РЛС характеризується наявністю широкого класу зовнішніх активних/пасивних завод, а також їх різноманітних комбінацій. Захист РЛС різного призначення від радіозавад є центральною задачею, що виникає як при розробці, так і при використанні. Ця проблема зумовлена насамперед збільшенням кількості радіоелектронної апаратури та різноманітністю виконуваних нею завдань, внаслідок чого зріс рівень взаємних завод. Заводи створюються також промисловими підприємствами, електропобутовими приладами, а також методами і засобами радіопротидії, що використовують різноманіття типів навмисних радіозавад, що знижують ефективність виділення корисних сигналів. Заводова обстановка, у якій доводиться працювати сучасним РЛС, характеризується наявністю комбіновано взаємодіючих різноманітних видів завод, які мають як природне так і штучне походження.

За останні роки було розроблено та впроваджено у використання ефективні алгоритми та пристрої (оптимальні фільтри з постійними параметрами) подавлення завод із відомою апріорною інформацією. Для боротьби з РЛС використовуються пристрої та алгоритми радіопротидії на

основі використання комбінованих завад, параметри яких апріорі не визначені.

Комбіновані завади є комбінаціями різних видів активних і пасивних завад, і корисного сигналу, та поділяються на адитивні, мультиплікативні та напівактивні.

Фільтри, що використовуються для вирішення завдань подавлення завад можуть бути постійними або адаптивними. Адаптивні фільтри використовують певний еталонний сигнал від джерела, яке розміщене в тих місцях поля завад, в яких сигнал не був ідентифікований або був дуже ослаблений.

Практична цінність того чи іншого алгоритму фільтрації полягає не тільки у високій ефективності, а й у можливості їхньої технічної реалізації з мінімально необхідними обчислювальними чи апаратурними затратами у реальному масштабі часу.

В роботі проводиться розробка способу захисту від комбінованих завад для радіолокаційних систем.

Мета роботи. Розробка способу захисту від комбінованих завад для радіолокаційних систем. **Задачі:**

- аналіз принципу роботи радіолокаційної системи;
- аналіз впливу завад на якість радіолокаційної інформації;
- аналіз методів подавлення комбінованих завад;
- розробка способу захисту від комбінованих завад для систем радіолокації;
- імітаційне моделювання роботи способу захисту.

Об'єкт дослідження: процес подавлення комбінованих завад в радіолокаційних системах.

Предмет дослідження: спосіб та алгоритм захисту від комбінованих завад.

Наукова новизна. Спосіб розділеного подавлення активних та пасивних комбінованих завад в радіолокаційних системах.

Практичне значення отриманих результатів. Створення ефективних модулів подавлення комбінованих завад для радіолокаційних систем.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні поняття в радіолокації

Основні положення задачі виділення радіолокаційної інформації можуть бути сформульовані у вигляді таких положень:

При виявленні наявності цілі встановлюється фактом прийому станцією сигналу від цілі. Спосіб отримання сигналу визначає вид локації.

При вимірюванні координат та особливостей переміщення цілей використовуються особливості проходження у відкритому просторі радіохвиль, зокрема:

- сталість швидкості поширення радіохвиль; прямолінійність поширення радіохвиль;

- спрямованість випромінювання та прийому радіохвиль, в основі якої лежить явище інтерференції радіохвиль; ефект Доплера.

Радіолокація може бути активною та пасивною, аналогічно як і з типом відповіді (рис. 1.1).

У випадку вторинного випромінювання можливим стає виявлення цілей, що є випромінювачами радіохвиль або перевипромінювачами. Прийнятий сигнал при цьому називають відбитим.

Активна відповідь знаходить широке застосування при радіолокації та розпізнаванні своїх об'єктів: літаків, штучних супутників Землі. На об'єкті в даному випадку встановлюється прийомо-передавач (відповідач), що забезпечує досить велику інтенсивність перевипромінюваного сигналу.

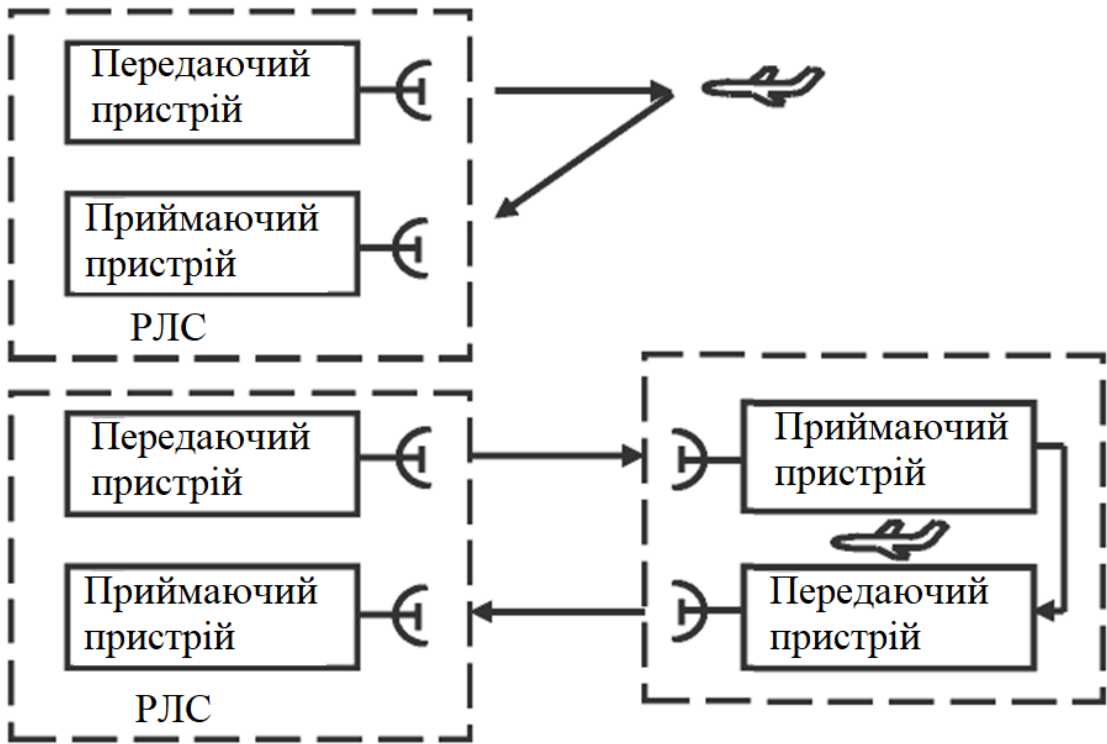


Рис. 1.1. Види радіолокації

Для наземної рознесеної системи (рис. 1.2, а) характерна сталість відстані d між приймальними та передаючими пунктами.

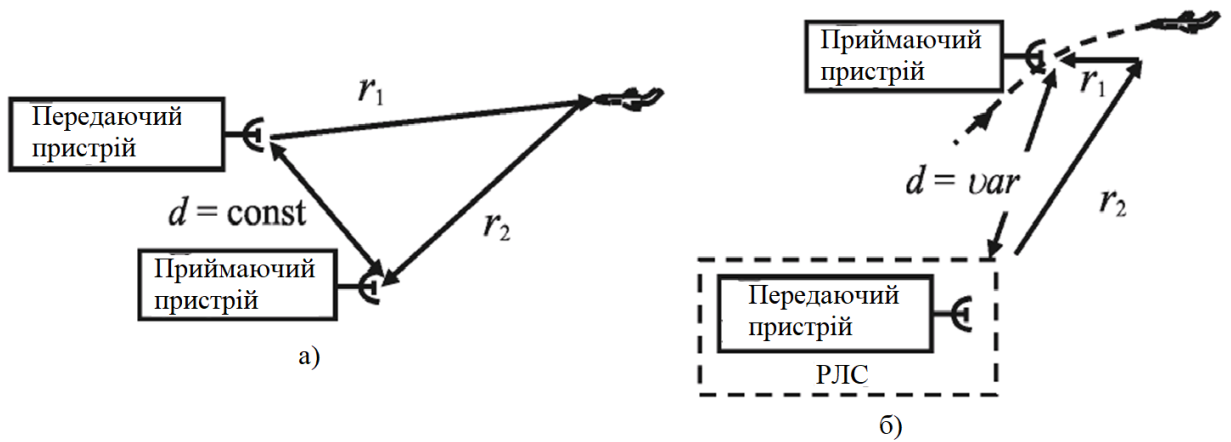


Рис. 1.2. Рознесені системи активної радіолокації

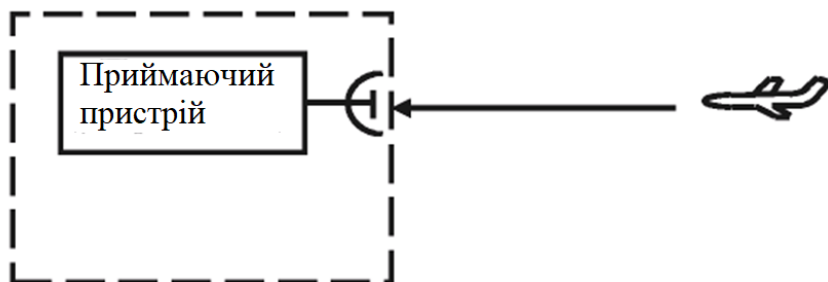


Рис. 1.3. Пасивна радіолокація

1.2 Класифікація РЛЗ

Слово «Радар» є аббревіатурою для RAdio Detection And Ranging, тобто радіо виявлення та вимірювання координат та визначення властивостей різних об'єктів за допомогою радіохвиль. У загальному випадку РЛС використовують модульовані сигнали і спрямовані антени для передачі електромагнітної енергії в певну область у просторі для пошуку цілі. Об'єкти (цілі) в зоні пошуку відбиватимуть частини цієї енергії (радарні ехо або просто ехо-сигнали) назад у бік радара. Ці ехо-сигнали потім обробляються приймачем радіолокатора для одержання цільової інформації, такої як дальність, швидкість, кутове положення та інші характеристики ідентифікації цілі.

Радари можуть бути подані як наземне базування, повітряне, космічне або корабельне базування РЛС. Їх також можна розділити на численні категорії на основі конкретних характеристик радара, таких як смуга частот, тип антени та форми сигналів, що використовуються.

ФАР використовуються радарми і часто називають багатофункціональними (багатомодовими) радарми. Фазована решітка є складовою антеною, утвореною з двох або більше елементарних випромінювачів. Такі антенні решітки синтезують вузькі спрямовані промені, які можуть бути керованими механічним або електронним способом. Електронне управління променя досягається шляхом зміни фази електричного струму, що живить елементи решітки.

Радіолокатори найчастіше класифікуються за типами випромінюваних сигналів, які вони використовують, або за їхньою робочою частотою. Розглянемо спочатку типи сигналів, на основі яких виділяють радари безперервного випромінювання (CW) або імпульсні радари (PR). Радіолокатори безперервного випромінювання це ті, які безперервно випромінюють електромагнітну енергію, і використовують окремі передавальні та приймальні антени. Змодульовані радіолокатори CW можуть

точно вимірювати радіальну швидкість цілі (через зсув доплера) і кутове положення. Інформація про відстань до цілі не може бути отримана без використання модуляції. Основне використання немодульованих радарів CW полягає в пошуку та відстеженні швидкості.

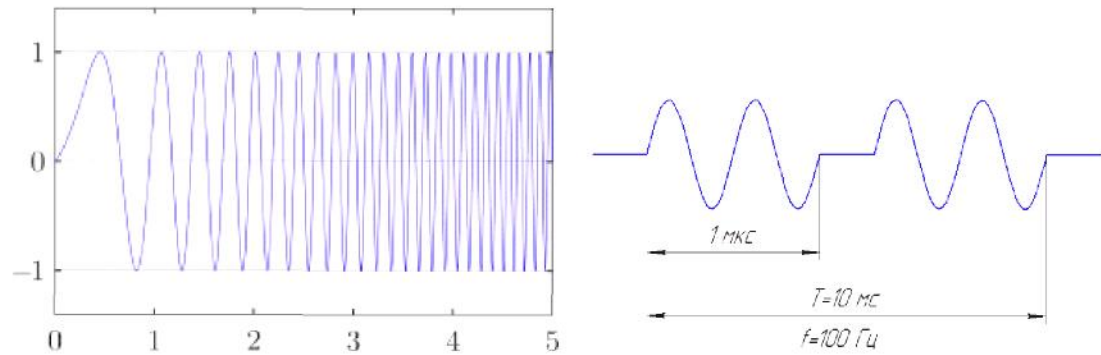


Рис. 1.8. а) безперервна хвиля та б) імпульсні випромінювання

Імпульсні радіолокатори використовують послідовність імпульсних сигналів (переважно з модуляцією). У цій категорії радіолокаційні системи можуть бути класифіковані на основі частоти повторення імпульсів (PRF), як низькочастотних PRF, середніх PRF та високочастотних радіолокаційних станцій. Радари з низькою частотою повторення імпульсів переважно використовуються для визначення відстані до цілі. Радіолокатори з високою частотою PRF в основному використовуються для вимірювання швидкості цілі. Безперервна хвиля, і навіть імпульсні радары можуть вимірювати відстань до цілі і радіальну швидкість, використовуючи різні схеми модуляції.

Таблиця 1.1

Класифікація РЛС згідно з робочою частотою.

Позначення ІЕЕЕ/ITU	Частоти	Довжина хвилі	Примітки
HF	3—30 МГц	10—100 м	Радари берегової охорони, «загоризонтні» РЛС
P	< 300 МГц	> 1 м	Використовувався у перших радарах
VHF	50—330 МГц	0,9—6 м	Виявлення на великих дальностях, дослідження Землі
UHF	300—1000 МГц	0,3—1 м	Виявлення на великих дальностях, дослідження лісів, поверхні Землі
L	1—2 ГГц	15—30 см	спостереження та контроль над повітряним рухом
S	2—4 ГГц	7,5—15 см	управління повітряним рухом, метеорологія, морські радари
C	4—8 ГГц	3,75—7,5 см	метеорологія, супутникове мовлення, проміжний діапазон між X та S
X	8—12 ГГц	2,5—3,75 см	морські радари, метеорологія, картографування середнього дозволу; у США діапазон 10,525 ГГц \pm 25 МГц використовується в РЛС аеропортів
Ku	12—18 ГГц	1,67—2,5 см	картографування високої роздільної здатності, супутникова альтиметрія
K	18—27 ГГц	1,11—1,67 см	використання обмежене через сильне поглинання водяною парою, тому використовуються діапазони Ku і Ka. Діапазон K використовується для виявлення хмар у дорожніх радарах (24,150 \pm 0,100 ГГц).
Ka	27—40 ГГц	0,75—1,11 см	Картографування, керування повітряним рухом на коротких дистанціях, спеціальні радари, що керують дорожніми фотокамерами (34,300 \pm 0,100 ГГц)
mm	40—300 ГГц	1—7,5 мм	міліметрові хвилі, поділяються на два наступні діапазони
V	40—75 ГГц	4,0—7,5 мм	медичні апарати НВЧ, що застосовуються для фізіотерапії
W	75—110 ГГц	2,7—4,0 мм	сенсори в експериментальних автоматичних транспортних засобах, високоточні дослідження погодних явищ

Високочастотні (HF) радари використовують відбивання електромагнітних хвиль від іоносфери для виявлення цілей за горизонтом.



Рис. 1.9. Загоризонтна станція радіолокації U.S. Navy Relocatable Over The Horizon Radar (ROTHR), що працює на частоті 5-28 МГц.

Смути дуже високої частоти (УКХ) та надвисокої частоти (НВЧ) використовуються для радарів раннього попередження дальнього радіусу дії (EWR). Через дуже велику довжину хвилі та вимоги до чутливості для вимірювань дуже великого діапазону необхідні великі апертури у таких радіолокаційних системах.



Рис. 1.10. РЛС далекого виявлення

Радіолокатори в L-діпазоні є наземними і судновими системами, які

використовуються в операціях зі спостереження за військовим і повітряним рухом на великі відстані. Найбільші наземні та корабельні радары середнього радіусу дії працюють у S-діапазоні.



а)

б)

Рис. 1.11. Радіолокатори в L-діапазоні

X-діапазон використовується для систем радіолокації, де розмір антени становить фізичне обмеження; це включає більшість військових багатомодових бортових радарів. Радарні системи, які вимагають якісного виявлення цілі і не можуть компенсувати атмосферне згасання вищих смуг частот, також можуть працювати в X-діапазоні. Вищі смуги частот (Кі, К і Ка) зазнають впливу погодних умов та характеризуються атмосферним згасанням. Тому радары, що використовують ці смуги частот, обмежені додатками з малим радіусом дії.

1.3 Принцип оцінювання відстаней до об'єктів в РЛС

На рис. 1.14 показано спрощену блок-схему імпульсного локатора. Блок синхронізації генерує тактові сигнали синхронізації, що необхідні всій системі. Модульований сигнал генерується та відправляється на антену через передавач. Перемикач антени між режимами передачі та прийому здійснюється за допомогою дуплексера. Дуплексер дозволяє використовувати одну антену як для передачі, так і для прийому. Під час передачі він спрямовує радіолокаційну електромагнітну енергію у бік антени. І навпаки, при прийомі

він спрямовує отримані радіолокаційні ехосигнали до приймача. Приймач підсилює ехо-сигнали, відбиті від об'єктів і готує їх для наступної обробки. Вилучення цільової інформації виконується процесорним блоком. Дальність до цілі R обчислюється шляхом вимірювання часової затримки імпульсу, який пройшов у двох напрямках шлях між радаром і ціллю. Оскільки електромагнітні хвилі рухаються з швидкістю світла, тоді

$$R = \frac{c\Delta t}{2}$$

де R — відстань у метрах, Δt — затримка імпульсу в секундах.

Коефіцієнт $\frac{1}{2}$ означає проходження імпульсу до цілі і назад до радару.

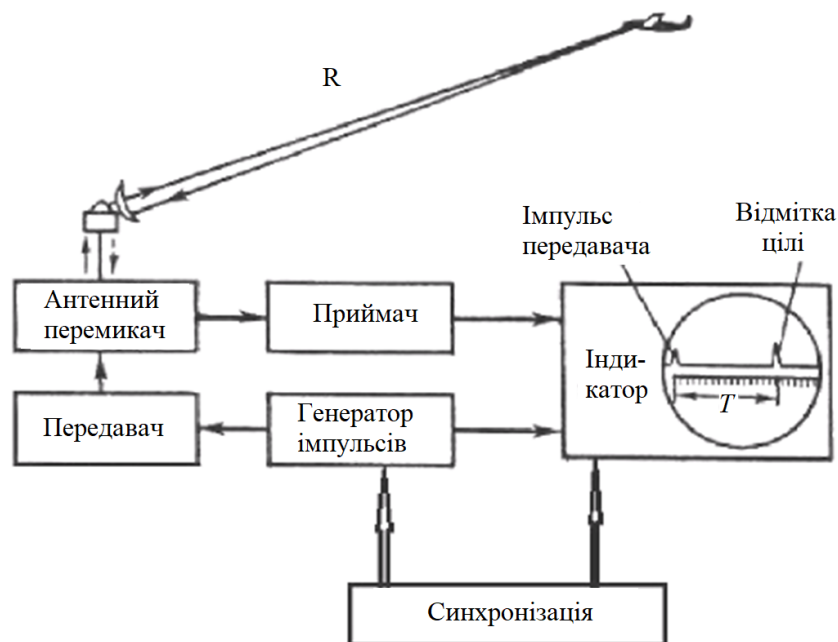


Рис. 1.14. Спрощена схема імпульсного радара

Загалом, імпульсний радіолокатор передає та отримує послідовність імпульсів. Період повторення імпульсів (ІРР) позначається як T та тривалість імпульсу - τ . ІРР часто пов'язаний з частотою повторення імпульсів (ПРІ) f_r і обернено пропорційний йому, тобто. $\text{ПРІ} = 1 / \text{ІРР}$, що позначається,

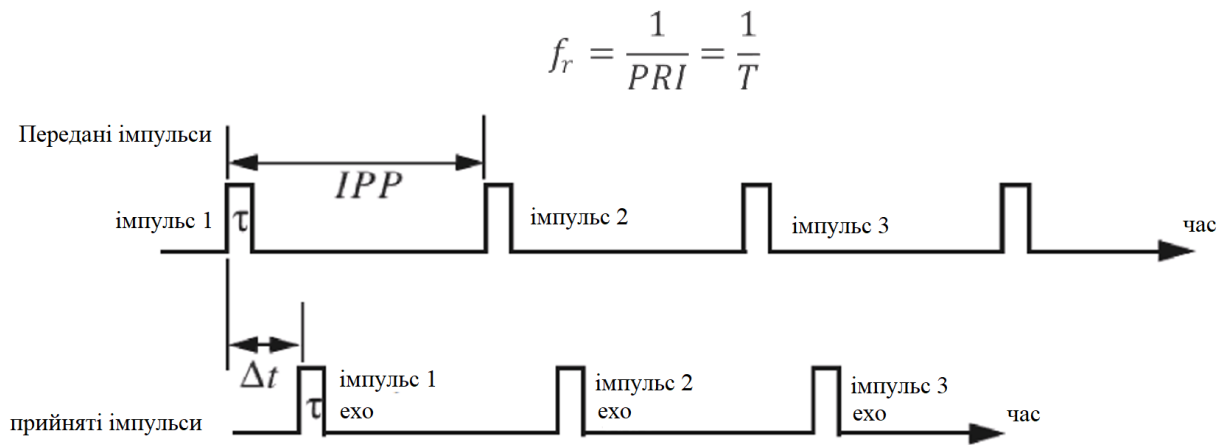


Рис. 1.15. Послідовність переданих та прийнятих імпульсів

Протягом кожного періоду повторення імпульсу РЛС випромінює енергію тільки за T секунд і «слухає» відбиті ехо протягом часу, що залишився. Робочий цикл РЛС у режимі випромінювання, що позначається як d_t , визначається як відношення $d_t = \tau/T$. Тоді середня випромінювана енергія радару визначається як

$$P_{cp} = P_t * d_t$$

де P_t - пікова випромінювана потужність. $\tau = P_{cp}T = \frac{P_{cp}}{f_r}$. Тоді енергія імпульсу дорівнює $E_p = P_t *$

Відстань, що відповідає затримці проходження імпульсу «туди-назад» T , відома як однозначна відстань R_u . Розглянемо випадок на рис. 1.16. Ехо 1 є відбиттям від цілі, що знаходиться на відстані $R_1 = c\Delta t/2$, імпульсу 1. Ехо 2 може бути інтерпретовано як відбиття від тієї ж цілі, але імпульсом 2, або воно може бути відбиттям від більш далекої цілі на відстані R_2 імпульсу 1 знову. В

цьому випадку $R_2 = \frac{c\Delta t}{2}$ або $R_2 = \frac{c(\Delta t + T)}{2}$

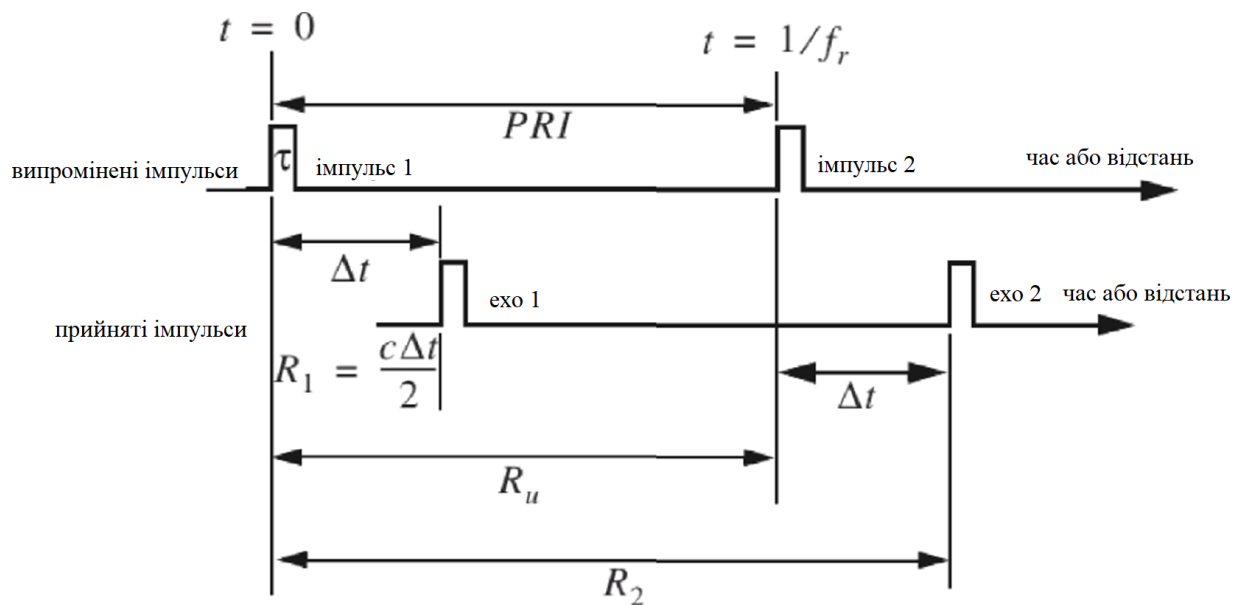


Рис. 1.16. Двозначність щодо відстані до об'єкта

Очевидно, що двозначність пов'язана з відлунням 2. Тому, як тільки випромінюється будь-який імпульс, радар повинен очікувати достатню кількість часу для того, щоб усі ехо від усіх цілей, навіть на максимальних відстанях від РЛС, повернулися перш ніж наступний імпульс не почав випромінюватись. Тоді виходить, що максимальна однозначна відстань має відповідати половині періоду повторення імпульсів, тобто.

$$R_u = c \frac{T}{2} = \frac{c}{2f_r}$$

1.4 Етапи опрацювання радіолокаційної інформації

Для характеристики обробки радіолокаційної інформації (РЛІ) вводять поняття трьох етапів обробки.

Етап первинної обробки включає операції виявлення та вимірювання (оцінки) параметрів сигналів. Первинна обробка проводиться безпосередньо на РЛС або одній з позицій багатопозиційної РЛС. Сукупність оцінок параметрів сигналів утворює відмітку до цілі.

Вторинна обробка проводиться за сукупністю радіолокаційних відміток

та забезпечує формування траєкторної інформації.

Третинна обробка полягає в об'єднанні та ототожненні інформації окремих РЛС, що входять в систему радіолокації, або інформації окремих РЛС.

Відповідно до виконуваних функцій розрізняють радіолокатори виявлення цілей, визначення місця положення та особливостей переміщення цілей тощо. Якщо радіолокатори виявлення зазвичай є багатоцільовими, то радіолокатори точного вимірювання координат і параметрів можуть бути одноцільовими або розрахованими на малу кількість цілей. Радіолокатори, що забезпечують виконання ряду функцій (виявлення, розпізнавання, точного вимірювання координат та параметрів руху цілей) називають багатофункціональними радіолокаторами.

З розвитком радіолокаційної техніки розширюється різноманіття відомих типів радіолокаційних пристроїв. Сучасні радіолокатори далекого виявлення космічних об'єктів можуть являти собою гігантську споруду з розмірами антен близько десятків і сотень метрів. Поряд з цим широко використовуються значно менші за розміром рухомі наземні радіолокатори виявлення аеродинамічних об'єктів, радіолокатори наведення і т.д.

Таким чином, для вирішення задач радіолокації, основними з яких є завдання виявлення, вимірювання координат, дозволу та розпізнавання, створюються як окремі РЛС, так і їх системи, що реалізують методи активної та пасивної радіолокації.

1.5 Висновки до розділу 1

В розділі проаналізовано фізичні основи радіолокації, типи радіолокаційних систем, їх класифікацію, принцип оцінювання відстаней до об'єктів, поняття ехо-сигналу чи зондуючого сигналу, основні способи отримання радіолокаційної інформації та етапи її опрацювання. При цьому оцінено негативні впливи різного типу завад на якість радіолокаційної

інформації.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Рівняння радіолокації

Розглянемо радар із всеспрямованою антеною (випромінює енергію однаково у всіх напрямках). Оскільки ці види антен мають сферичну ДН випромінювання, ми можемо визначити пікову щільність потужності (потужність на одиницю площі) на будь-якій точці у просторі на відстані R від РЛС як

$$P_D = \frac{P_t}{4\pi R^2}$$

де P_t — пікова випромінювана потужність та $4\pi R^2$ — площа сфери радіусу R . РЛС використовує направлені антени для того, щоб збільшити густину потужності у певному напрямку. Направлені антени зазвичай характеризуються коефіцієнтом підсилення G та ефективною апертурою A_e , і вони пов'язані між собою

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi}$$

де λ — довжина хвилі.

Щільність потужності на відстані R від РЛС з направленою антеною з підсиленням G задається виразом

$$P_D = \frac{P_t G}{4\pi R^2}$$

Коли радар випромінює енергію, що падає на будь-який предмет, наведені поверхневі струми на цьому об'єкті випромінюють електромагнітну

енергію у всіх напрямках. Величина цієї енергії пропорційна розмірам, орієнтації у просторі, формі та матеріалу виготовлення предмета.

Площа розсіювання визначається як відношення потужності, що відбита назад до РЛС до потужності, що потрапила на об'єкт.

$$\sigma = \frac{P_r}{P_D}$$

Тоді, повна потужність, що досягла процесора радара через антенну:

$$P_{Dr} = \frac{P_t G \sigma}{(4\pi R^2)^2} A_e$$

підставляючи в останній вираз A_e , отримаємо

$$P_{Dr} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

Позначимо через S_{min} мінімально детектовану потужність сигналу, і тоді максимальна дальність дії радара

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right)^{1/4}$$

З останнього виразу видно, що для збільшення дальності дії в 2 рази необхідно збільшити пікову потужність P_t у 16 разів або ефективну апертуру у 4 рази.

У практичних ситуаціях повернені сигнали, які отримує радіолокатор, будуть спотворені шумом, який вводить небажані складові на всіх частотах

радіолокатора. Шум є випадковим за своєю природою і може бути описаний спектральною щільністю потужності (PSD). Потужність шуму залежить від лінії пропускання радіолокатора. Точніше

$$N = \text{Noise PSD} \times B$$

Потужність вхідного шуму для антени без втрат дорівнює

$$N_i = kT_e B$$

де $k = 1.38 \times 10^{-23}$ - постійна Больцмана, T_e - ефективна температура в К. Завжди бажано що мінімальний детектований сигнал (S_{\min}) був більше, ніж потужність шуму. Точність приймача радіолокатора зазвичай описується коефіцієнтом шуму, що визначається як

$$F = \frac{(SNR)_i}{(SNR)_o} = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o}$$

де SNR_i і SNR_o - відповідно відношення сигнал-шум на вході та виході приймача. S_i - вхідна потужність сигналу, N_i - вхідна потужність шуму, S_o і N_o - відповідно вихідні потужності сигналу та шуму. Тоді

$$S_i = kT_e B F (SNR)_o$$

Тоді мінімально детектована потужність сигналу

$$S_{\min} = kT_e B F (SNR)_{o_{\min}}$$

Поріг детектування РЛС встановлюється до мінімального вихідного

ССШ, $(SNR)_{omin}$. Тоді

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_e B F (SNR)_{omin}} \right)^{1/4}$$

2.2 Проходження сигналу в каналі

Гаусівський канал — канал, у якому завада має вигляд адитивного нормального білого шуму, а спотворення корисного сигналу несуттєві, оскільки можуть бути скомпенсовані. Компенсація спотворень можлива, якщо на приймальній стороні додаткові параметри повністю відомі або можуть бути виміряні досить точно (тобто відома або доступна для вимірювання імпульсна характеристика каналу h_c). Прийmemo, що $S_p(t, \lambda_0) \rightarrow S_p(t, \lambda)$, а вихідний сигнал гаусівського каналу:

$$Y_p(t) = S_p(t, \lambda_0) + n(t)$$

Гаусівський канал із невідомою фазою сигналу визначається параметрами Ω , τ , $\alpha(t) = \alpha$, які постійні та відомі. Початкова фаза невідома і зазвичай вважається рівномірно розподіленою в інтервалі $[0, 2\pi)$. Такий сигнал добре описує процеси лінії зв'язку на відстані прямої видимості.

Канал з амплітудними завмираннями є подальшим ускладненням каналу з невідомою фазою у припущенні, що $\alpha(t)$ - випадкова функція часу. Його вихідний корисний сигнал має вигляд

$$S_p(t, \lambda) = \alpha(t)g(t - \tau) \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi(t) - \theta]$$

Випадкова функція $\alpha(t)$ перемножується із сигналом і тому називається мультиплікативною завадою. Мультиплікативну заваду можна розглядати як функцію, що модулює амплітуду корисного сигналу. Модуляція призводить до розширення спектра прийнятого сигналу відносно спектра випромінюваного сигналу. Внаслідок цього модель каналу називають каналом

з розсіюванням енергії по частоті.

Для задання каналу із завмиранням потрібно описати мультиплікативну заваду $\alpha(t)$. Вважається достатнім, якщо вказується одновірна щільність імовірності $W(\alpha)$ та час кореляції τ_k . Якщо $W(\alpha)$ описується релеївським законом розподілу, то канал називається релеївським або каналом з релеївськими завмираннями.

За часом кореляції мультиплікативні завади поділяються на повільні та швидкі. Про повільні завмирання говорять тоді, коли час кореляції процесу $\alpha(t)$ значно перевищує інтервал спостереження сигналу. Відповідно, швидкі завмирання характеризуються часом кореляції меншим, ніж інтервал спостереження сигналу.

Причинами повільних замирань є зміни властивостей середовища поширення радіохвиль залежно від метеоумов, часу доби, року, сонячної активності тощо. Причиною швидких замирань може бути, наприклад, наявність у каналі кількох шляхів поширення радіохвиль.

Неперервний канал вважається заданим, якщо вказані потужність сигналів, смуга частот, дано опис моделей завад та спотворень сигналів.

2.3 Виявлення сигналів за присутності шуму

Під радіолокаційним зондувальним сигналом (ЗС) розуміють радіохвилю, випромінювану передавальною антеною РЛС в простір. У випадку активної радіолокації з пасивним відгуком ЗС забезпечують появу відбитих від цілей сигналів. Як ЗС переважно використовуються надвисокочастотні (НВЧ) коливання. ЗС можна подати як:

$$x(t) = X(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t) + \varphi_0),$$

де $X(t)$, $\varphi(t)$ - закони амплітудної та фазової модуляції;

Усі радіолокаційні ЗС можна поділити на імпульсні та неперервні. Імпульсні ЗС можуть бути одиночними або у вигляді послідовності (пачки) радіоімпульсів.

$$x(t) = X(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

де

$$X(t) = \begin{cases} X_0, & |t| \leq \tau_n/2 \\ 0, & |t| > \tau_n/2 \end{cases} \quad \text{для прямокутного}$$

$$X(t) = X_0 e^{-\pi \left(\frac{t}{\tau_n}\right)^2} \quad \text{для гаусівських радіоімпульсів}$$

Графічно закони модуляції і радіоімпульси представлені на рис. 2.1.

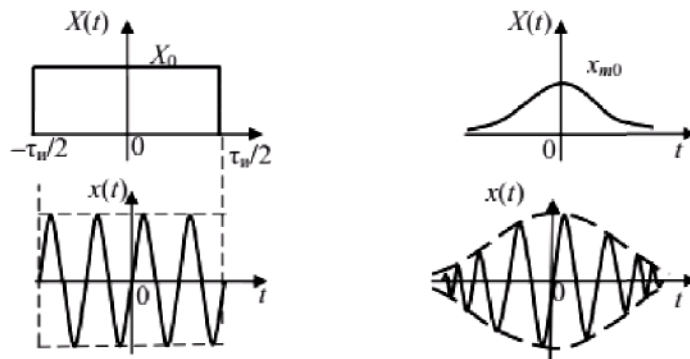


Рис. 2.1. Закони модуляції та вид прямокутного та гаусового радіоімпульсів

У РЛС знайшли широке застосування ЗС як пачки радіоімпульсів:

$$x(t) = \sum_{k=1}^M X_k [t - (k-1)T] \cos \{ 2\pi f_0 t + \varphi_k [\cdot] \varphi_{0k} \},$$

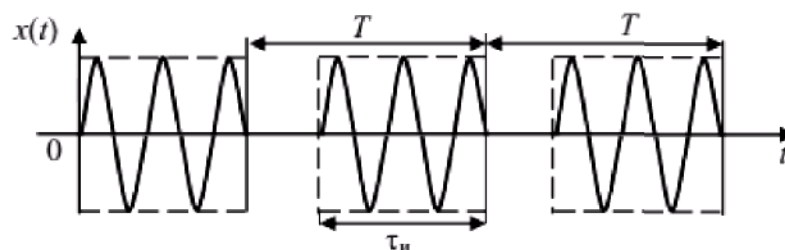


Рис. 2.2. Послідовність прямокутних радіоімпульсів

Автокореляційна функція (АКФ).

АКФ характеризує взаємозв'язок між двома значеннями ЗС, рознесеними за часом на інтервал τ . Вона визначається виразом

$$r_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{x}(t)\dot{x}^*(t-\tau)dt.$$

АКФ сигналу має важливе значення для визначення можливості та якості дозволу відбитих сигналів від цілей.

Як приклад визначимо АКФ прямокутного радіоімпульсу при $\phi_0 = 0$:

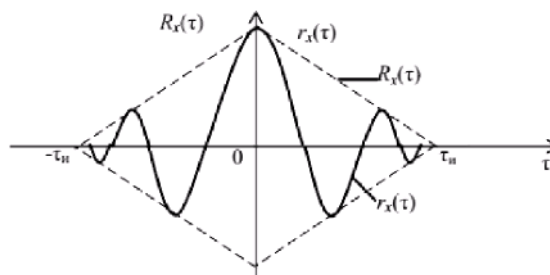


Рис. 2.3. АКФ прямокутного радіоімпульсу

Узгоджена фільтрація на основі корелятора

Відповідно до алгоритму оптимального виявлення сигналу з повністю відомими параметрами α (тут α корисні параметри сигналу), $x(t, \alpha)$ має бути обчислений кореляційний інтеграл $z[y(t)]$ і порівняний із порогом z_0 . Структурна схема найпростішого кореляційного виявника, що реалізує вказаний алгоритм, наведено на рис. 2.4.

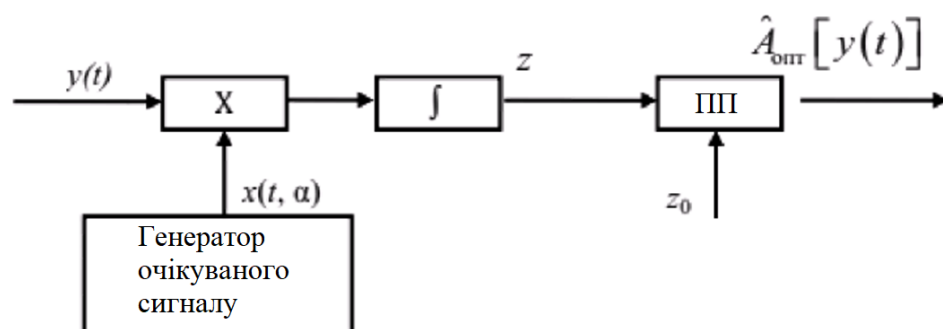


Рис. 2.4. Кореляційний виявник

На помножувач подається напруга $x(t, \alpha)$, що відповідає очікуваному корисному сигналу.

Безпосереднє інтегрування добутку $x(t, \alpha)y(t)$ дає кореляційний інтеграл, який порівнюється з порогом z_0 на пороговому пристрої. Рівень порога підбирається так, щоб ймовірність F помилкового перевищення порога була не більшою за допустиму.

Розглянемо фізичні процеси, які відбуваються у кореляційному виявнику. Для цього скористаємось епюрами, що ілюструють кореляційну обробку для двох випадків: прийому тільки завади $y(t) = n(t)$ та суміші сигналу з завадою $y(t) = x(t, \alpha) + n(t)$

На рис. 2.5 подано результати перемноження функцій $y(t)$, $x(t)$ та інтегрування за час існування опорного сигналу (для різних реалізацій $y(t)$). Вважається, що завада має смугу, значно більшу, ніж сигнал.

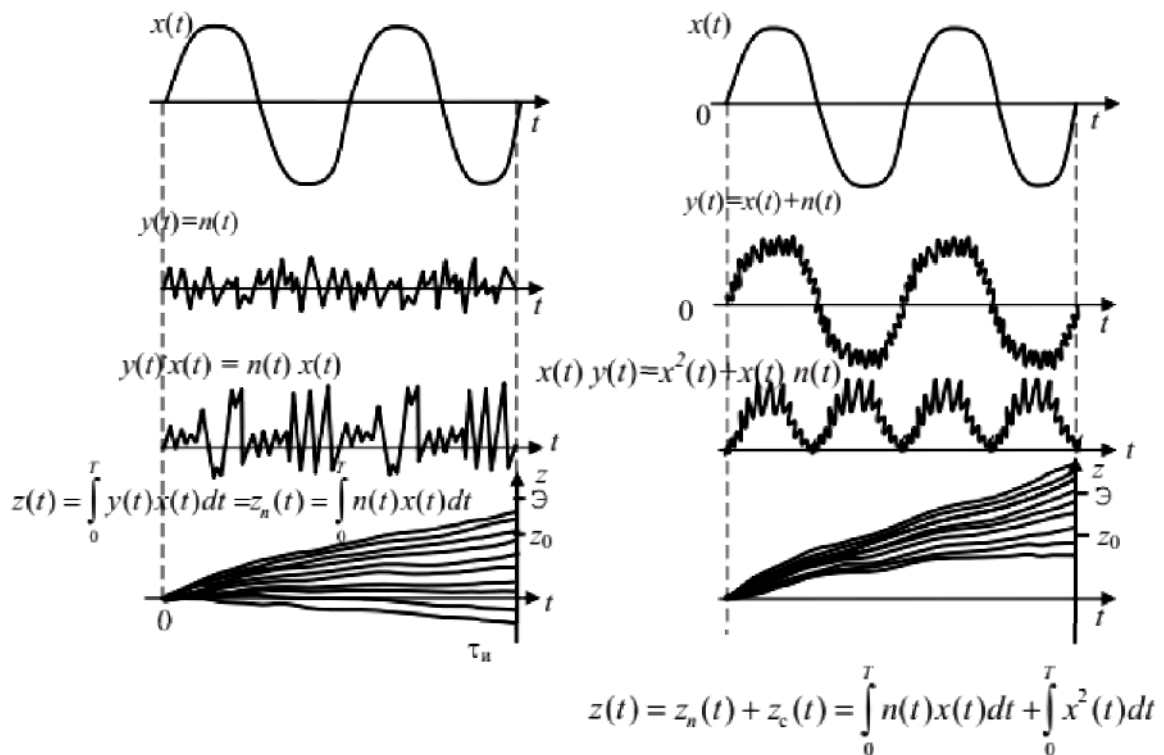


Рис. 2.5. Епюри, які пояснюють принцип роботи кореляційного виявника

За відсутності сигналу добуток $x(t)y(i)$ відповідає знакозмінним коливанням завади, які промодульовані опорним коливанням $x(t)$. За наявності сигналу поряд із шумовою складовою $x(t)n(t)$ буде сигнальна складова, яка при інтегруванні суттєво збільшує значення кореляційного інтеграла z . Кореляційна обробка виявляє подібність (кореляцію) коливань, що приймаються, з очікуваними.

На виході блока кореляційної обробки радіосигнал перетворюється на відеосигнал. Його амплітуда і полярність залежать від зсуву фаз між сигналом і опорною напругою. У разі подачі на вхід корелятора прямокутного радіоімпульсу тривалість сигналу на його виході при $\phi = 0$ наростає в залежності від поточного часу t за лінійним законом. Після закінчення сигналу інтегратор на своєму виході може необмежено довго зберігати накопичений сигнал.

Насправді кореляційна обробка прийнятих коливань проводиться на проміжній частоті. З цією метою у схемі на рис. 2.4 коливання прийнятої частоти f_0 попередньо перетворюється за допомогою коливань гетеродина з частотою f_1 у коливання проміжної частоти. Відповідно опорна напруга $x(t, \alpha)$ також формується на проміжній частоті. Операція множення зазвичай виконується за допомогою фазового детектора.

Таким чином, найпростіший кореляційний виявник повинен містити перемножувач, інтегратор та поріг. До опорного коливання виявника пред'являються жорсткі вимоги, зокрема, він повинен: мати той самий закон модуляції, що у відбитому сигналі; мати затримку в часі, рівну часу запізнення відбитого сигналу; бути зміщеним за частотою на величину, що дорівнює доплерівській добавці частоти

Основною операцією при оптимальному виявленні є обчислення кореляційного інтегралу $z[y(t)]$. Однак значення кореляційного інтеграла, наприклад, незалежно від часу запізнення t_3 сигналу дозволяють обчислити і одноканальні пристрої - фільтри. Нехай очікуваний час запізнення корисного

сигналу $\alpha = t_3$ Тоді він може бути представлений у вигляді

$$x(t, \alpha) = x(t - t_3),$$

а кореляційний інтеграл

$$z(t_3) = z[y(t)/t_3] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - t_3)y(t)dt.$$

З виразу видно, що цей інтеграл можна розглядати як інтеграл накладання або згортки, що визначає напругу на виході лінійного фільтра з деякою імпульсною характеристикою. Залишається лише визначити таку імпульсну характеристику, яка забезпечить зміну вихідної напруги фільтра $W(t)$ залежно від часу так само, як кореляційний інтеграл (рис. 2.5).

Нехай $k(t)$ – імпульсна характеристика фільтра. Величина $k(t)$ реагує на дельтаподібний вплив $\delta(t)$ в момент часу $t = 0$. Вхідний сигнал $y(s)$ викликає наступну реакцію фільтра:

$$W(t) = \int_{-\infty}^{\infty} k(t-s)y(s)ds.$$

Результати $W(t)$ впливу $y(t)$ на лінійний фільтр зводиться до накладання відгуків $k(t-s)$ на безперервно діючі дельтаподібні впливи $\delta(t-s)$

Визначимо імпульсну характеристику фільтра, який може бути використаний як пристрій, що обчислює значення кореляційного інтеграла для різних запізнювань очікуваного сигналу. Прирівняємо значення вихідної напруги фільтра у довільний момент часу до величини кореляційного інтегралу

$$W(t_0 + t_3) = cz(t_3),$$

В результаті отримаємо

$$\int_{-\infty}^{\infty} k(t_0 + t_3 - s)y(s)ds = \int_{-\infty}^{\infty} x(s - t_3)y(s)ds.$$

Рівність виконується, якщо

$$k(t_0 + t_3 - s) = cx(s - t_3).$$

Таким чином потрібно провести узгодження імпульсної характеристики фільтра із сигналом.

Узгоджений фільтр спотворює сигнал, забезпечуючи найкраще відтворення його піку на тлі завад, краще відтворює найінтенсивніші спектральні складові. Разом зі слабкими складовими сигналу значно зменшуються інтенсивні складові завади (наприклад, при $N(f) = N_0$ у смузі частот сигналу).

ФЧХ узгодженого фільтра в момент часу $t_0 + U$ компенсує взаємні фазові зсуви окремих гармонійних складових сигналу та забезпечує їх складання у фазі.

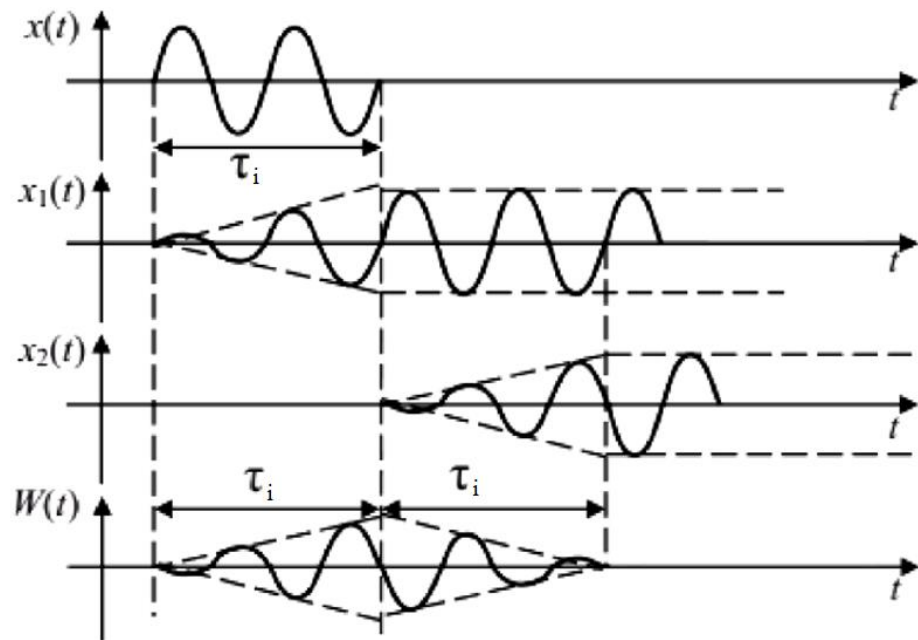


Рис. 2.7. Процес формування сигналу на виході ПФ

2.4 Стиснення імпульсів

Особливістю складних сигналів є можливість їхнього «стиснення» за часом у спеціальних пристроях - фільтрах, узгоджених із цими сигналами. В результаті цього можна досягти і великої енергії випромінювання, властивої довгому зондуєчому імпульсу, і високої роздільної здатності цілей по дальності, властивої короткому стиснутому сигналу.

В даний час в радіолокації широко використовуються два види складних сигналів: лінійно-частотно-модульовані (ЛЧМ-сигнали) та фазокодоманіпульовані (ФКМ-сигнали).

У таких сигналах частота в межах тривалості імпульсу (рис. 2.8) змінюється за певним законом: лінійним (ЛЧМ), параболічним і т. д. Для ЛЧМ-радіоімпульсів закон частотної модуляції описується виразом

$$f(t) = f_0 + \frac{\Delta f}{\tau_i} \cdot t; \quad \begin{matrix} t \geq 0, \\ t \leq \tau_i, \end{matrix}$$

де Δf - девіація частоти. Йому відповідає квадратичний закон зміни

фази:

$$\varphi(t) = 2\pi f_0 t + b t^2 + \varphi_0,$$

$$b = \frac{\pi \nabla f}{\tau_u}$$

де b – параметр фазової модуляції;

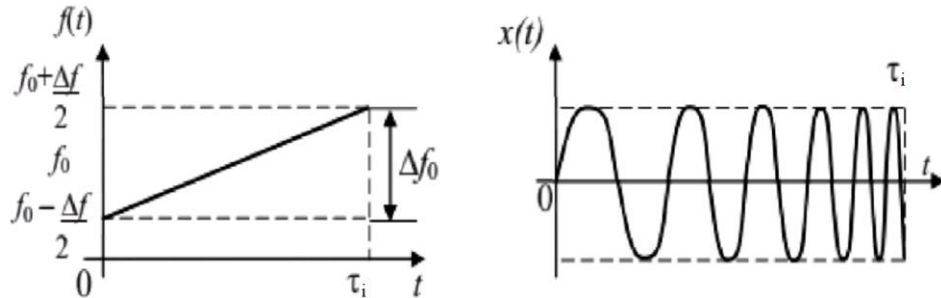


Рис. 2.8. Прямокутний ЛЧМ-радіоімпульс

ФКМ-радіоімпульс складається з низки прямокутних парціальних радіоімпульсів, що примикають один до одного, мають однакову тривалість і частоту, а початкові фази змінюються за певним законом.

Найбільшого поширення набули ФКМ-сигнали, складені з урахуванням двійкових кодів Баркера, М-кодів тощо. При цьому початкові фази парціальних імпульсів вибираються рівними 0 чи π . Позначимо фазу $\varphi = 0$ знаком «+», а $\varphi = \pi$ знаком «-». Тоді ФКМ-радіоімпульс для семирозрядного коду Баркера матиме вигляд, показаний на рис. 2.9.

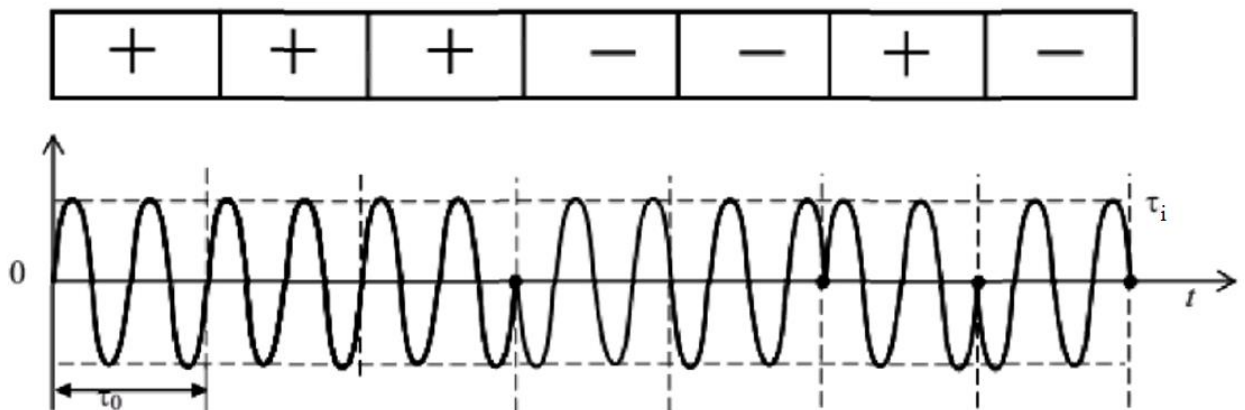


Рис. 2.9. ФКМ-радіоімпульс для 7-розрядного коду Баркера

АЧС ФКМ-сигналу має вигляд, представлений на рис. 2.10.

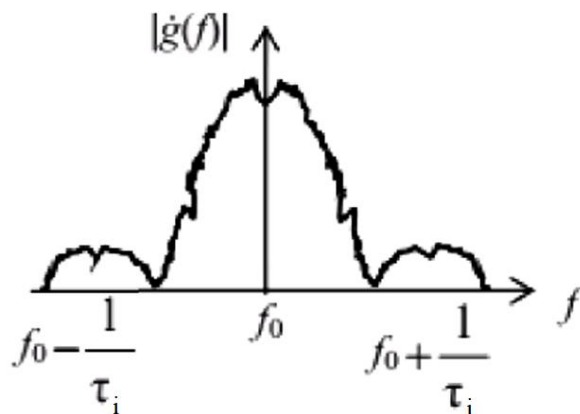


Рис. 2.10. АЧС ФКМ-сигналу

Таким чином, основними широкосмуговими сигналами, які застосовуються в РЛС, є ЛЧМ- і ФКМ-радіоімпульси.

2.5 Висновки до розділу 2

В розділі проаналізовано основні рівняння радіолокації та форми представлення інформації. Розглянуто особливості проходження сигналу в каналах радіолокації з точки зору впливу на нього завад. Зокрема розглянуто Гаусівський канал, у якому завада має вигляд адитивного нормального білого шуму, а спотворення корисного сигналу несуттєві, оскільки можуть бути скомпенсовані, Гаусівський канал із невідомою фазою сигналу та канал з амплітудними завмираннями.

Також розглянуто задачу виявлення сигналів за присутності шуму, зокрема проаналізовано метод узгодженої фільтрації на основі корелятора.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив завад на РЛС

В цілому процес обробки РІ в РЛС включає наступні функціонально закінчені операції:

а) Виявлення корисних (відбитих від цілі) сигналів полягає у прийнятті рішення щодо того є ціль чи вона відсутня у кожному виділеному елементі простору з мінімальними ймовірностями помилок;

б) Вимірювання полягає у оцінці координат та інших параметрів руху цілей з мінімальними можливими похибками. У процесі цієї операції, як показано на рис. 3.1, проводиться статистичне оцінювання відстані до цілі $D_{ц}$ (наприклад, із затримкою відбитого сигналу відносно моменту випромінювання зондувального сигналу), її азимуту $\beta_{ц}$ та кута місця $\varepsilon_{ц}$, закодованих у параметрах просторово-часової модуляції відбитого сигналу;

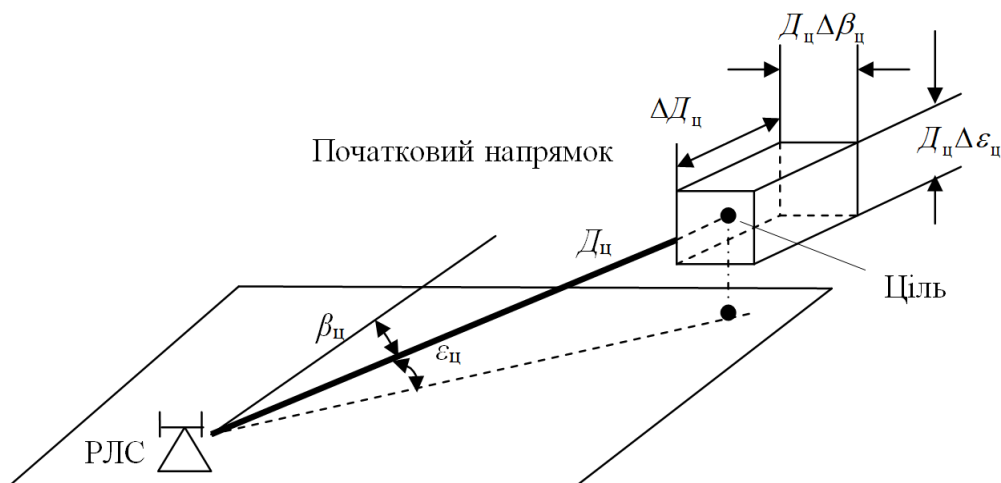


Рис. 3.1. Принцип радіолокаційного спостереження

Можуть вимірюватися окремі похідні координат:

- Радіальна швидкість $\mathcal{G}_r = dD_{ц} / dt$;

- Елементи траєкторії та інше;

- Дозвіл полягає у виявленні та вимірюванні параметрів довільної цілі в присутності інших цілей. Роздільну здатність по координатах характеризують дозволеним об'ємом з певними конфігурацією та розмірами. Останні встановлюють так, щоб показники якості виявлення та вимірювання параметрів цілі, розташованої в центрі даного обсягу, практично не погіршувалися за наявності цілей у сусідніх. Поряд із роздільною здатністю за координатами можливий дозвіл за їх похідними (наприклад, за радіальною швидкістю $\dot{\rho}_r$) та по траєкторіях;

- Встановлення належності цілі до певного класу.

Описані операції виконуються на основі сигналів, отриманих в поточному періоді (циклі) огляду РЛС. Сукупність цих операцій становить зміст першого етапу обробки, що називається первинною обробкою РЛС;

- Визначення траєкторії цілі за сукупністю радіолокаційних позначок, отриманих у низці послідовних періодів огляду РЛС. У процесі виконання цієї операції необхідно встановити належність кількох відміток з різних періодів огляду до однієї цілі, прийняти по ним однозначне рішення про наявність або відсутність цілі, а також обчислити початкові значення параметрів виявленої траєкторії цілі.

- Стеження за траєкторією цілі. У процесі стеження за траєкторією необхідно в кожному огляді відібрати нові позначки для продовження траєкторії та уточнити параметри траєкторій з урахуванням координат нових позначок.

- Траєкторні розрахунки по кожній (або частині) з цілей, що перебувають на супроводі, в інтересах споживачів радіолокаційної інформації. Сюди відносяться точне згладжування та прогнозування (екстраполяція) параметрів траєкторій на межі прийняття остаточних рішень.

Ці операції виконуються по огляду з урахуванням сигналів, отриманих у процесі первинної обробки інформації, у випадку кількох РЛС і називаються вторинною обробкою РЛС.

- Об'єднання інформації від кількох джерел (окремих РЛС чи груп РЛС) є третім етапом обробки РЛП. У процесі об'єднання інформації вирішуються завдання ототожнення (ідентифікації) траєкторій, отриманих від кількох джерел за однією і тією ж ціллю, та обчислення параметрів об'єднаних траєкторій.

На РЛС впливають завади природного походження (природні), з інших радіоелектронних засобів (взаємні), а в деяких випадках – організовані (навмисні). Роль взаємних завад зросла у зв'язку з використанням різних радіоелектронних засобів у народному господарстві та військовій техніці; стало актуальним забезпечення їхньої електромагнітної сумісності. Тому одним із найважливіших завдань сучасної теорії та техніки радіолокації є підвищення завадозахищеності РЛС, тобто підтримання якості РЛП у завадових ситуаціях на допустимому рівні. Для вирішення цього завдання використовують різні заходи захисту від завад – пристосування (адаптації РЛС) до завад.

Носіями інформації про цілі є радіолокаційні сигнали. Прийом радіолокаційних сигналів забезпечується в результаті вторинного випромінювання, перевипромінювання або власного випромінювання радіохвиль.

При будь-якому з методів радіолокації сигнали, що приходять, часто виявляються слабкими. Особливо це стосується активної радіолокації з активною відповіддю, де має місце дворазове розсіювання енергії: на шляху до цілі і назад. Для виділення слабких сигналів вживають ряд заходів: збільшують по можливості габарити передавальної та приймальної антен, середню потужність зондувальних коливань; застосовують високочутливі (малошумні) входні елементи радіоприймальних пристроїв. Оптимізують поряд з цим обробку коливань, що приймаються, з урахуванням зовнішніх завад і внутрішніх шумів приймача. Оптимізація обробки означає найкраще (у статистичному сенсі) врахування взаємних відмінностей сигналів та завад, що виявляється суттєвим при виявленні та вимірюванні.

3.2 Особливості комбінованих завад

Комбіновані завади є комбінації різних видів активних і пасивних завад. Їх проявлення на індикаторі кругового огляду дуже схоже на активні завади, оскільки потужність активної завади у цій комбінації перевершує пасивну заваду. Але застосування для боротьби з комбінованими завадами лише одних алгоритмів захисту від активних завад не дасть очікуваного ефекту, оскільки пасивна завада залишається не подавленою, і навпаки, застосування лише алгоритмів захисту від пасивних завад не виключить вплив активної завади. Тому необхідно досліджувати та розробляти алгоритми, які ефективно б пригнічували активну та пасивну завади.

Активні завади, як показано на рис. 3.2, за часовою структурою поділяються на безперервні шумові, переривчасті шумові та імпульсні. У свою чергу, імпульсні завади за результатом впливу на систему первинної обробки сигналів РЛС поділяються на маскуючі та імітуючі. Активні маскуючі та імітуючі завади, як правило, є адитивними, тобто завадами, миттєві значення яких є сумою миттєвих значень двох або більше випадкових процесів, взятих в той самий момент часу.

Неперервні шумові завади за наявності зовнішньої модуляції поділяються на прямошумові завади та завади, модульовані шумом.

Прямошумові завади (так звані «білі» гаусівські шуми). Характерною особливістю прямошумової завади є те, що її параметри – амплітуда, фаза і несуча частота змінюються за випадковими законами. Зазвичай у цих сигналів ширина спектра набагато менше значення несучої частоти, через що їх часто називають квазігармонійними шумами. Модульовані шумові завади прийнято розділяти на вигляд модульованого параметра несучого коливання на амплітудно-модульовані шумові завади (АМШЗ), фазомодульовані шумові завади (ФМШЗ) і частотно-модульовані шумові завади (ЧМШЗ). Найважливішими перевагами ФМШЗ порівняно з АМШЗ є відсутність (при досить глибокій модуляції) в її спектрі яскраво вираженого несучого

коливання і можливість простою зміною коефіцієнта пісилення модулятора в широких межах (десятки-сотні мегагерц) змінювати ширину спектра сигналу завади.

ЧМШЗ є безперервними коливаннями, у яких поточне значення частоти змінюється за законом модулюючих шумів. Перевага ЧМШЗ відносно АМШЗ полягає в тому, що зміною напруги модулюючих шумів можна в широких межах змінювати ширину спектра вихідного сигналу, ставлячи передавач завад у режим створення прицільних або загороджувальних за частотою завад. Для створення загороджувальних за частотою завад застосовують переважно ЧМШЗ, у яких ширина спектра набагато більша за смугу пропускання приймача РЛС.

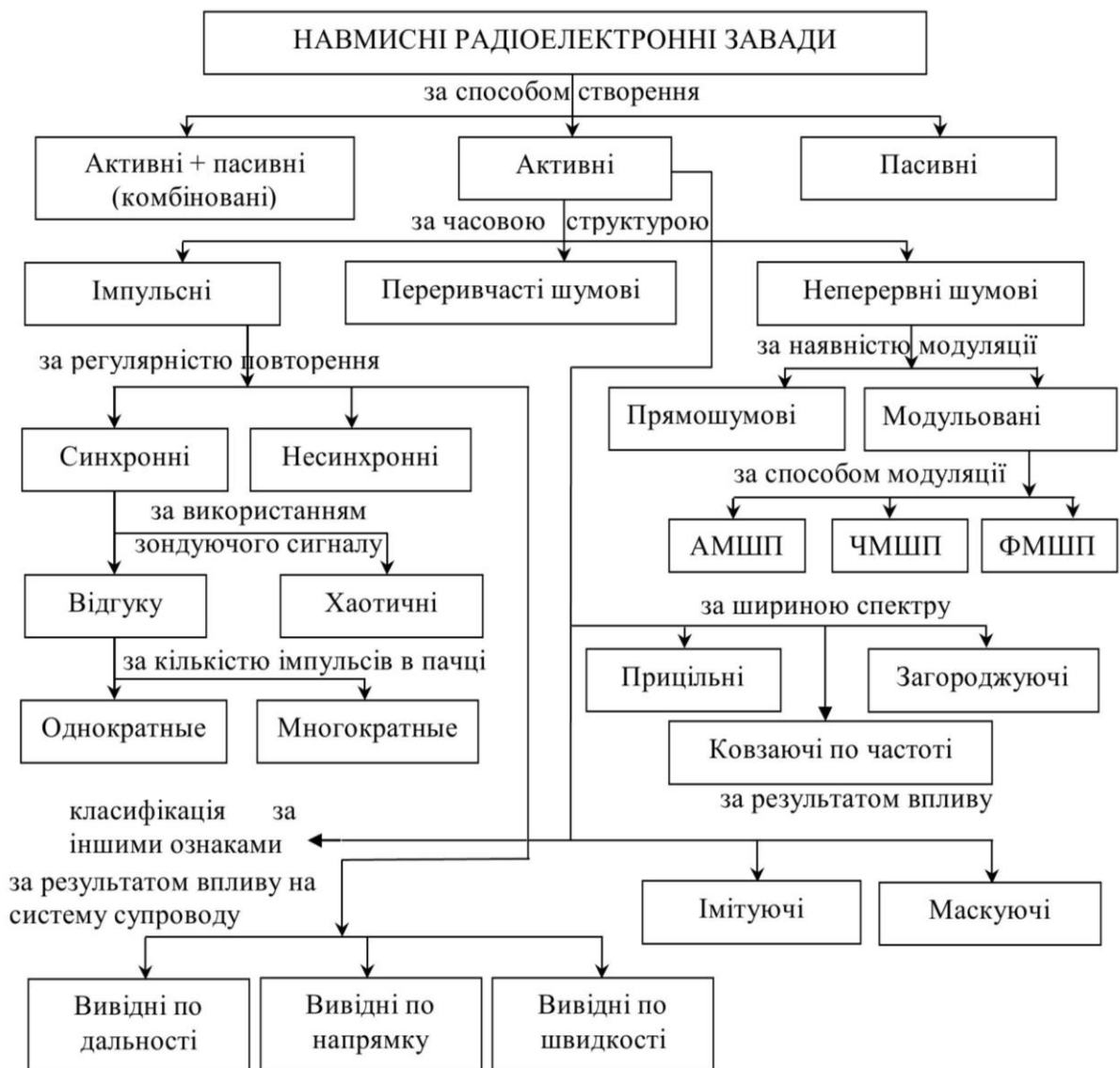


Рис. 3.2. Варіант класифікації навмисних радіоелектронних завад

На рис. 3.3 показано переріз зони виявлення РЛС у горизонтальній площині за відсутності та за наявності зовнішніх завад, де:

$D_{ц0}$, $D_{цп}$ - відповідно дальність дії РЛС без завад та в умовах дії завад;
 $\Delta\beta_{ef}$ - так званий сектор ефективного подавлення РЛС (сектор максимального зниження дальності виявлення РЛС).

На рис. 3.4 показаний вид індикатора кругового огляду РЛС за наявності та відсутності активних завад, які приймаються як основними, так і бічними пелюстками ДН приймальної ФАР.

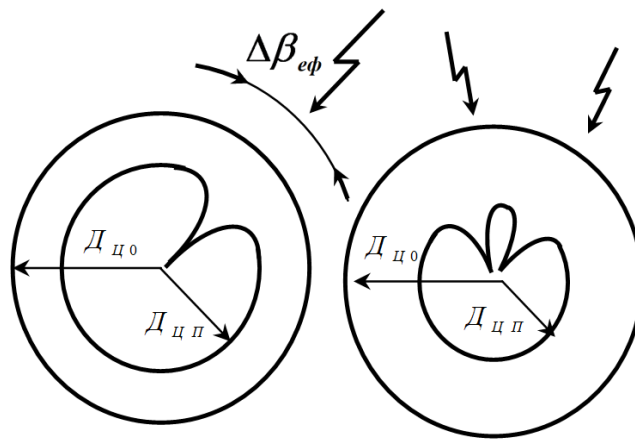


Рис. 3.3. Зміна зони виявлення РЛС за впливом одного (а) та кількох (б) джерел активних завад

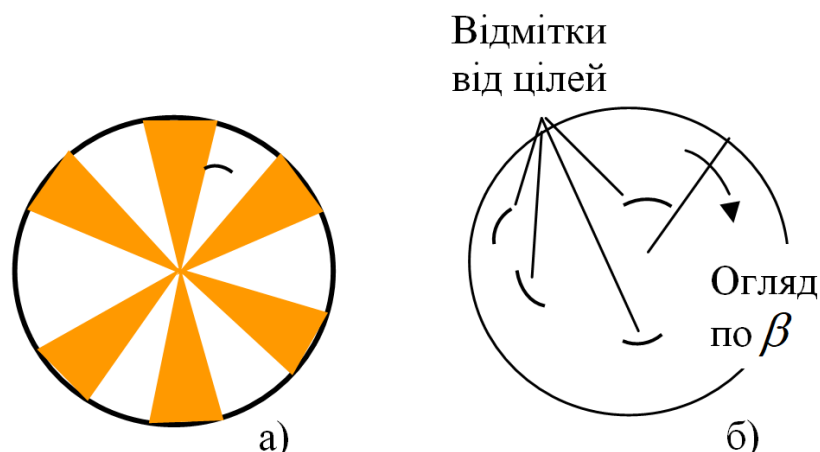


Рис. 3.4. Вигляд індикатора РЛС за наявності (а) та за відсутності (б) активних завад

Імпульсні активні завади, як показано на рис. 3.3, залежно від регулярності повторення в часі, можуть бути синхронними (період повторення завад відповідає періоду повторення зондуючого сигналу) і несинхронними. Постановка імпульсних завад може проводитися з метою імітації помилкових цілей або маскування основних цілей. Як імпульсна завада може використовуватися прийнятій, умовний або випромінюваний бортовою станцією завад сигнал, що наближається за основними параметрами до зондуючого сигналу РЛС. Такі завади називаються відповідь-імпульсними (ВІЗ). За рахунок значної потужності ВІЗ, можливий її прийом з бокових пелюсток ДН антени РЛС. При цьому ефективність ВІЗ значно підвищується.

Завади можуть бути одноразовими, коли на кожен зондуючий сигнал РЛС випромінюється один відповідний імпульс, і багаторазовими, коли на кожен зондуючий сигнал РЛС передавач завад випромінює серію сигналів у відповідь. Для ефективного подавлення системи автосупроводу по дальності (АСД) РЛС супроводу необхідно, щоб період повторення розмноженого сигналу був порівнянний зі значенням роздільної здатності цієї РЛС по дальності, що вимагає великої потужності завади.

Завади по дальності. Вони імітують помилкову ціль, що рухається зі швидкістю, що відрізняється від реальної швидкості джерела завад, і знаходиться на відстані від РЛС, на якій немає цілі. Якщо на вході приймача РЛС потужність завади набагато більша за потужність сигналу, то система АСД переходить у режим супроводу завади при обраній швидкості зміни її часу запізнення. При цьому як дальність до цілі, так і швидкість зближення з нею вимірюються із суттєвими помилками. Вплив завади по дальності не обмежується каналом супроводу по дальності. За час пам'яті та пошуку система автосупроводу по кутових координатах, не отримуючи інформації про рух цілі, може втратити ціль за рахунок виходу її за межі ДН антени РЛС. У цьому полягає головний сенс створення цієї завади.

Завади за швидкістю (за частотою Доплера). Такі завади створюються для порушення роботи системи супроводу по кутовим координатам. Тут існує повна аналогія із створенням завад по дальності. Сутність процесів, що відбуваються в станції завад за частотою, зводиться до ретрансляції сигналу подавлюваного РЛС із зміною в часі зміщення його за частотою за певним (лінійним або параболічним) законом. Величина відведення по доплерівській частоті може становити, наприклад, 20 кГц за 5 с, що еквівалентно прискоренню помилкової цілі з навантаженням 5g. У процесі відведення системи автоматичного супроводу за швидкістю (АСШ) стежачий кутомір супроводжує джерело завад без помилок. Після вимкнення станції завад починається процес пошуку сигналу за частотою, протягом якого система автоматичного супроводу по кутовому напрямку відключена. Ціль не супроводжується, завдяки чому з'являється помилка супроводу цілі по кутових координатах, що є основним ефектом створення завад. Відведення по дальності та швидкості може використовуватися як окремо, так і спільно.

Слід підкреслити, що крім розглянутих вище навмисних існують і ненавмисні імпульсні завади, до яких відносяться взаємні завади близько розташованих РЛС, а також завади різної випромінюючої апаратури близького діапазону довжин хвиль.

Як відомо, пасивні завади, вид яких показаний рис. 3.5, є наслідком відбиття радіохвиль від неоднорідностей середовища поширення. Неоднорідність, як правило, утворюють такі явища як: метеорологічні утворення (гідрометеори – грозові хмари, дощ, сніг); хмари дипольних відбивачів, відбиття від поверхні землі, предметів та споруд, що знаходяться на ній. При цьому відбуваються ослаблення та розсіювання випромінюваного сигналу, сигнал набуває випадкового фазового зсуву. Якщо розміри неоднорідності такі, що всередині неї можна виділити кілька недозволених областей, що дають незалежні відбиття, ехосигнал від неоднорідності в цілому буде нормальним випадковим процесом. Метеоутворення та хмари дипольних відбивачів є розподіленими об'єктами. Тому відбитий сигнал буде набагато

більшим за тривалістю, ніж зонduючий сигнал. Це явище називають часовим розсіюванням.

Спектр такого сигналу для будь-якого з роздільних елементів може бути записаний у вигляді згортки спектра зондувального сигналу та доплер-спектру завади, що показує, по суті, розподіл векторів радіальних швидкостей руху фрагментів метеоутворення. Швидкість та траєкторія руху фрагментів метеоутворення багато в чому визначається вітром.

Дипольні відбивачі є тонкими металізованими пасивними вібраторами, резонансна частота яких збігається (або близька) з несучою частотою подавлюваної РЛС. Якщо число диполів, що потрапили в імпульсний об'єм подавлюваної РЛС велике, а розміри хмари значні, то завадовий сигнал виявляється суттєво інтенсивнішим за сигнал, що надходить від цілі, що знаходиться всередині цієї хмари. Відбиття від метеоутворень схожі з дипольними відбивачами.

Місцеві предмети та відбиття від поверхні землі в ближній зоні дії РЛС відносяться до природних пасивних завад які не менше за навмисні погіршують отримання достовірної інформації, з ними теж необхідно боротися.

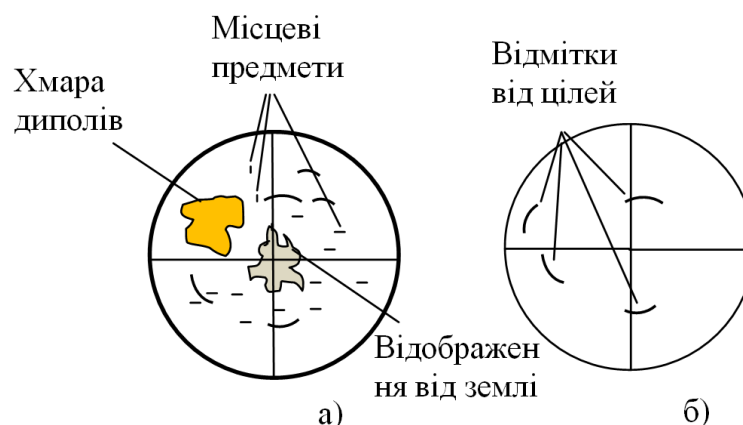


Рис. 3.5. Вигляд індикатора РЛС за наявності (а) та за відсутності (б) пасивних завад

З проведеного огляду прикладів створення радіозавад РЛС можна дійти висновку, що подавлення радіолокаційними пристроями зовнішніх завад

істотно знижує ефективність функціонування вимірювальних РЛС. Звідси випливає необхідність вжиття відповідних заходів завадозахисту, які б заважали впливам радіозавод на приймальні тракти РЛС.

3.3 Алгоритми та пристрої захисту від комбінованих завод

Від дії комбінованих завод відомі такі способи захисту:

- Захист одночасно від усіх видів завод, що виконується в одному пристрої без поділу на послідовну або паралельну структуру.

- Захист від комбінованих завод шляхом поділу обробки у просторовій та часовій областях з подальшим накопиченням сигналів у оптимальному фільтрі на фоні власних шумів.

- Здійснення подавлення активної завади на фоні пасивної за рахунок відмінностей спектрів сигналів, що приймаються, з подальшим подавленням пасивної завади.

Перший спосіб є важким і практично нереалізованим як програмно, так і апаратно, через неможливість створення повної ідентичності всіх багатоканальних компенсаційних пристроїв, що здійснюють просторову, та часову обробку сигналів. З цієї причини найпоширеніші другий та третій способи.

У другому способі послідовно при обробці просторової області здійснюється компенсація активної складової комбінованої завади. Надалі здійснюється подавлення пасивної складової комбінованої завади у часовій області.

При реалізації третього способу так само при просторовій обробці здійснюється компенсація активної завади, але на відміну від другого способу забезпечується мінімальна зміна спектральної складової пасивної завади. Це досягається двома шляхами.

Перший полягає у не постійній, а періодичній оцінці активної завади у моменти часу, коли пасивна завада відсутня. Цей спосіб має недолік, це – істотне зменшення коефіцієнта подавлення активної завади.

Видалення (підстроювання пристрою компенсації) активної завади таким чином, щоб не впливати на спектральні складові пасивної завади.

Розглянемо другий і третій способи захисту від комбінованих завад більш детально.

Якщо завада – гаусівський процес і на вході приймального тракту включає адитивну суміш власного білого шуму, пасивної корельованої і активної завади, то результуючу спектральну щільність завади подамо у вигляді

$$G(j\omega) = N_0 + G_{III}(j\omega) + G_{АП}(j\omega) = N_0 \left[1 + \frac{G_{III}(j\omega)}{N_0} \right] \left\{ 1 + \frac{\frac{G_{АП}(j\omega)}{N_0}}{\left(1 + \frac{G_{III}(j\omega)}{N_0} \right)} \right\}$$

Коефіцієнт передачі системи оптимальної обробки для цього випадку:

$$K(j\omega) = c \frac{S^*(j\omega)e^{-j\omega t_0}}{N_0} \left[1 + \frac{G_{III}(j\omega)}{N_0} \right]^{-1} \left\{ 1 + \frac{\frac{G_{АП}(j\omega)}{N_0}}{\left[1 + \frac{G_{III}(j\omega)}{N_0} \right]} \right\}^{-1}. \quad (3.1)$$

Співвідношення (3.1) відповідає послідовному включенню трьох фільтрів: оптимального для виявлення сигналу на фоні «білого» шуму, фільтра, що «відбілює» корельовану пасивну заваду і компенсує активну заваду. Однак рівняння компенсуючого фільтра (третій співмножник (3.1)) показує, що воно відображає пристрій, у якого фільтр включений в коло відємного зворотного зв'язку між виходом «відбілюючого» фільтра і входом всього пристрою, як показано на рис. 3.6 а).

Позначимо $G_0 = N_0$ спектральну густину потужності власних шумів. Тоді алгоритм для коефіцієнта передачі оптимального фільтра запишемо у вигляді

$$K(j\omega) = \frac{S_c^*(j\omega)e^{-j\omega t_0}}{G_0 + G_{III}(j\omega) + G_{АП}(j\omega)},$$

де $S(j\omega)$ - спектр очікуваного сигналу.

Це співвідношення можна подати так:

$$K(j\omega) = \frac{S_c^*(j\omega)e^{-j\omega t_0}}{G_0} \frac{1}{1 + G_{III}(j\omega)/G_0} \frac{G_{АП}(j\omega)}{G_0}. \quad (3.2)$$

Структура фільтра зображено на рис. 3.6.

Таким чином, підтверджується відома теорія боротьби з пасивними завадами шляхом відбілювання корельованих завад та з активними завадами – методами компенсації завад на вході просторово-часового фільтра. Більше того, при апріорній невідомості щодо параметрів пасивних або активних завад структура фільтра наближається до пристроїв автокомпенсації завад.

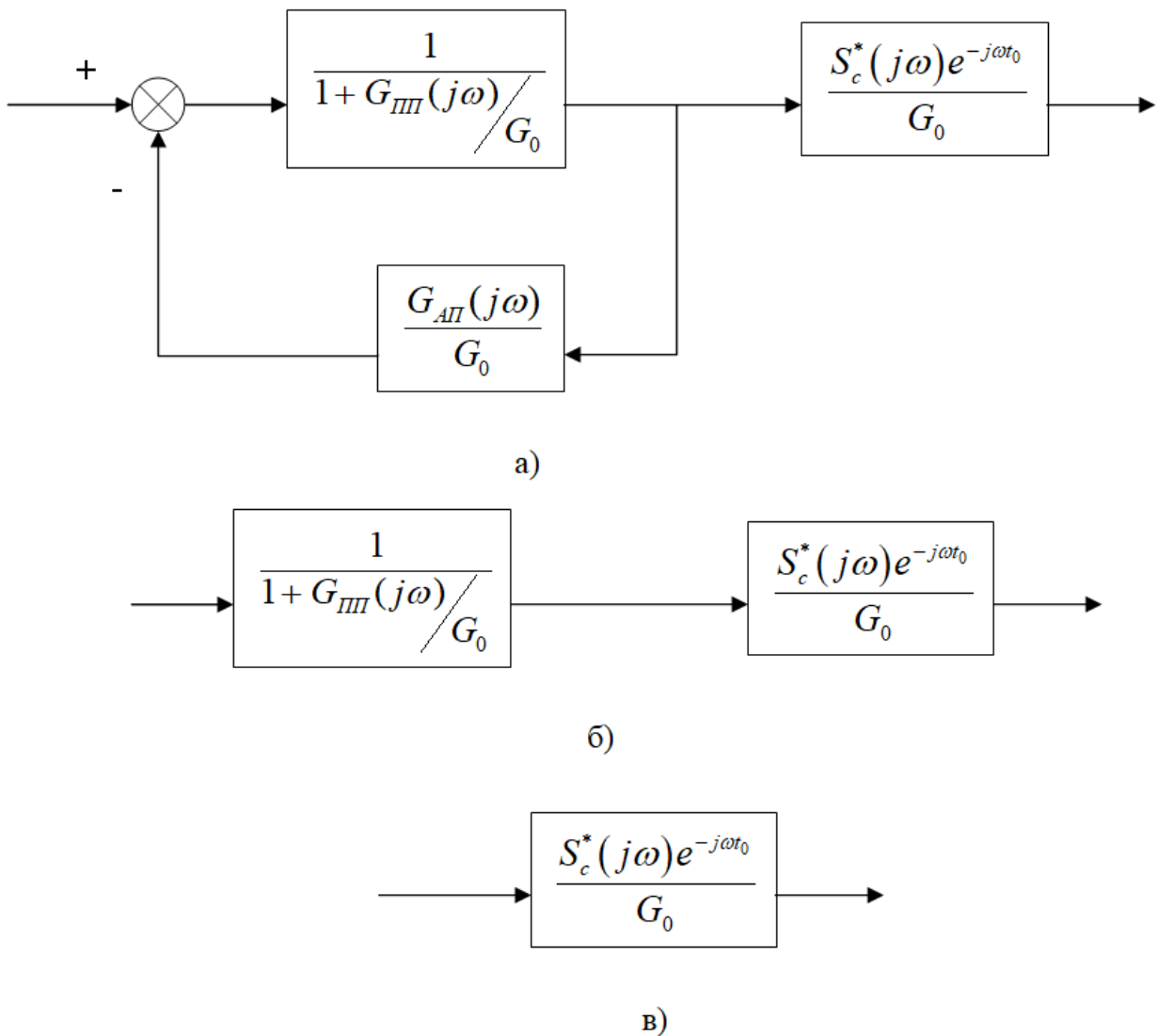


Рис. 3.6. Структура фільтра прийому сигналу і комбінованих завад: а) – при впливі комбінованих завад; б) – при дії лише пасивних завад; в) – при виявленні сигналу і власного шуму.

Цей алгоритм захисту від комбінованих завад відноситься до другого способу. Ще один алгоритм являє собою наступне. Є три модифікації підсистем когерентної оптимальної обробки сигналів на фоні зовнішніх точкових (локальних) активних завад:

а) з компенсацією завад на виходах елементів приймальної антени за рахунок використання в процесі їх подавлення так званих навчальних вибірок завадових сигналів;

б) із компенсацією завад на виходах сформованих допоміжних просторових каналів із попередньою пеленгацією джерел активних завад

в) із компенсацією завад на виходах допоміжних просторових каналів без попередньої пеленгації джерел активних завад;

В даний час найбільшого поширення при захисті РЛС від активних завад отримав перший варіант, як найбільш простий і ефективний.

При реалізації цього варіанту захисту в оптимальному тракті на виходах елементів приймальної антени встановлюються одноканальні або багатоканальні автокомпенсаційні системи з коефіцієнтами передачі, що забезпечують подавлення активних завад, прийнятих як бічними, так і головними пелюстками ДН. Всю необхідну інформацію про завадову обстановку тут отримують з навчальних вибірок у процесі оцінки цієї кореляційної матриці або окремих елементів. Ці методи називають методами когерентної просторової селекції.

ДН допоміжної (додаткової) антени перекриває бічні пелюстки ДН основної антени, як показано на рис.3.7.

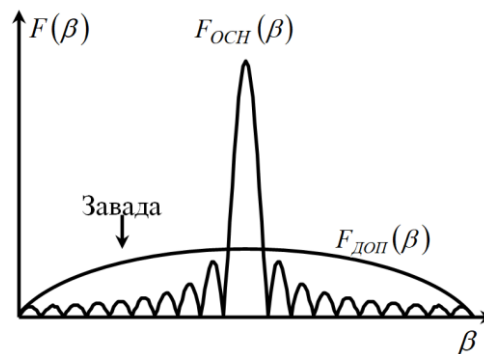


Рис. 3.7. ДН основної та допоміжної антен

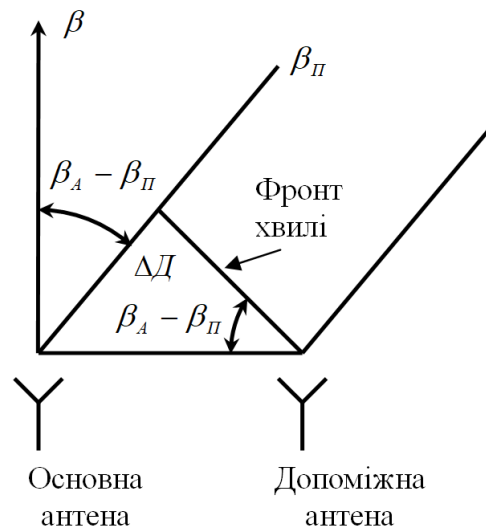


Рис. 3.8. До пояснення різниці ходу в РЛС

Як видно з рис. 3.7 і рис. 3.8, завадові коливання, прийняті бічними пелюстками основної антени, корелювані з завадовими коливаннями, прийнятими допоміжною антеною, але різняться інтенсивністю та початковою фазою $\Delta\varphi$, що є результатом різниці ходу ΔD та обчислюють за формулою (3.3).

Для того щоб забезпечити когерентне віднімання завади, прийнятої допоміжною антеною з завади, прийнятої бічними пелюстками ДН основної антени необхідно попередньо забезпечити рівність цих завад по амплітуді та фазі.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta D = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\beta_A - \beta_P), \quad (3.3)$$

де d - відстань між фазовими центрами основної та допоміжної антен;

β_A - напрямок максимуму основної антени;

β_P - азимут джерела завади.

Розробимо схему одноканального кореляційного автокомпенсатора завад. З цією метою позначимо напругу на вході основного каналу, як

показано на рис. 3.9, через $U_{OK}(t)$, допоміжного (додаткового) - через $U_{DK}(t)$, а напругу на виході суматора – через $U_{\Sigma}(t)$.

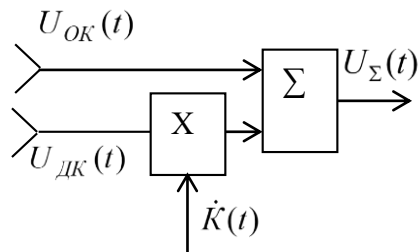


Рис. 3.9. До виведення рівняння автокомпенсатора

Синтез структурної схеми виконується на основі такої формули (3.4)

$$U_{\Sigma}(t) = U_{OK}(t) + \dot{K}U_{DK}(t), \quad (3.4)$$

де \dot{K} - комплексний коефіцієнт передачі завади в компенсаційному каналі, що забезпечує вирівнювання завад основного та компенсаційного каналів по амплітуді та фазі.

Напруга сигналу основного каналу являє собою адитивну суміш внутрішнього шуму, неперервної активної завади, прийнятої основною пелюсткою і бічними пелюстками, і корисного сигналу, прийнятого основною пелюсткою ДН з напрямку, відмінного від напрямку приходу завади. Напруга сигналу додаткового (компенсаційного або допоміжного) каналу є адитивною сумішшю внутрішнього шуму і неперервної активної завади. Через слабку направленість антени компенсаційного каналу напругою ехо-сигналу в цьому каналі можна знехтувати.

Очевидно, що середній квадрат напруги (дисперсія завади) на виході компенсатора обчислюється за формулою (3.5)

$$\overline{U}_{\Sigma}^2(t) = \overline{U}_{OK}^2(t) + 2\dot{K}\overline{U_{OK}(t)U_{DK}^*(t)} + \dot{K}^2\overline{U}_{DK}^2(t), \quad (3.5)$$

Знайдемо екстремум отриманого виразу, тобто з'ясуємо, за якого значення \hat{E} величина $\bar{U}_{\Sigma}^2(t)$ (дисперсія завади на виході автокомпенсатора) буде мінімальною. Для цього, обчислимо похідну за формулою (3.6)

$$d\bar{U}_{\Sigma}^2(t) / d\dot{K} = 0, \quad (3.6)$$

Знайдемо екстремум отриманого виразу, який обчислюється за формулою (3.7)

$$d\bar{U}_{\Sigma}^2(t) / d\dot{K} = \overline{2U_{OK}(t)U_{DK}^*(t)} + 2\dot{K}\bar{U}_{DK}^2(t) = 0, \quad (3.7)$$

Тут і далі риска над виразом означає усереднення випадкових процесів по ансамблю реалізацій.

Звідси оптимальний комплексний коефіцієнт передачі компенсаційного каналу обчислюється за формулою (3.8) і дорівнює

$$\dot{K}_{OPT} = -\overline{U_{OK}(t)U_{DK}^*(t)} / \bar{U}_{DK}^2(t) = -\rho_{01}\sigma_0 / \sigma_1, \quad (3.8)$$

де $\rho_{01} \leq 1$ - коефіцієнт взаємної кореляції завад основного та компенсаційного каналів;

$\sigma_0 = \sqrt{\overline{|U_{OK}|^2}}$ - середньоквадратичне значення завади в основному каналі;

$\sigma_K = \sqrt{\overline{|U_{DK}|^2}}$ - середньоквадратичне значення завади у компенсаційному каналі;

На рис. 3.10 представлений вид ВІЗ РЛС при дії на приймальну антену одного джерела завад.

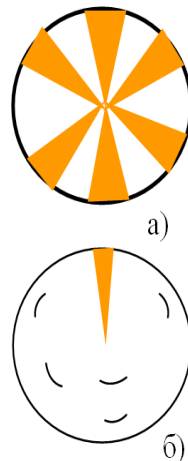


Рис. 3.10. Вид ВІЗ РЛС при вимкненому (а) та включеному (б) автокомпенсаторі завад

Вочевидь, що при включенні автокомпенсатора, по-перше, відбувається подавлення завади, прийнятої бічними пелюстками ДН, і, по-друге, відбувається звуження сектора ефективного подавлення у сфері основної пелюстки.

В цілому дія автокомпенсаторів еквівалентна автоматичному формуванню в результуючій ДН антени РЛС провалів, число яких відповідає числу завад.

При дії в зоні виявлення РЛС n джерел завад з ряду напрямків необхідно мати $i \geq n$ додаткових антен, щоб антена A_0 і антени A_i утворювали n провалів для джерел активних завад.

Одноканальний (з одним допоміжним каналом) автокомпенсатор здатний пригнічувати активну заваду, що діє лише з одного напрямку. При одночасній дії у зоні виявлення РЛС кількох джерел завад із різних напрямів, необхідний багатоканальний автокомпенсатор.

Слід зазначити, що багатоканальні автокомпенсатори у разі дії кількох джерел завад мають великий час налаштування, тому в сучасних РЛС знаходять застосування автокомпенсатори з числом допоміжних каналів не

більше п'яти, або застосовуються оптимальні автокомпенсатори, в яких пряме згортання матриці замінюють алгоритмом поточного оцінювання її як показано у формулі (3.9) чи формулі (3.10)

$$T \frac{d\hat{\Phi}_B^{-1}}{dt} = -\hat{\Phi}_B^{-1} \left(\hat{\Phi}_{By} \hat{\Phi}_B^{-1} - \vec{I} \right) = \hat{\Phi}_B^{-1} - \hat{\Phi}_B^{-1} \hat{\Phi}_{By} \hat{\Phi}_B^{-1}, \quad (3.9)$$

$$\hat{\Phi}_B^{-1} = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t \left(\hat{\Phi}_B^{-1} - \vec{\eta} \vec{\eta}^{*T} \right) dt \quad (3.10)$$

Пристрій неперервної оцінки матриці $\hat{\Phi}_B^{-1}$, реалізує алгоритм (3.10), представлений рис. 3.11. Зачорненими стрілками показані матричні зв'язки.

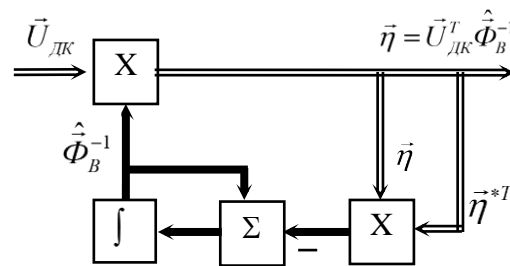


Рис. 3.11. Пристрій неперервної оцінки матриці

Тут введено перетворений вектор (3.11) у якому усунена взаємна кореляція сигналів компенсаційних каналів.

$$\vec{\eta} = \vec{U}_{DK}^T \hat{\Phi}_B^{-1}, \quad (3.11)$$

$$\hat{\Phi}_{By}^{-1} = \vec{\eta} \vec{\eta}^{*T}, \quad (3.12)$$

де матриця (3.12) - є матрицею поточної оцінки матриці $\hat{\Phi}_B^{-1}$;

T – визначає постійну часу інтегратора.

Необхідно підкреслити, що алгоритм (3.10) має самостійне значення. Він може застосовуватися у ФАР як алгоритм компенсації завад. Такий алгоритм, з урахуванням його застосування у ФАР, має вигляд формули (3.13) чи формули (3.14)

$$T \frac{d\hat{\Phi}^{-1}}{dt} = -\hat{\Phi}^{-1} \left(\hat{\Phi}_y \hat{\Phi}^{-1} - \vec{I} \right) = \hat{\Phi}^{-1} - \hat{\Phi}^{-1} \hat{\Phi}_y \hat{\Phi}^{-1}, \quad (3.13)$$

$$\hat{\Phi}^{-1} = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t \left(\hat{\Phi}^{-1} - \vec{\eta} \vec{\eta}^{*T} \right) dt \quad (3.14)$$

В цьому випадку схема представлена на рис. 3.11 перетворюється на схему адаптивної лінійної ФАР, що представлена на рис. 3.12.

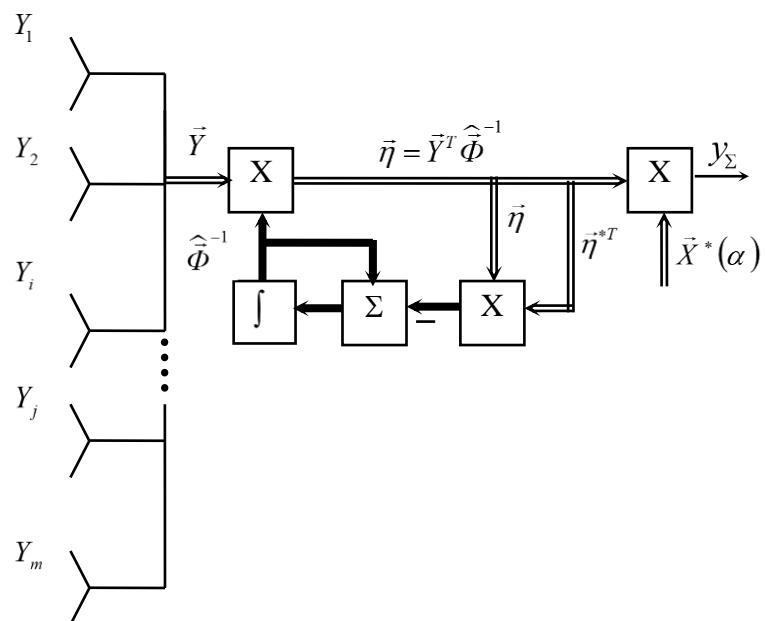


Рис. 3.12. Структурна схема адаптивної лінійної ФАР

де $\vec{Y} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_m \end{pmatrix}$ - вектор комплексних амплітуд вхідного сигналу;

y_Σ - результат просторової обробки вхідного сигналу (результат компенсації активних завад та когерентного накопичення сигналів за елементами ФАР);

$\vec{X}^*(\alpha)$ - вектор очікуваного амплітудно-фазового розподілу, що керує положенням променя адаптивної ФАР у просторі;

α - кутова координата, що відповідає положенню максимуму ДН лінійної ФАР.

Таким чином, кращим компенсатором активної складової комбінованих завад у просторовій області є адаптивна лінійна ФАР.

У загальному вигляді задача адаптивної обробки пасивної завади в часовій області зводиться до відбілювання спектру завад у фільтрі з коефіцієнтами, що адаптивно змінюються, і подальшому накопиченню сигналу на частоті Доплера. Ефективність обробки визначається значенням коефіцієнта поліпшення відношення сигнал/завада або ймовірнісних характеристик виявлення сигналу на виході системи обробки. Коефіцієнти оптимального адаптивного відбілюючого фільтра визначаються внаслідок виконання досить складних у обчислювальному відношенні операцій оцінки матриці підступу завад, її розкладання на добуток трикутних матриць. Оскільки ці операції необхідно виконувати з високою швидкістю в реальному масштабі часу, буде запропоновано різні способи спрощення такої обробки.

Вказаним сигналам і більшій частині видів завад РЛС достатньою мірою відповідає алгоритм виявлення, заснований на порівнянні з порогом C статистики Хотеллінга:

$$Z = \overline{X}^T \hat{R}^{-1} X > C, \quad (3.15)$$

де $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ - вектор прийнятих в даному елементі дозволу дальності комплексних амплітуд суміші сигналів і завади в N періодах пачки; \hat{R} - оцінка ермітової матриці коваріації завад; $\overline{(\cdot)}^T$ - знак комплексного з'єднання та транспонування.

Представляючи відомим способом матрицю, зворотну матриці коваріації, у вигляді добутку верхньої та нижньої трикутних матриць $\hat{G}^T \cdot \hat{G}$, отримуємо алгоритм

$$Z = \overline{(\hat{G}X)}^T (\hat{G}X) > C. \quad (3.16)$$

Записаний у даному вигляді алгоритм зводиться до виконання операцій відбілювання спектру завад в адаптивному матричному фільтрі (ВбФ – відбілюючий фільтр) і некогерентному накопиченні відфільтрованих сигналів. Структурна схема алгоритму (3.16) представлена рис. 3.13.

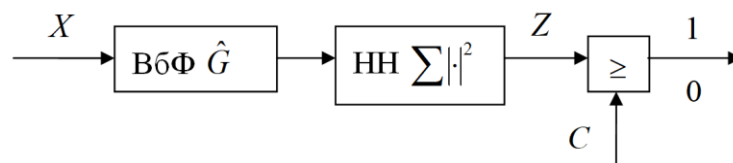


Рис. 3.13. Структурна схема алгоритму ВбФ-некогерентне накопичення

При реалізації замість некогерентного накопичення когерентного накопичення сигналів, що пройшли ВбФ, можна отримати більш високі показники виявлення. Число каналів когерентного накопичення визначається

із співвідношення
$$N_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} T_i}{\Delta T}$$
 і може бути суттєво більше N . Тут T_i - періоди повторення імпульсів пачки; ΔT - крок періоду повторення.

За аналогією з (3.16) алгоритм обробки ВбФ когерентного накопичення виглядає так:

$$Z_k = \left| \overline{(\hat{G}X)}^T (\hat{G}S_k) \right|^2 > C, \quad k = 1, \dots, N_k, \quad (3.17)$$

де $S_k = (s_{k,1}, s_{k,2}, \dots, s_{k,N})$; $s_{k,m} = e^{j2\pi \frac{(k-1)}{N_k \Delta T} \sum_{r=1}^{m-1} T_r}$ - сигнал, що виявляється в k -му частотному каналі.

Структурна схема алгоритму (3.17) представлена рис. 3.14.

В обробці (3.16), (3.17) найбільш складним елементом є обчислювальні матриці коефіцієнтів ВбФ \hat{G} . Для цього необхідно виконати ряд арифметичних операцій за складністю реалізації еквівалентних N^3 операціям множення.

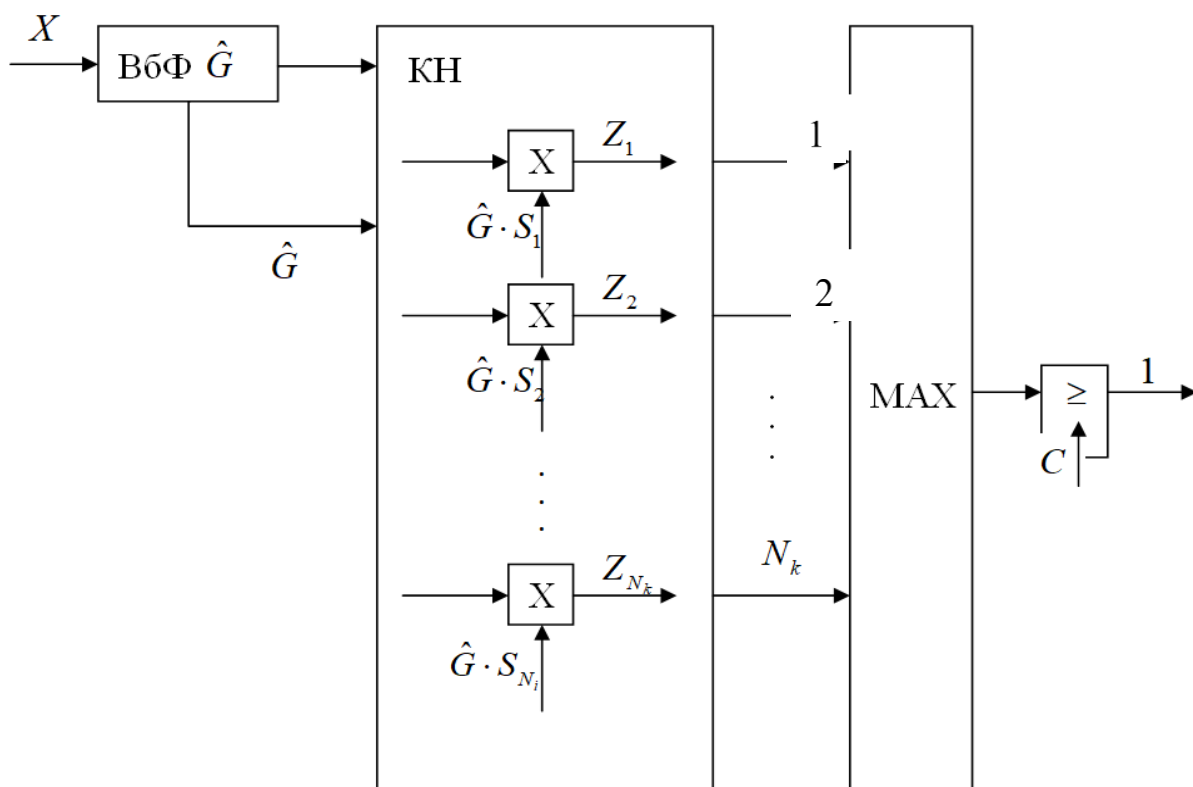


Рис. 3.14. Структурна схема алгоритму ВбФ-когерентне накопичення

Відбілювання спектру завад можна також реалізувати за допомогою структури адаптивного нарощуваного в m -му періоді пачки до $m-1$ каскаду гратчастого фільтра, в якому коефіцієнти прямого та зворотного відображення $\hat{K}_r^{(d)}(m)$, $\hat{K}_r^{(i)}(m)$; $r=1, \dots, m-1$ та коефіцієнти нормування $Q_d(m)$ визначаються за оцінками коефіцієнтів регресії та потужності завад у гілках фільтра. Структурна схема гратчастого фільтра представлена рис. 3.15. Число еквівалентних операцій множення в гратчастому фільтрі помітно менше ніж в ВБФ – порядку N^2 .

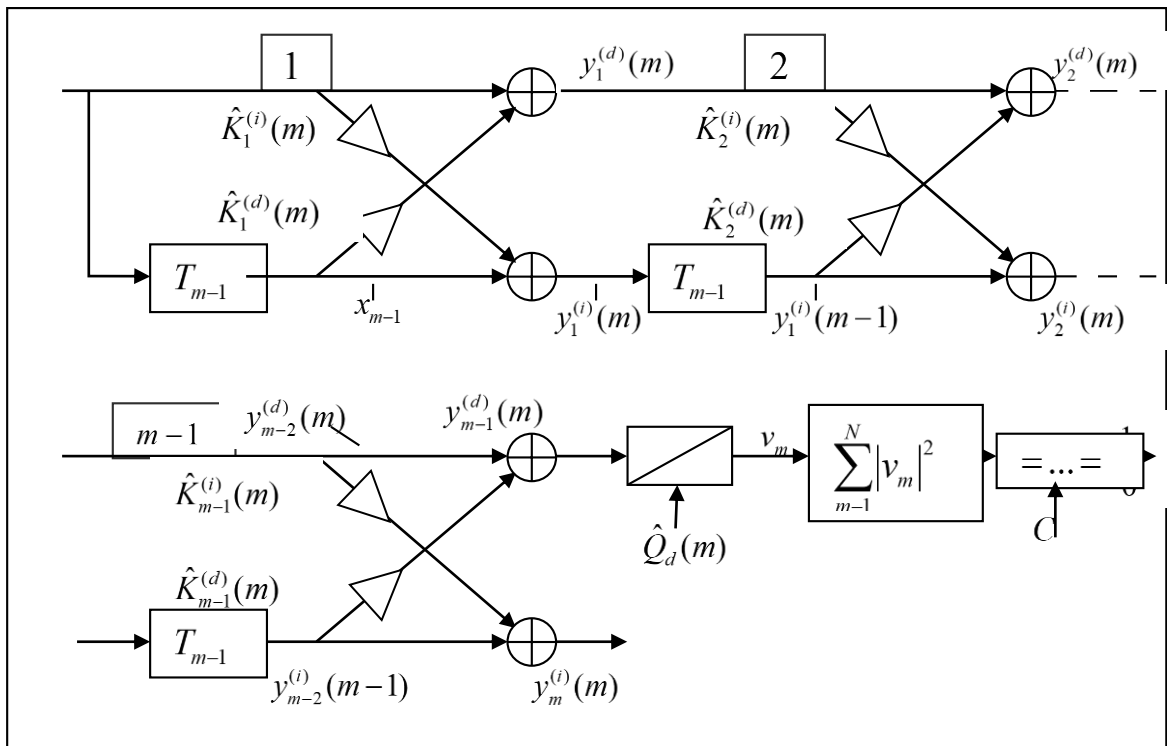


Рис. 3.15. Структурна схема решітчастого фільтра

Істотне зниження обчислювальних витрат може бути отримано при використанні багатоканальної за видами та параметрами завад обробки сигналів. Основним елементом такої обробки може бути адаптивний режекторний фільтр, вектор вагових коефіцієнтів W якого визначається як власний вектор матриці коваріації завад \hat{R} з найменшим власним значенням.

Модулі W для різних значень коефіцієнта міжперіодної кореляції завад ρ у вікні по дальності N_w і гауссівські функції спектра розраховуються заздалегідь і зберігаються в пам'яті. Втрати, пов'язані з тим, що реальний спектр може описуватися не гауссовою, а, наприклад, функцією дробно-раціональною, мають досить невелику величину.

Компенсація фази пасивної завади проводиться на вході режекторного фільтра шляхом оцінки у вікні дальності фазового вектора чергового періоду $e^{j\varphi_{1,k}}$ ($\varphi_{1,k}$ -різниця фаз пасивної завади в k -м і першому періоді пачки) та повороту на відповідну фазу k -го елемента вектора X . На виході режекторного фільтра проводиться нормування квадратів модулів відліків до оцінок потужності завад \hat{P}_w у вікні по дальності N_w .

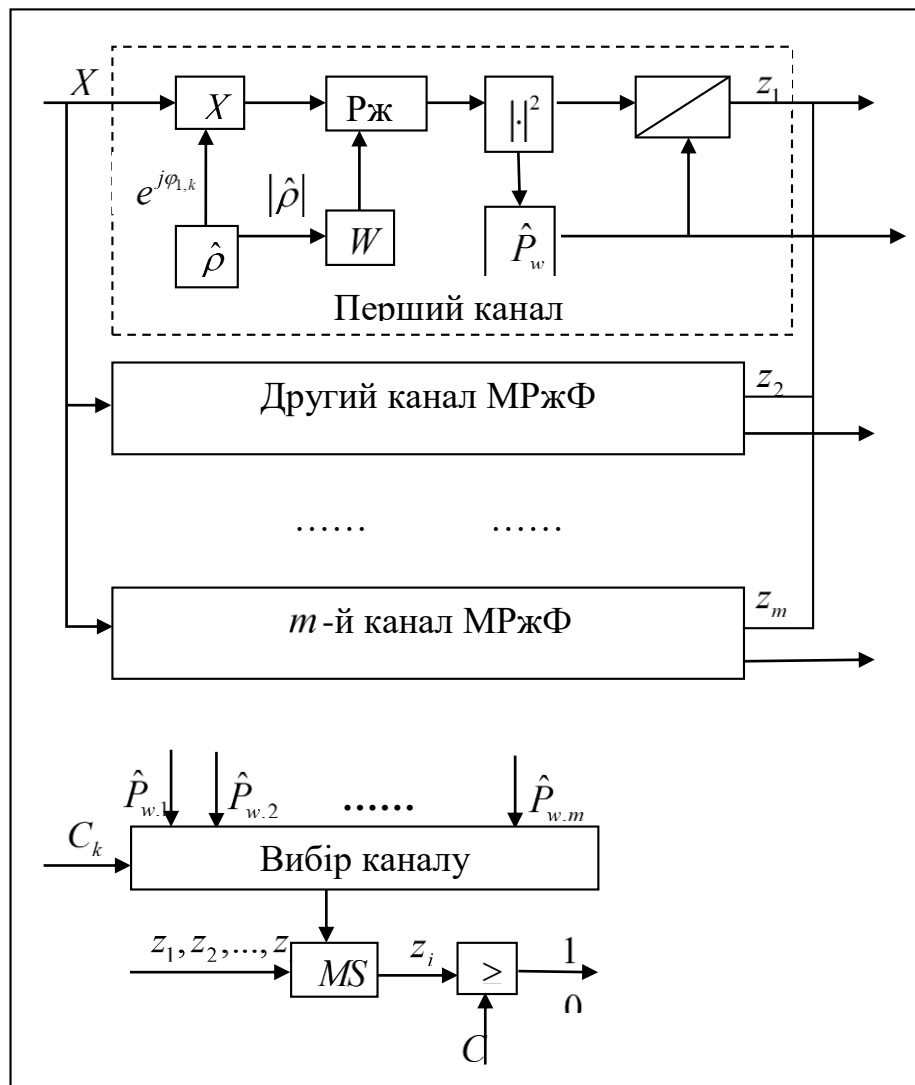


Рис. 3.16. Структурна схема багатоканального режекторного фільтра

Число операцій множення в одному режекторному фільтрі N , що менше, ніж в ВБФ і гратчастому фільтрі. Структурна схема багатоканального режекторного фільтра представлена рис. 3.16.

Таку обробку можна використовувати, наприклад, для суміші пасивна плюс несинхронно-шумова завада (НШЗ). Кожен канал обробки є режекторним фільтром, ваги якого оптимізовані для певного числа N_p та положення імпульсів НШЗ. При цьому вимірюється значення p ПЗ і відповідні ваги вибираються з пам'яті. Число каналів m залежить від шпаруватості НШЗ

q : $m \approx (\{q\} + 1)^{\frac{N}{\{q\}}}$ ($\{.\}$ – округлення до цілого). Даний вираз можна отримати, розбиваючи N імпульсів пачки на блоки $\{q\}$ імпульсів і вважаючи, що в кожному блоці може бути не більше одного імпульсу НШЗ. В результаті обробки вибирається канал із максимальним подавленням комбінованих завад (мінімум $\hat{P}_{w,i}$, $i=1, \dots, m$). Для зменшення числа помилкових перемикачів на канали з більшими значеннями N_p за умови вибору каналу вводиться порогова константа C_k :

$$\frac{\hat{P}_{w,i}}{C_k} < \hat{P}_{w,j}$$

Тут $\hat{P}_{w,i}$ - потужність завад на виході i каналу, причому канал j налаштований на більше значення N_p , ніж канал i .

При виборі i -го каналу нормовані до потужності завад квадрати модулів

відліків з виходу режекторного фільтра $z_i = \frac{|y_i|^2}{\hat{P}_{w,i}}$ порівнюються з порогом C ,

приймається рішення про наявність або відсутність сигналу в даному елементі дозволу по дальності.

Третій спосіб захисту від комбінованих завад. Одним із шляхів вирішення проблеми захисту від комбінованих завад є використання частотних відмінностей між активною та пасивною завадами, коли ширина спектра активної шумової завади (АШП) перевищує ширину спектра ехо-сигналу (рис. 3.17).

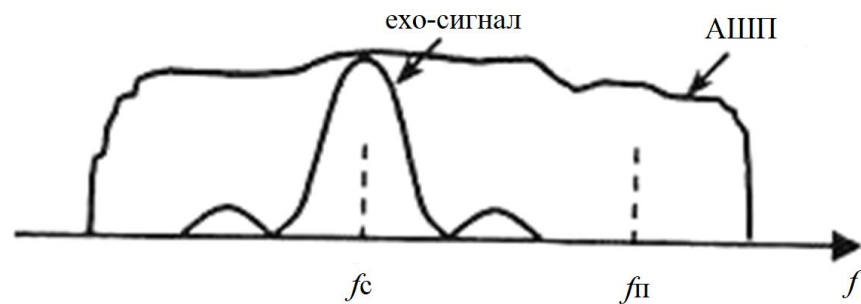


Рис. 3.17. Спектри завади та ехо-сигналу

У цьому випадку ваговий коефіцієнт для компенсації АШП може обчислюватися не на частоті ехо-сигналу f_c , а по спектральних складових активної завади f_n , що не збігається з сигналом. Це виключає вплив пасивної завади та корисного сигналу на формування вагового коефіцієнта. Оцінимо якість подавлення АШП при формуванні вагового коефіцієнта на частоті f_n , що є відмінною від частоти ехо-сигналу f_c .

Розглянемо двоелементну антенну систему (рис. 3.18).

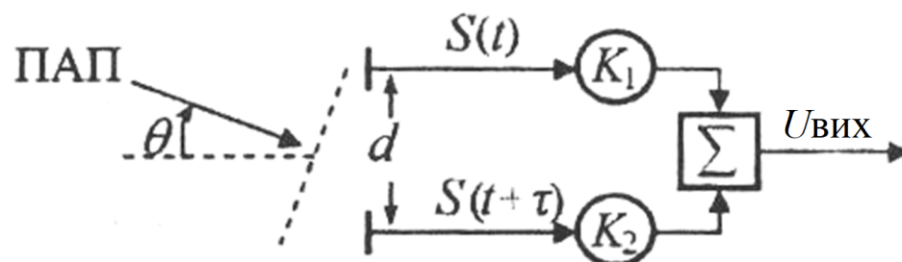


Рис. 3.18. Двоелементна антенна система

Якщо на один із входів надходить завада $S(t)$, то на другому вході ця завада матиме вигляд $S(t + \tau)$, де $\tau = \frac{d \sin \theta}{c}$ - затримка сигналу, зумовлена різницею ходу радіосигналу до приймальних пунктів; d - відстані між антенами; θ - напрямлення на джерело завад;

$$U_{\text{вих}}(t) = K_1 S(t) + K_2 S(t + \tau), \quad (3.18)$$

де K_1, K_2 - коефіцієнти підсилення приймальних трактів

Подавлення сигналу завади на частоті f_{Π} , здійснюється за умови

$$K_2 = -K_1 e^{i2\pi f_{\Pi} \tau}, \quad (3.19)$$

при цьому сумарна потужність вихідного шуму на частоті f_c визначається як:

$$P(f_c) = 2|K_1|^2 \left\{ 1 - \cos \left[2\pi \tau (f_{\Pi} - f_c) \right] \right\} P_{\text{АШП}} + 2|K_1|^2 P_{\text{вн.ш.}}, \quad (3.20)$$

де $P_{\text{АШП}}$ - потужність активної завади у каналі; $P_{\text{вн.ш.}}$ - потужність власного шуму приймального каналу

Використовуючи (3.20), відношення коефіцієнта подавлення АШП $K_{\Pi}(f_{\Pi})$ при налаштуванні автокомпенсатора на частоту f_{Π} до коефіцієнта подавлення АШП $K_{\Pi}(f_c)$ при налаштуванні автокомпенсатора на частоту f_c може бути записано у вигляді

$$\frac{K_{\Pi}(f_{\Pi})}{K_{\Pi}(f_c)} = 1 + \left\{ 1 - \cos \left[2\pi d \sin \theta \frac{(f_{\Pi} - f_c)}{c} \right] \right\} \frac{P_{\text{АШП}}}{P_{\text{вн.ш.}}}, \quad (3.21)$$

При налаштуванні автокомпенсатора на частоту f_c (тобто коли $f_{\Pi} = f_c$) $\frac{K_{\Pi}(f_{\Pi})}{K_{\Pi}(f_c)} = 1$. Для випадку $f_{\Pi} \neq f_c$ відношення $\frac{K_{\Pi}(f_{\Pi})}{K_{\Pi}(f_c)} > 1$, тобто виникають втрати як подавлення АШП.

Схема пристрою, що здійснює подавлення активної завади, наведено рис. 3.19.

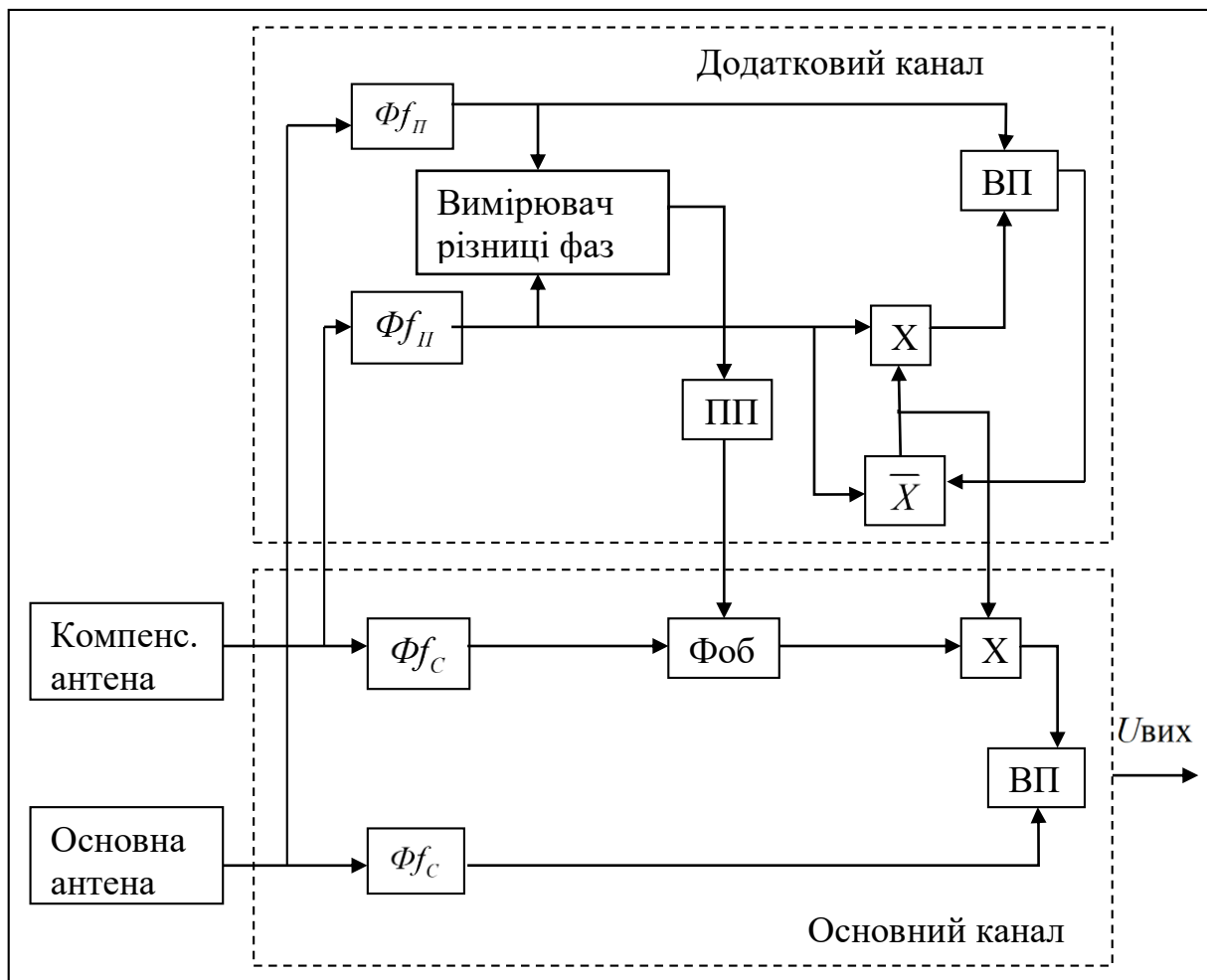


Рис. 3.19. Пристрій подавлення активної і пасивної завади

Фільтри сигналу Φf_c узгоджені зі спектром ехосигналу, у тому числі і з пасивною завадою. Фільтри завади Φf_{Π} приведені до спектру ехосигналу і пропускають лише активну заваду. Додатковий канал є автокомпенсатором

АШП, налаштованим на частоту f_{Π} , який формує сигнал керування для основного каналу, налаштованого на частоту f_c .

Пристрій працює наступним чином. Прийнята основною антеною АШП проходить у додатковому каналі через фільтр завади Φf_{Π} і віднімаючий пристрій (ВП) на корелятор, на другий вхід якого надходить АШП, прийнята компенсаційною антеною. Корелятор формує ваговий коефіцієнт взаємної кореляції АШП, прийнятих основною та компенсаційною антенами. Завада, прийнята компенсаційною антеною, множиться на ваговий коефіцієнт і надходить на ВП, що забезпечує її подавлення. Одночасно з цим АШП, прийнята компенсаційною антеною, проходить в основному каналі через фільтр сигналу Φf_c , фазообертач Фоб, множиться на ваговий коефіцієнт, сформований в кореляторі додаткового каналу, і надходить на ВП, на другий вхід якого приходить АШП, прийнята основною антеною. В результаті ВВ основного каналу забезпечується компенсація АШП, що діє на частоті сигналу. Оскільки налаштування автокомпенсатора здійснюється на частоті f_{Π} , відмінній від частоти f_c , це призводить до зменшення коефіцієнта подавлення АШП на частоті f_c відповідно до (3.21).

Для підвищення ефективності подавлення АШП на частоті сигналу використовується вимірювач різниці фаз, який формує напругу, пропорційну різниці фаз АШП $\Delta\varphi_{\Pi}$ на виходах фільтрів завади додаткового каналу. Сформульована напруга через підсилювач з коефіцієнтом передачі, що дорівнює $\left(\frac{f_{\Pi}}{f_c} - 1\right)$, надходить на Фоб, який змінює фазу АШП на виході фільтра сигналу відповідно (3.22). Це дозволяє усунути відмінність фазових зсувів АШП між основною та компенсаційними антенами на частотах фільтрів завади Φf_{Π} та сигналу Φf_c , що зумовлює збільшення коефіцієнта подавлення АШП на частоті сигналу. Так як налаштування автокомпенсатора здійснюється на частотах, що не збігається з частотою сигналу, це виключає вплив пасивної завади на якість роботи автокомпенсатора активних завод.

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\Pi} - \Delta\varphi_C = \left(\frac{f_{\Pi}}{f_C} - 1 \right) \Delta\varphi_{\Pi}, \quad (3.22)$$

де: $\Delta\varphi_{\Pi} = 2df_{\Pi} \sin\theta/c$ и $\Delta\varphi_C = 2df_C \sin\theta/c$. Усунення фазових зсувів АШП

між основною та компенсаційною антенами на частотах фільтрів завади Φf_{Π} та сигналу Φf_C , що практично виключає втрати коефіцієнта подавлення та забезпечує ефективне подавлення завади незалежно від кута θ

Для захисту від комбінованих завад необхідно послідовно з пристроєм компенсації АШП (рис. 3.19) увімкнути компенсатор пасивних завад, рис. 3.20.

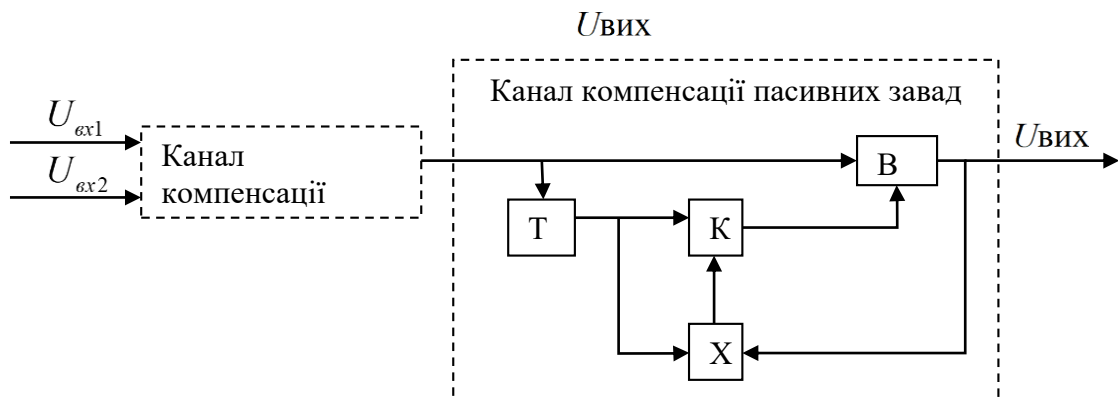


Рис. 3.20. Пристрій захисту комбінованих завад

При цьому на вхід компенсатора пасивних завад будуть надходити сигнали без впливу активної завади, яка попередньо компенсується подавленням каналу АШП.

3.4 Принципи статистичного (імітаційного) моделювання вимірювальних радіолокаційних систем за умов впливу комбінованих завад

Експериментальна перевірка (дослідження) швидкодіючих алгоритмів захисту з оцінкою зворотної кореляційної матриці завад є технічно складною.

У той же час наявні в даний час сучасні обчислювальні засоби з відповідним програмно-математичним забезпеченням і швидкодією дозволяють обійтися без дуже витратних натурних експериментів і провести достовірну експериментальну перевірку синтезованих алгоритмів та вимірювальних пристроїв на основі технології імітаційного моделювання та верифікованих статистичних моделей.

У ряді існуючих методів статистичного моделювання складних систем найважливішу роль відіграє імітаційне моделювання (ІМ), в основі якого лежить заміна реальної фізичної системи (процесу) її наближеним відображенням у вигляді математичної моделі, моделюючого алгоритму та відповідного програмного забезпечення, що у своїй сукупності реалізують відтворення основних аспектів функціонування вихідної системи. Важливо підкреслити, що ІМ це не теорія, і навіть не методологія, а синтетичний (узагальнений, інтегральний) метод дослідження, що спирається на експеримент із цифровою моделлю реальної системи.

Імітаційному моделюванню вимірювальних РЛС в умовах впливу завад (тобто в умовах радіоелектронного конфлікту із зовнішнім середовищем) властивий ряд характерних рис:

а) високий ступінь пов'язаності з моделями радіоелектронних і нерадіоелектронних систем (надсистем), в інтересах яких створюються і функціонують РЛС. Це визначає необхідність досить повного врахування на рівні вихідних даних просторово-часових характеристик динаміки конфлікту надсистем, у яких радіоелектронні системи виконують основні функції з інформаційного забезпечення активних дій та протидії;

б) статистичний, імовірнісний характер моделей, що використовуються в описах РЛС. Ця особливість є прямим наслідком імовірнісного характеру процесів, що відбуваються в РЛС у ході конфліктної інформаційної взаємодії, і, насамперед, наявності елементів випадковості при зміні станів об'єктів взаємодії, а також завад у каналах обміну інформацією;

в) необхідність повномасштабного відтворення радіоелектронної обстановки та насиченого потоку сигналів на вході вимірювальних РЛС, що створюються великою кількістю різнорідних джерел радіовипромінювань; частина з них є об'єктами інформаційної взаємодії, а інша частина створює завадний фон. При цьому практично відсутня можливість моделювання процесів взаємодії з кожним джерелом окремо, так як вхідні потоки сигналів від різних джерел мають сильне перекриття частотно-просторово-часових параметрів.

З урахуванням цих особливостей розглянемо основні засади розробки цифрових імітаційних моделей вимірювальних РЛС.

Суть ІМ полягає у відтворенні процесу функціонування РЛС у взаємодії із зовнішнім середовищем з метою визначення показників ефективності для вихідних даних, якими був заданий варіант побудови системи. З урахуванням ймовірнісного характеру досліджуваного процесу відтворення однієї чи невеликої кількості реалізацій не дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо властивостей вимірювальної РЛС. Тому дослідження систем на імітаційній моделі часто пов'язують із реалізацією методу Монте-Карло, в основі якого лежить здійснення наступних дій:

а) проведення великої кількості однакових за вихідними даними актів імітації процесу функціонування РЛС у взаємодії із зовнішнім середовищем;

б) формування на цій основі відповідної кількості незалежних реалізацій випадкових величин, що характеризують ті чи інші наслідки функціонування РЛС у сенсі вирішення зовнішньообумовлених завдань;

в) усереднення та інша обробка формованих сукупностей реалізацій випадкових величин з метою отримання статистично значимих висновків щодо значень показників ефективності РЛС (у цьому випадку – систематичну та флуктуаційну помилки вимірювання кутових координат цілі в умовах завад).

Таким чином, спочатку необхідно сформувати неспотворену вхідну сукупність сигналів (їх модельних еквівалентів) від усіх джерел завад та цілі,

потім систему адаптивної просторової обробки сигналів в умовах впливу комбінованих завад.

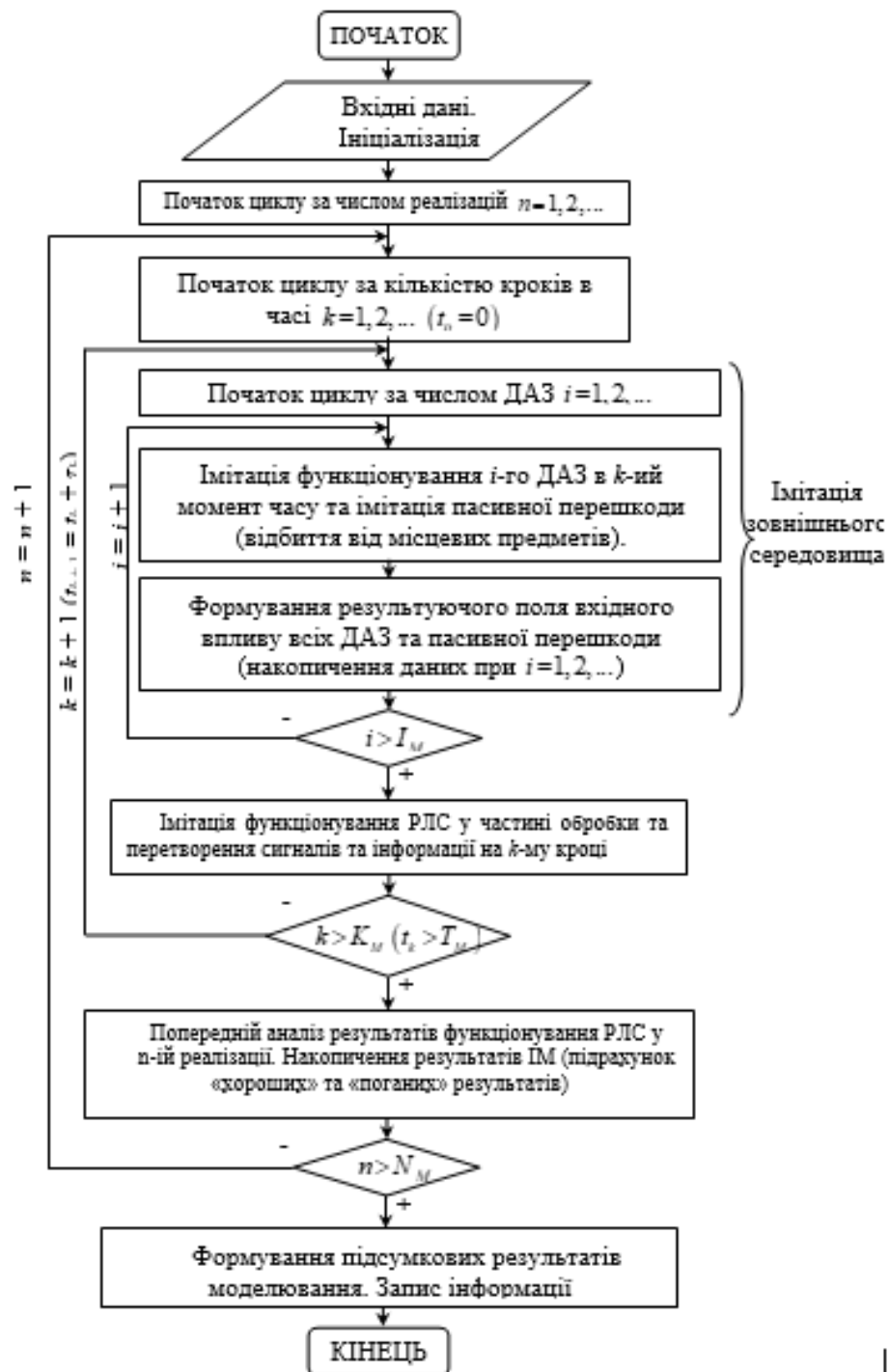


Рис. 3.21. Загальна схема імітаційного моделювання РЛС

Далі – сформувати фільтр подавлення комбінованих завад та блок оцінки показників якості подавлення та швидкодії. При ІМ поведінка РЛС

відтворюється на деякому відрізку часу $[0, T_M]$. Відтворення часу у будь-якій ІМ пов'язане із заданням «модельного часу». Воно потрібне для синхронізації послідовності подій, що відбуваються в моделі системи, та організації «квазіпаралелізму» під час імітації одночасного функціонування основних елементів системи. В силу дискретного характеру функціонування ЕОМ, а також стрибкоподібного характеру зміни станів елементів систем, поточний час імітаційної моделі задається шляхом дискретного збільшення часових відрізків. При цьому виділяють два основні способи завдання модельного часу:

а) спосіб Δt , при якому збільшення (просування в часі) здійснюється з фіксованим інтервалом Δt ;

б) спосіб Δz , при якому в моделювальному алгоритмі збільшення модельного часу проводиться в момент настання чергової події, що полягає в зміні стану будь-якого з елементів зовнішнього середовища або системи.

У першому випадку цикл точок на часовій осі $t_{k+1} = t_k + \Delta t$ достатньо організувати як звичайний цикл від 1 до $K_M = T_M / \Delta t$, а в другому випадку точки на часовій осі визначаються збільшенням випадкового інтервалу τ_k між подіями, що полягають у стрибкоподібній зміні станів: $t_{k+1} = t_k + \tau_k$. При побудові імітаційної моделі можлива також комбінація способів $\Delta t \times \Delta z$.

Вибір способу завдання модельного часу важливий з позицій раціонального використання обчислювального ресурсу ЕОМ, досягнення необхідної точності моделювання та складності моделюючого алгоритму. Багато в чому цей вибір визначається характером функціонування РЛС.

Складність і різномасштабність у часі сигналів, необхідність досить детального відтворення радіоелектронної обстановки, створюваної комбінованими завадами, актуалізують проблему надання процесу досліджень доступного для огляду характеру. При цьому найважливішим завданням є завдання аналізу закономірностей впливу обробки, реалізованої в різних

рівнях моделі спостережень (МС), на загальну результуючу ефективність системи. Тому при розробці імітаційної моделі в конкретній ситуації доцільно використовувати принцип функціонального моделювання, відповідно до якого в ході розробки ІМ необхідно зосередитися на найбільш суттєвих особливостях побудови системи, що забезпечують оцінку її якості в аспекті, що цікавить дослідника. При цьому моделювання окремих елементів може проводитись незалежно. Отримані точнісні, імовірнісні і часові характеристики процедур обробки сигналів та інформації, що реалізуються, використовуються далі для опису їх функціональних еквівалентів при аналізі результуючої ефективності системи. Зокрема, при декомпозиції (деталізації) процесу радіолокаційного спостереження прийнято використовувати ієрархію внутрішньообумовлених завдань із виділенням підсистем поетапної обробки. При цьому природно забезпечується визначення частинних показників ефективності функціонування окремих підсистем і модулів, що мають самостійне значення і одночасно суттєво впливають на інтегральну ефективність системи.

На підставі викладеного вище підходу перейдемо до розробки та опису статистичної (імітаційної) моделі алгоритмів захисту від комбінованих завад.

3.5 Розробка статистичної моделі адаптивної РЛС із лінійною ФАР

Сенс імітаційного моделювання адаптивної РЛС полягає в розробці програми цифрового радіолокатора, близького до реального, з подальшим відтворенням відповідних процесів обробки сигналів в умовах наявності більшості зовнішніх завадових факторів. Така модель технологічно відрізняється від реальної системи тільки тим, що в ній реальна ФАР замінена її цифровим статистичним аналогом, а сигнали, що приймаються ФАР, і внутрішні шуми апаратури обробки замінені відповідними моделями. Інші процедури обробки сигналів через застосування в більшості сучасних радіолокаторів ЦОС практично збігаються. У той же час, така модель має

важливу дослідну перевагу, дозволяючи варіювати зовнішніми факторами, алгоритмами обробки сигналів, параметрами елементів ФАР. Модель дозволяє також оцінювати показники якості подавлення завад, характеристики спільного розподілу параметрів сигналу, взаємозалежність інформативних та неінформативних параметрів тощо.

Амплітудно-фазовий розподіл за просторовими координатами ФАР має вибиратися наступним чином як показано у формулі (3.23):

$$\vec{X}(\beta) = \left\| \exp \left[j \cdot \pi \frac{2 \cdot m - M - 1}{M} \beta \right] \right\|, \quad (3.23)$$

$$\text{де } m = 1 \dots M, \quad \beta = \frac{M \cdot d}{\lambda} \sin(\theta);$$

M – кількість елементів лінійної ФАР;

θ – кутовий напрямок на джерело корисного сигналу, що відраховується від нормалі до антени;

d – відстань між елементами ФАР.

У статистичній моделі передбачена можливість зміни інтенсивностей та кутових положень джерел завад, що дозволяє проводити аналіз ступеня спотворення ДН адаптивної ФАР залежно від складності завадової обстановки, а також проводити оцінку величини систематичної та флуктуаційної помилок, коефіцієнта подавлення та ступеня «перекриття» корисного сигналу та завади по вимірюваній координаті (у цьому випадку – азимуту).

У моделі також передбачено формування від датчика випадкових чисел випадкових значень матриці внутрішніх шумів X_S з одиничною дисперсією та нульовим математичним сподіванням розміру $M \times T$, що враховує шуми приймальних елементів ФАР та її амплітудно-фазового розподілу. Тут T – кількість вибірок внутрішнього шуму (розмір масиву шумів) у часі.

Для кожного елемента випадкового вектора зовнішніх джерел завад SP , відповідно до співвідношення (3.23), формується свій амплітудно-фазовий розподіл. В результаті чого відбувається формування матриці шумових завад XP розміру $M \times T$, що містить адитивну суміш шумових завад N різних джерел зі своїми інтенсивностями і амплітудно-фазовими розподілами.

Далі передбачено формування t -ї матриці завадових впливів YPt , що є адитивною сумішшю t -ї матриці шумових завад XP і t -ї матриці внутрішніх шумів XS .

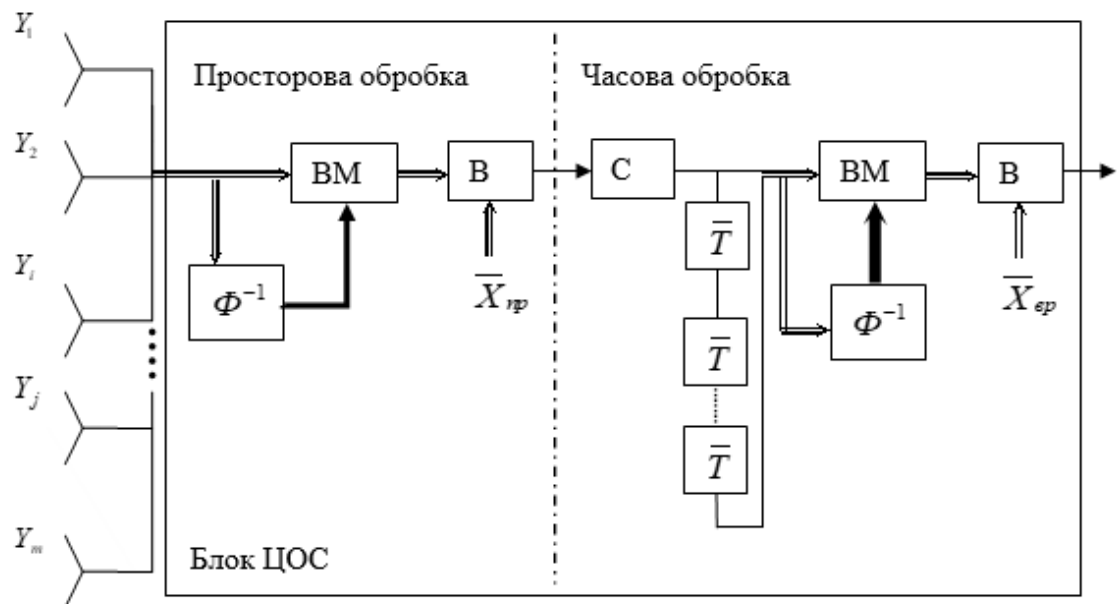


Рис. 3.22. Блок-схема роботи алгоритму подавлення комбінованих завад

На підставі сформованого масиву шумів та завадових впливів відповідно до того чи іншого алгоритму адаптації формується оцінка матриці $\bar{\Phi}^{-1}(t, s)$, зворотної кореляційної матриці завад, що обчислюється за формулою (3.24)

$$\bar{\Phi}(t, s) = \frac{1}{2} \overline{[\bar{Y}(t) \bar{Y}^{*T}(s)]}, \quad (3.24)$$

Блок формування масиву корисного сигналу YS розміру $M \times T$ передбачає можливість формування всіх M вибірок однієї реалізації з однаковими початковою фазою та амплітудою, значення яких від вибірки до

вибірки в межах масиву за часом T задаються за допомогою датчика випадкових чисел, що відповідає моделі сигналу з випадковою початковою фазою та амплітудою, відбитого від цілі з рівноцінними блискучими точками. У наступному блоці формується масив (матриця) вхідних впливів $Y=YP+YS$ розміру $M \times T$, що являє собою адитивну суміш шумів елементів ФАР, шумових завад від джерел N , пасивних завад і корисного сигналу, прийнятого в напрямку нормалі до ФАР. Додавання матриці (масиву) сигналу до матриці (масиву) внутрішніх шумів та завад після формування оцінки ОКМП $\bar{\Phi}^{-1}(t, s)$ імітує, що потужність ехо-сигналу істотно нижче спектральної щільності потужності завадових коливань і впливом корисного сигналу на оцінку цієї матриці можна знехтувати.

3.6 Дослідження алгоритмів захисту від комбінованих завад

Для дослідження використано алгоритм захисту від комбінованих завад, що здійснює поділ обробки на просторову і часову з подальшим накопиченням сигналів в оптимальному фільтрі на фоні власних шумів.

Для дослідження алгоритму задаємо кількість кроків ітерації за часом, перебір за часом, кількість елементів ФАР та перебір за елементами, кількість точок розподілу функції корисного сигналу по осі доплерівських частот та перебір за точками, форму корисного сигналу, що відбився від цілі з найкращою доплерівською швидкістю, форму та закономірність пасивної завади, власних шумів, активної завади, кількість джерел активних завад їх інтенсивність та направлення на антену. Обчислюємо ОКМП і перемножуємо її з матрицею очікуваного амплітудно-фазового розподілу для просторової області та з матрицею очікуваного час-частотного розподілу для часової обробки.

Досліджуємо обробку у просторовій області. Результати представлені на графіках – це рис. 3.23, 3.24 та 3.25.

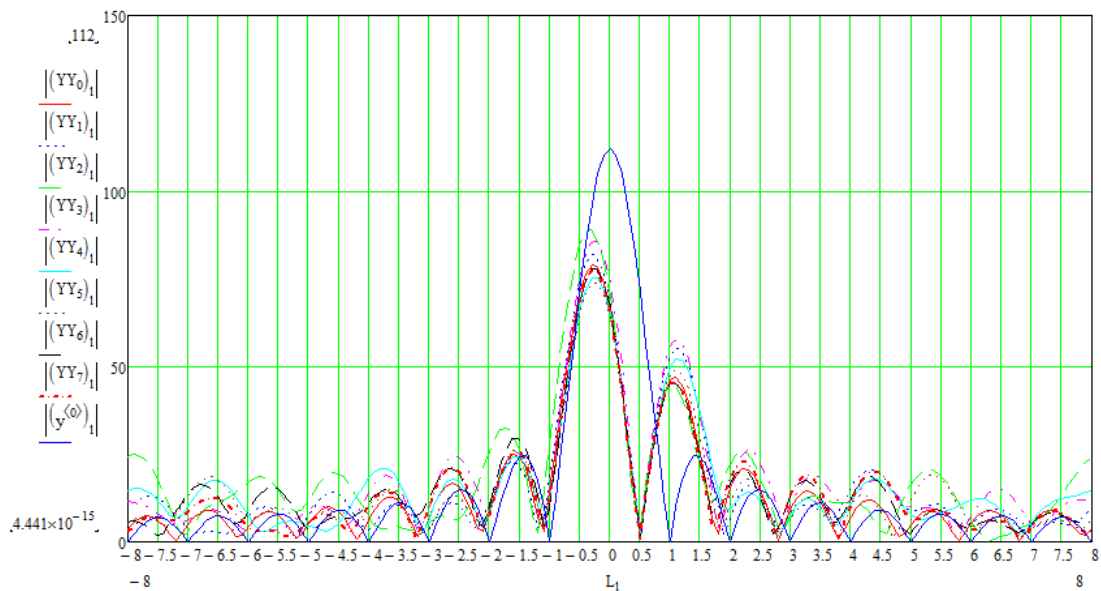


Рис. 3.23. Результат просторової обробки лише за впливу активних завад

На рис. 3.23 синьою (суцільною) лінією показаний ідеальний результат просторової обробки (беззавадна обстановка). Іншими лініями показаний результат просторової обробки при дії джерела завад у напрямку 0.5 напівширини характеристики направленості антени. За графіком видно, що активна завада повністю подавлюється ($K_{\text{под}} \approx 50-60 \text{ дБ}$), а амплітуда корисного сигналу на виході пристрою просторової обробки суттєво зменшується, що відповідає зменшенню дальності виявлення РЛС. Погіршуються також і показники радіолокаційного вимірювання – з'являється систематична помилка вимірювання, що становить приблизно $0,3$ півширини характеристики направленості антени кутового вимірювача.

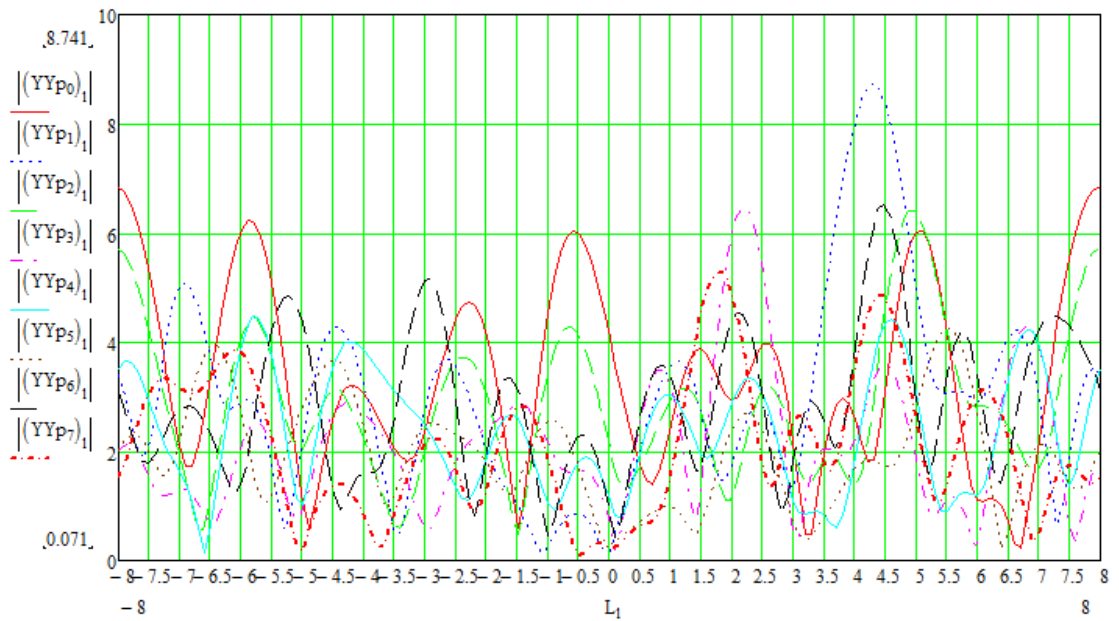


Рис. 3.24. Результат просторової обробки при впливі лише пасивної завади

Рис. 3.24 представляє результат просторової обробки тільки при впливі пасивної завади великої інтенсивності, що зазвичай спостерігається при виявленні та супроводі повітряних цілей на фоні місцевих предметів у гірських районах. За графіком видно, що корисний сигнал повністю спотворився і втратив свою інформативність, отже, пасивна завада не підлягає обробці в просторовій області. Тому досліджується алгоритм із поділом обробки.

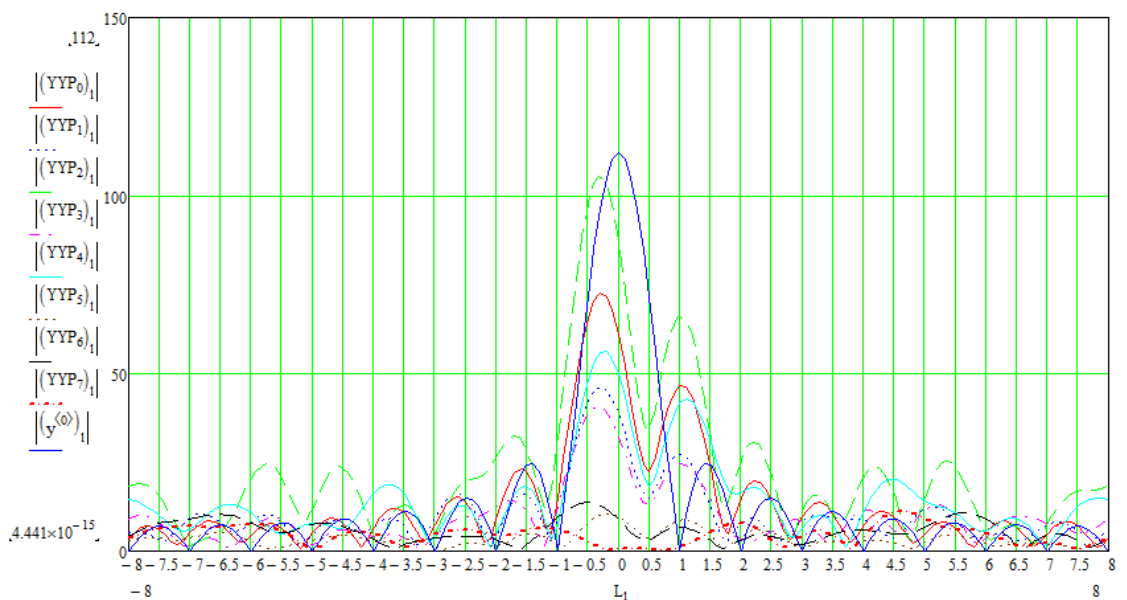


Рис. 3.25. Результат просторової обробки при дії комбінованої завади

Результат просторової обробки при дії комбінованої завади у вигляді адитивної пасивної суміші та активних завад представлений на рис. 3.25. Синьою (суцільною) лінією, також показаний, ідеальний результат, іншими лініями результат при обробці суміші сигналу з завадою на кожному кроці ітерації за часом. Найкращими результатами, як видно з графіків, є результати обробки на перших чотирьох кроках ітерації за часом (коефіцієнт подавлення активної завади зменшився до 23 дБ), при наступній адаптації відбувається значне спотворення характеристики направленості антени станції радіолокації. Як і за наявності тільки активної шумової завади відбувається істотне зменшення рівня корисного сигналу на виході пристрою просторової обробки, особливо починаючи з п'ятого кроку ітерації (до 20 дБ).

На наступних рисунках показані результати обробки у часовій області.

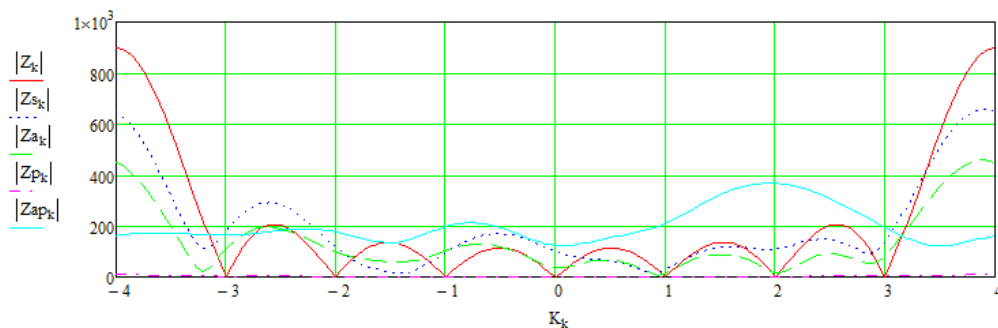


Рис. 3.26. Результат обробки у часовій області: Z_k - ідеальний випадок (без завади); Zs_k - за наявності власних шумів; Za_k - за наявності активних завад; Zp_k - за наявності активних завад; Zap_k - за наявності адитивної суміші активної та пасивної завад

Кращий результат накопичення (обробки в часовій області), показаний на рис. 3.26, за наявності власних шумів та активних завад настає за максимального фазового відхилення $-\pi$ (або $-\pi$). При прийомі корисного сигналу з тим самим фазовим зсувом (π) на фоні комбінованих завад

відбувається суттєве спотворення фазової характеристики – корисний сигнал накопичується зі зсувом фази $\pi/2$.

Результат обробки за наявності пасивної завади представлений рис. 4.7. За наявності пасивної завади корисний сигнал після просторової обробки накопичується без зміни фазової характеристики. Істотне зменшення корисного сигналу пов'язане з подавленням корисного сигналу пристроєм просторової обробки. При цьому досягається максимальний коефіцієнт подавлення пасивної завади $K_{\text{под III}} = 33 \text{ dB}$. При дії на РЛС комбінованої завади коефіцієнт подавлення складової завади, викликаній пасивною завадою, становить $K_{\text{под III}} = 27 \text{ dB}$

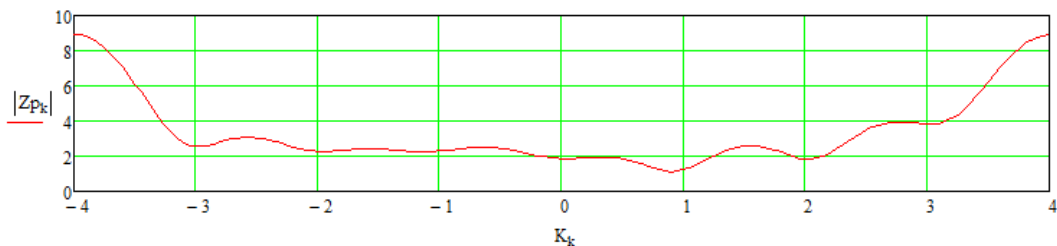


Рис. 3.27. Результат часової обробки за наявності пасивної завади

З результатів дослідження можна зробити висновок, що крім алгоритмів захисту від завад в РЛС необхідно застосовувати алгоритми оцінювання завадової обстановки для точного визначення виду взаємодіючих завад і включення більш оптимального алгоритму обробки і подавлення завад.

3.7 Висновки до розділу 3

Комбіновані завади є комбінації різних видів активних і пасивних завад. Їх проявлення на індикаторі кругового огляду дуже схоже на активні завади, оскільки потужність активної завади у цій комбінації перевершує пасивну заваду. Але застосування для боротьби з комбінованими завадами лише одних алгоритмів захисту від активних завад не дасть очікуваного ефекту, оскільки пасивна завада залишається не подавленою, і навпаки, застосування лише

алгоритмів захисту від пасивних завад не виключить вплив активної завади. Тому необхідно досліджувати та розробляти алгоритми, які ефективно б пригнічували активну та пасивну завади.

Проаналізовано різні типи шумових завад, зокрема модульовані за амплітудою, фазою чи частотою.

Також проаналізовано алгоритми та пристрої захисту від комбінованих завад, зокрема метод захисту одночасно від усіх видів завад, що виконується в одному пристрої без поділу на послідовну або паралельну структуру, захист від комбінованих завад шляхом поділу обробки у просторовій та часовій областях з подальшим накопиченням сигналів у оптимальному фільтрі на фоні власних шумів та здійснення подавлення активної завади на фоні пасивної за рахунок відмінностей спектрів сигналів, що приймаються, з подальшим подавленням пасивної завади. Детально проаналізовано другий та третій способи а також схеми відповідних фільтрів та алгоритми їх роботи для випадку подавлення комбінованих завад. Проаналізовано схему кореляційного автокомпенсатора завад. Запропоновано структуру пристрою подавлення активної і пасивної завади та пристрою захисту від комбінованих завад.

Розглянуто питання імітаційного моделювання вимірювальних радіолокаційних систем за умов впливу комбінованих завад. Розроблено блок-схему алгоритму імітаційного моделювання роботи радіолокаційної системи. Розроблено блок-схему роботи алгоритму подавлення комбінованих завад для адаптивної радіолокаційної системи.

Встановлено, що крім алгоритмів захисту від завад в радіолокаційній системі необхідно застосовувати алгоритми оцінювання завадової обстановки для визначення виду взаємодіючих завад.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Вірно спроектоване та раціонально влаштоване освітлення виробничих приміщень справляє позитивний психофізіологічний вплив на працюючих, підвищує ефективність та безпеку праці, знижує втому та травматизм, забезпечує високу працездатність.

Зір у всій системі органів відчуттів людини посідає чільне місце. Відомо, що на органи зору припадає 90% всієї інформації, котру отримує людина. Відчуття зору відбувається під впливом видимого випромінювання (світла), котре є електромагнітним випромінюванням з довжиною хвилі 0,38...0,76 мкм. Чутливість зору максимальна до електромагнітного випромінювання з довжиною хвилі 0,555 мкм (жовто-зелений колір) та зменшується до границь видного спектру.

Класифікація освітлення

При освітленні виробничих приміщень використовують:

- природне освітлення, котре створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу і яке змінюється залежно від географічної широти, пори року, доби, ступеня хмарності та прозорості атмосфери;
- штучне освітлення, створюване електричними джерелами світла;
- сумісне освітлення, при котрому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне освітлення поділяється на бічне (одно- або двостороннє), здійснюване через світлові отвори в зовнішніх стінах; верхнє, що здійснюється через аераційні та захисні ліхтарі, отвори в дахах та перекриттях; комбіноване поєднання верхнього та бічного освітлення.

Штучне освітлення за конструктивним виконанням поділяється на два

види - загальне та комбіноване. Система загального освітлення використовується в приміщеннях, де по всій площі виконуються однотипні роботи. Розрізняють загальне рівномірне освітлення, при котрому світловий потік розподіляється рівномірно по всій площі приміщення без урахування розташування робочих місць і загальне локалізоване освітлення (з урахуванням розташування робочих місць).

При виконанні точних зорових робіт (слюсарні, токарні, фрезерні, контрольні тощо) в місцях, де обладнання створює глибокі, різкі тіні або робочі поверхні розташовані вертикально, поряд з загальним освітленням застосовується місцеве освітлення. Сукупність місцевого та загального освітлення називається комбінованим. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне і спеціальне, котре в свою чергу класифікується як охоронне, чергове, евакуаційне, бактерицидне, еритемне тощо.

Робоче освітлення призначене для забезпечення виробничого процесу, проходу людей, руху транспорту та є обов'язковим для всіх виробничих приміщень.

Аварійне освітлення влаштовується для продовження роботи у випадках, коли раптове відключення робочого освітлення та пов'язане з цим порушення нормального обслуговування обладнання може викликати вибух, пожежу, отруєння людей, порушення технологічного процесу тощо. Мінімальна освітленість робочих поверхонь при аварійному освітленні повинна складати 5% від нормованої освітленості робочого освітлення, але не менше 2 лк.

Евакуаційне освітлення призначене для забезпечення евакуації людей з виробничого приміщення при аваріях та вимкненні робочого освітлення і влаштовується в місцях, небезпечних для проходу з виробничих приміщень, в котрих працює більше 50 чол. Мінімальна освітленість на підлозі основних проходів та на сходах при евакуаційному освітленні повинна бути не менше

0,5лк, а на відкритих майданчиках - не менше 0,2 лк.

Охоронне освітлення влаштовується вздовж границь території, котра охороняється спеціальним персоналом. Найменша освітленість у нічний час - 0,5лк. Сигнальне освітлення застосовується для фіксації границь небезпечних зон, вказує на наявність небезпеки, або безпечний шлях евакуації.

До виробничого освітлення можна віднести бактерицидне та еритемне освітлення. Бактерицидне освітлення створюється для знезараження повітря, питної води, продуктів харчування. Найбільшу бактерицидну здатність мають ультрафіолетові промені з довжиною хвилі 0,254...0,257мкм. Еритемне опромінювання влаштовується у виробничих приміщеннях, де недостатньо сонячного світла. Максимальний еритемний вплив справляють електромагнітні промені з довжиною хвилі 0,297мкм.

Гігієна праці вимагає в першу чергу максимального використання природного освітлення, оскільки денне світло краще сприймається органами зору.

Правильна організація освітлення передбачає не лише дотримання норм освітленості, котрі регламентують мінімальну освітленість для кожного виду робіт, але й дотримання гігієнічних вимог до якості освітлення, таких як рівномірність освітлення робочої поверхні, обмеження надмірної яскравості, блиску, осліплюючої дії, різких тіней та контрасту.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Організація робіт щодо знезаражування місцевості, споруд, технологічного обладнання, транспорту, одягу і засобів індивідуального захисту на об'єкті

Проводячи знезаражування, потрібно пам'ятати: територія для проведення знезаражування має бути достатньою, щоб забезпечити необхідні дії людей і техніки, розміщення тварин і всього, що підлягає знезараженню; людей, техніку, тварин необхідно розміщувати з підвітряної сторони від місця

аварії; знезаражування необхідно починати за принципом від простого до складного; спочатку виділити велику забруднену масу для попередження небажаних контактів із зоною високої концентрації; суворо контролювати перебування в індивідуальних засобах захисту; в холодну пору дії людей скуті, є труднощі в їх обслуговуванні, у разі замерзання заражених ділянок з'являються додаткові труднощі в ліквідації наслідків; готуючи й застосовуючи розчини для знезаражування, слід пам'ятати, що не всі розчини сумісні один з одним; на результати знезаражування суттєво впливають кількість води та її тиск; для знезаражування техніки, апаратури, приладів та ін. можна застосувати пар під низьким і високим тиском, але потрібно пам'ятати, що при високому тиску може утворюватися заражений аерозоль, здатний поширюватися за межі осередку зараження.

У разі необхідності потрібно організувати знезаражування території, будівель, складів, овочесховищ і продукції.

Деактивація — це видалення РР з поверхні різних об'єктів, а також із продуктів харчування, фуражу, сировини і води. Для визначення необхідності в дезактивації проводять дозиметричний контроль радіоактивного забруднення. Деактивацію можна проводити часткову або повну.

При дезактивації приміщень РР змивають сильним струменем води. Спочатку з даху, а потім зі стін, дверей і вікон. Струмінь води спрямовують на поверхню під кутом 30—40°. Змиті радіоактивні забруднення мають бути поховані.

Всередині виробничих приміщень видаляють пил зі стелі і стін струменем води або вологим обтиранням пилу зверху вниз.

Обладнання приміщень і предмети догляду за тваринами (годівниці, відра та ін.) промивають водою за допомогою щіток. Для більш повної дезактивації застосовують господарське мило, соду або поверхнево-активні речовини (ОП-7, ОП-10) 3 %-ї концентрації. Якщо холодна вода з миючими засобами не знижує рівня радіоактивної забрудненості, то дезактивацію потрібно проводити гарячими розчинами.

Техніку дезактивують такими способами: обмітанням віниками, мітлами, щітками; змиванням РР струменем води; обтиранням тампонами із ганчір'я, клоччя, щітками, змоченими водою, розчинниками або дезактивуючими розчинами; змиванням РР дезактивуючими розчинами з одночасною обробкою забруднених поверхонь щітками дегазаційних компонентів; очищенням забруднених поверхонь, вузлів і агрегатів миючими засобами "Лабомид", "Темп", "МС", "Ритм" у миючих машинах.

Для зниження температури замерзання дезактивуючих розчинів їх готують на основі аміачної води зі вмістом аміаку 20—25 %.

Як часткову дезактивацію у польових умовах за відсутності води застосовують обмітання, яке знижує забрудненість РР у 2—4 рази.

Дезактивуючи металеві, гумові, пластмасові, цегляні, бетонні й асфальтові поверхні, ефективним є змивання струменем води під тиском близько 20 кПа з відстані 2—3 м. При такій обробці радіоактивність техніки знижується в 10—20 разів. Якщо ж додати у воду 0,15—0,3 % миючих засобів (СФ-2У, "Вихрь", "Новость" та ін.), ефективність дезактивації збільшується і забрудненість зменшується у 20—50 разів.

Внутрішні поверхні техніки (кабін, капотів, важкодоступні місця), інструмент, інвентар та інші невеликі за розміром предмети дезактивують обтиранням тампонами, щітками, змоченими водою, розчинниками або дезактивуючими розчинами. Забрудненість РР зменшується у 8—10 разів.

Змивання РР дезактивуючими розчинами з одночасною обробкою забруднених поверхонь щітками дезактивуючих приладів і компонентів — надійний, ефективний спосіб, який зменшує забрудненість у 50—80 разів.

Дезактивацію техніки починають з верхньої точки і поступово обмивають зверху вниз. Дуже замаслені й забруднені місця обов'язково протирають щітками або тампонами. Водяні й масляні радіатори, повітроочисні фільтри знімають і протирають розчинниками. Якщо ж не можна досягти необхідної повноти дезактивації, їх відправляють на обробку в мийних машинах ремонтних підприємств із застосуванням миючих засобів

"Темп", "МС", "Лабомид" та ін.

Окремі деталі та інструмент дезактивують у невеликих ваннах (піддонах) засобами дезактивації.

Для дезактивації техніки, засобів індивідуального захисту і предметів догляду за тваринами рекомендуються такі розчини: дезактивуючий розчин літній (ЛД) — 0,3 %-й водний розчин ОП-7 або ОП-10 і 0,7 %-й розчин гексаметафосфату натрію; дезактивуючий літній розчин (ДЛК) — той же розчин, але з добавкою 2 % соляної кислоти і 0,1 % інгібіторе корозії ПБ-5 (полімер буталаміну). Норма витрати розчинів ДЛ і ДЛК — 3—5 л/м²: дезактивуючий розчин зимовий кислий (ДЯК), до його складу входять ті самі компоненти, що і в розчин ДЛК, але замість гексаметафосфату натрію для зниження температури замерзання він містить хлористий кальцій і хлористий магній.

Пористі матеріали краще дезактивувати за допомогою пілососів.

Дезактивація одягу, взуття і індивідуальних засобів захисту, проводиться вибиванням і витрушуванням, миттям або протиранням (прогумованих і шкіряних виробів) водними розчинами миючих засобів або водою, а також прання з спеціальними режимами з використанням речовин для дезактивації.

Дезактивація бавовняного, вовняного одягу і взуття проводиться витрушуванням і вибиванням, а також чищенням щітками. Якщо цими способами ступінь забруднення одягу понизити до допустимих величин неможливо, то він підлягає дезактивації шляхом прання за відповідною технологією.

Дезактивацію території підприємств здійснюють глибоким переорюванням, засипанням і асфальтуванням (ступінь забрудненості знижується у 2 рази на кожних 13 см ґрунту); бетонуванням (ступінь забрудненості знижується у 2 рази на 9,5 см бетону); зрізуванням шару забрудненого ґрунту 3—5 см (повна дезактивація).

Дороги з твердим покриттям миють водою під тиском 300— 500 кПа

(3—5 атм) у розрахунку 3 л води на 1 м² поверхні.

Ґрунтові дороги переорюють або знімають верхній шар скрепером.

Для дезактивації сільськогосподарської продукції використовують такі способи: самознезаражування, зняття верхнього забрудненого шару, обмивання водою, технологічна переробка.

Для самознезаражування сільськогосподарську продукцію можна залишити і зберігати доти, доки радіоактивність цієї продукції не знизиться до допустимих норм у результаті природного розпаду радіоізоотопів.

Забруднення продукції рослинництва і тваринництва може бути поверхневим внаслідок прилипання радіоактивних частинок і структурним — при всмоктуванні радіонуклідів через поверхню листя і надходження її з ґрунту через кореневу систему.

Структурне забруднення продукції тваринництва відбувається при годівлі тварин кормами, що містять РР, а також при надходженні з водою і повітрям.

При вмісті РР у сільськогосподарській продукції понад допустимі норми проводять дезактивацію. Є три способи дезактивації: механічне видалення РР, технологічна переробка продукції і зниження вмісту РР у продовольстві і кормах шляхом розбавлення чистою продукцією.

Зерно, фрукти, овочі дезактивують промиванням водою. Із зерна, огірків, кавунів, яблук, слив, груш радіоактивний пил змивається добре. Погано піддаються дезактивації цим способом картопля, малина, суниця, полуниця. Очищення картоплі, качанів кукурудзи, гороху, люпину, бобів, сої знижує забрудненість РР у десятки разів.

Промивання нарізних овочів, фруктів, грибів 0,1 %-м розчином соляної кислоти з наступним промиванням водою знижує вміст цезію-137 на 98 %.

При поверхневому забрудненні радіоактивним пилом зерна, а також скирт сіна і соломи знімають верхній забруднений шар зерна на глибину 10—15 см, сіна і соломи — 20—30 см і складають окремо для зберігання, а решту після радіометричного контролю використовують як корм для худоби.

Коренеплоди (буряки, моркву, турнепс) і картоплю дезактивують 2—3-разовим промиванням у проточній воді, при цьому видаляється до 80 % радіоактивних речовин. З качанів капусти необхідно зняти верхні листки. Перед обмиванням картоплю і коренеплоди висипають на решето або нещільний щит над ямою, куди стікає вода. Яму потім засипають землею.

Шеретування проса, рису, соняшникового насіння, гречки, вівса, переробка зерна пшениці на високосортне борошно знижують вміст РР у десятки разів. При переробці зерна, картоплі, цукрових буряків, ягід, фруктів на спирт цезій і стронцій у кінцевому продукті відсутні. В десятки разів зменшується їхній вміст у крохмалі й цукрі. Такий результат одержують і при переробці олійного насіння на олію, особливо у процесі екстрагування.

У 2—3 рази зменшується вміст цезію-137 у засолених огірках, грибах, а також рибі.

При забрудненні короткоживучими радіоізопами йоду, молібдену, ніобію та ін. м'ясо можна заморозити і тримати в холодильниках до зменшення радіоактивності за рахунок природного розпаду РР. У разі такого забруднення можна м'ясо посолити і залишити на зберігання. На 50 % у м'язах і на 25 % у кістках зменшується вміст короткоживучих ізопадів, якщо м'ясо варити після кипіння не менше 10 хв, після чого воду злити, залити чистою та варити до готовності.

М'ясо, забруднене цезієм-137, можна обробити одним із таких способів. Вимочити в прісній воді, а потім залити розсолем на 3 місяці. Радіоактивність зменшується на 90 %. Вимочити м'ясний фарш 3 години у прісній воді, а потім використовувати для приготування ковбаси, вміст радіонуклідів зменшується на 70—80 %.

При забрудненні молока короткоживучими ізопами його необхідно переробляти на сухе молоко і сири, при зберіганні яких радіоактивність зменшується за рахунок природного розкладання.

При заводській переробці молока на вершки, масло, в сироватку від сумарної активності молока переходить у середньому 79—85 % РР.

При вмісті в маслі РР понад допустиму норму його змішують із чистим маслом і реалізують через торгівлю.

Сироватку з підвищеним вмістом РР використовують для приготування сухого замітника цільного молока (ЗЦМ), який згодовують худобі.

Воду можна дезактивувати відстоюванням, фільтруванням і перегонкою. Невелику кількість води можна дезактивувати відстоюванням. Для цього в місткість із водою необхідно додати природних іонів — глину, чорнозем і ретельно перемішати. Дати відстоятися і злити верхній чистий шар води, забрудненість якого РР на 50—70 % менша. Відстоювання можна поєднати з фільтруванням. Пропускання води крізь шар піску, тирси, подрібненого вугілля, бо навіть шар землі очищає її від РР на 85—90 %. Найкращий спосіб дезактивації води — перегонка, але це можливо при невеликій кількості води.

Після дезактивації вода підлягає дезометричному контролю.

Дегазація — це заходи, спрямовані на знезараження або видалення отруйних і сильнодіючих ядучих речовин. Дегазацію можна проводити хімічним, фізичним і механічним способом.

При хімічному способі застосовують нейтралізуючі або хімічні речовини, що руйнують ОР і СДЯР.

Фізичні способи дегазації передбачають випаровування, поглинання ОР і СДЯР різними матеріалами, руйнування вогнем і видалення небезпечних хімічних речовин рідинами, які їх розчиняють.

Механічні способи дегазації застосовують для зняття зараженого шару ґрунту, снігу, зерна на глибину проникнення ОР і СДЯР та ізоляції його.

Дороги і території виробничих об'єктів, заражені ОР і СДЯР дегазують одним із таких способів: заражену ділянку засипають хлорним вапном із розрахунку 1 кг на 1 м² поверхні з наступним переорюванням цієї площі на глибину проникнення небезпечної хімічної речовини і потім знов засипають хлорним вапном. При слабкому зараженні ділянки, її посипають хлорним вапном і потім через 20—30 хв поливають водою; знімають верхній шар землі

10 см, снігу 20—25 см (за умови, що хімічна речовина не проникла глибше); засипають землею, піском, закидають гноєм (шаром не менше 10 см), роблять настил із дощок, фанерних листів, гілля, соломи.

Приміщення дегазують 10—20 % -м хлорно-вапняним (або 5 % -м сірчанонатрієвим) розчином. Замість хлорного вапна можна застосувати гіпохлорит кальцію або негашеного вапна. Якщо температура повітря нижча 5 °С, застосовують хлористий сульфурил або гарячий 5—10 %-й розчин їдкового натру. Втрати дегазуючого розчину 0,5—0,7 л/м².

Металеві предмети (відра, лопати та ін.) дегазують обпалюванням, кип'ятінням протягом 2 год у воді (з добавкою 1—2 % лугу) або протиранням ганчір'ям, змоченим у гасі (бензині).

Мішки, брезенти дегазують кип'ятінням (протягом 1—2 год) з наступним промиванням чистою водою.

Дегазація одягу, взуття та інших індивідуальних засобів захисту здійснюється кип'ятінням, пароаміачною сумішшю, пранням і провітрюванням.

Дегазація кип'ятінням проводиться в бучильних установках БУ-4М або інших місткостях для верхнього одягу і головних уборів зі штучного хутра (дегазацію хутряних і шкіряних виробів цим способом проводити неможливо).

Дегазація способом прання полягає в розкладі та змиванні отруйних речовин водними розчинами миючих засобів при високих температурах. Дегазації пранням підлягають вироби з бавовняних тканин, а також ватяний одяг. Як миючий розчин використовується 0,3 %-й розчин порошку СФ-2У (СФ-2).

Дегазація провітрюванням (природна дегазація) може бути використана для всіх видів одягу, взуття й індивідуальних засобів захисту. Вона проводиться, якщо є час і немає інших засобів дегазації. Дегазація провітрюванням найбільш швидко проходить у літніх умовах при температурі 18—25 °С.

Речі та предмети, які не можна кип'ятити, необхідно провітрювати 6 діб

влітку і 45 діб взимку або дегазувати в спеціальних камерах (приміщеннях) при температурі 70—80 °С.

Зерно, уражене парами і туманами ОР і СДЯР, дегазують провітрюванням на відкритому повітрі. Самодегазація в теплий період може настати: при ураженні зарином і табуном — через 2—4 доби, іпритом через 5—10 діб, зоманом через 20—45 діб.

Фураж (зерно, сіно, солом), заражений ОР типу зарин, зоман, Ві-Ікс, обробляють розчином 4 %-го гідроокису натрію і 2 %-го пергідролу при витратах 6—10 л/м². Фураж залишають після обробки на 1—2 доби і потім обстежують на залишкову зараженість.

Зерно, січку соломи і сіна, коренеплоди, заражені фосфороорганічними речовинами й ОР типу іприт, завантажують у кормозапарник і пропарюють 3 год. Пара, яка відводиться з кормозапарника, має проходити через дегазуючий розчин.

Основний спосіб дегазації фуражу, зараженого крапельно-рідинною ОР, — зняття верхнього зараженого шару товщиною 10—15 см із зернофуражу і 20—25 см сіна і соломи.

Воду дегазують фільтруванням і хлоруванням. Із колодязя воду відливають або відкачують, а дно і стінки шахти обробляють хлорно-вапняною кашкою, із дна знімають шар 10 см. Після наповнення водою, її знову відливають і після нового наповнення перевіряють на наявність ОР.

Засоби захисту дегазують пароаміачним способом або гарячим повітрям.

При ураженні майна ФОР дегазують вимочуванням у 2 %-му розчині соди, аміаку або іншого лугу при температурі 15 °С протягом 1,5 год. Шкіряні та інші вироби дегазують гарячим повітрям при температурі 70 °С протягом 6 год.

Дезінфекція — це заходи, спрямовані на знищення збудників інфекційних хвороб та їх токсинів. Дезінфекцію проводять хімічним і фізичним способом, які застосовують як окремо, так і в комбінації.

Дезінфекція може бути газова, волога і термічна. Проводять її після встановлення санепідстанцією, ветлабораторією зараженості людей, тварин, кормів, території, продуктів харчування, води.

Дезінфекція одягу, взуття та інших індивідуальних засобів захисту здійснюється обробкою пароповітряною або пароформаліновою сумішшю, кип'ятінням, замочуванням у розчинах для дезінфекції (або протиранням ними), пранням.

Обробка пароповітряною сумішшю використовується для дезінфекції всіх видів одягу та індивідуальних засобів захисту, крім хутряних і валяних виробів, які підлягають обробці пароформаліновою сумішшю, відповідно до інструкцій експлуатації дезінфекційно-душових автомобілів (ДДА), дезінфекційно-душових автомобілів-при-чепів (ДДП).

Обробка кип'ятінням використовується для дезінфекції виробів з бавовняних тканин та індивідуальних засобів захисту, виготовлених з гуми і прогумованих тканин. Дезінфекція кип'ятінням проводиться в бучильній установці БУ-4М, дезінфекційних бучильни-ках і в різних підручних засобах (баках, котлах, бочках тощо).

Дезінфекція замочуванням у розчинах для дезінфекції застосовується для виробів з бавовняних тканин та індивідуальних засобів захисту. Дезінфекція одягу та індивідуальних засобів захисту при зараженні вегетативними формами мікробів проводиться замочуванням у 5 % -му водному розчині фенолу, лізолу або нафталізолу (при зараженні вірусом натуральної віспи концентрація збільшується до 8%), 3 %-му розчині монохлораміну або в 2,5 %-му розчині формальдегіду протягом 1 год. При зараженні споровими формами мікробів замочування проводиться в 10 % -му розчині формальдегіду протягом 2 год.

Дезінфекція одягу і індивідуальних засобів захисту методом прання проводиться за спеціальними технологіями.

Для дегазації і дезінфекції бавовняного одягу, індивідуальних засобів захисту і брезентів, а також предметів домашнього побуту призначена

бучильна установка БУ-4М.

Приміщення і території сильно зрошують дезінфікуючим розчином, а потім проводять механічне очищення. Обробку повторюють тричі з інтервалом 1 год. Для дезінфекції застосовують розчин хлорного вапна з вмістом 5 % -го активного хлору, 10 % -й розчин їдкого натру, 4 %-й розчин формальдегіду, 5 %-й розчин однохлористого йоду та інші препарати.

Для газової дезінфекції приміщень застосовують бромистий метил, картос (суміш окису етилену з вуглекислим газом у співвідношенні 1: 9) для знищення спорових і вегетативних форм мікробів, а також хлорпікрин — для знищення вегетативних форм. Перед дезінфекцією приміщення герметизують. Бромистий метил застосовують прямо з балонів, а хлорпікрин з апарата 2-АГ.

Скирти сіна і соломи обробляють 2 рази з проміжком часу 24 год 4 %-м розчином формальдегіду з розрахунку 2 л розчину на 2 м² поверхні скирти. Розчин подається під тиском не менше 500 кПа (5 атм) і розпилюється до дрібнодисперсного стану.

Зерно, комбікорм, заражені спорами мікроби, занурюють у 4 % -й розчин формальдегіду на 24 год і на 2 год у 2 % -й розчин хлораміну в місткостях, які щільно закриваються. Після цього зерно і комбікорм висушують до повного знищення запаху.

Продовольче і кормове зерно, насипане на токах або в коморах, можна обробляти 3—5 % -м водним розчином перекису водню з розрахунку 2 л/м².

Зерно, крупи, концентровані корми, заражені неспоровими збудниками, можна знезаражувати пропарюванням, кип'ятінням або прожарюванням. Використовують барабанні сушарки з температурою 250 °С і тривалістю обробки 10 хв.

Зерно, комбікорми, що зберігаються у звичайних мішках з тканини, можна обробляти, не розв'язуючи мішки, протягом 8 год 4 %-м розчином формальдегіду або 3 год 6 % -м розчином перекису водню чи 2 год 2 % -м розчином хлораміну.

М'ясо, поверхня якого заражена спорами сибірки, витримують 7 діб у

спороцидному розсолі — 15 %-й розчин кухонної солі, 1 %-й — перекису водню і 1 %-й — оцтової кислоти. М'ясо, заражене поверхнево бактеріальними аерозолями, необхідно варити 2 год, жири, вершкове масло необхідно перетопити, молоко прокип'ятити. Хлібобулочні вироби, крупи, вермішелі прожарити в духовці при температурі 120 °С протягом 30 хв.

Воду знезаражують розчином хлорного вапна, на кожний м³ води додають 0,6 л цього розчину, а при споровій мікрофлорі — 4 л, після цього воду перемішують і залишають на 10—12 год, а потім відливають чи відкачують.

Найбільш простий і доступний спосіб дезінфекції води — кип'ятіння. При зараженні споровидними формами мікробів воду кип'ятять не менше 2 год.

Використання знезаражених продуктів, кормів і води можуть дозволити санітарно-епідеміологічна і служба ветеринарної медицини.

4.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано освітлення виробничого приміщення та організацію робіт щодо знезаражування місцевості, споруд, технологічного обладнання, транспорту, одягу і засобів індивідуального захисту на об'єкті.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано фізичні основи радіолокації, типи радіолокаційних систем, їх класифікацію, принцип оцінювання відстаней до об'єктів, поняття ехо-сигналу чи зондуючого сигналу, основні способи отримання радіолокаційної інформації та етапи її опрацювання. При цьому оцінено негативні впливи різного типу завад на якість радіолокаційної інформації.

Проаналізовано основні рівняння радіолокації та форми представлення інформації. Розглянуто особливості проходження сигналу в каналах радіолокації з точки зору впливу на нього завад. Зокрема розглянуто Гаусівський канал, у якому завада має вигляд адитивного нормального білого шуму, а спотворення корисного сигналу несуттєві, оскільки можуть бути скомпенсовані, Гаусівський канал із невідомою фазою сигналу та канал з амплітудними завмираннями.

Також розглянуто задачу виявлення сигналів за присутності шуму, зокрема проаналізовано метод узгодженої фільтрації на основі корелятора.

Комбіновані завади є комбінації різних видів активних і пасивних завад. Застосування для боротьби з комбінованими завадами лише одних алгоритмів захисту від активних завад не дасть позитивного ефекту, оскільки пасивна завада залишається не подавленою, і навпаки, застосування лише алгоритмів захисту від пасивних завад не виключить вплив активної завади. Тому необхідно досліджувати та розробляти алгоритми, які ефективно б подавляли та пасивну завади.

Проаналізовано різні типи шумових завад, зокрема модульовані за амплітудою, фазою чи частотою. Також проаналізовано алгоритми та пристрої захисту від комбінованих завад, зокрема метод захисту одночасно від усіх видів завад, що виконується в одному пристрої без поділу на послідовну або паралельну структуру, захист від комбінованих завад шляхом поділу обробки у просторовій та часовій областях з подальшим накопиченням сигналів у

оптимальному фільтрі на фоні власних шумів та здійснення подавлення активної завади на фоні пасивної за рахунок відмінностей спектрів сигналів, що приймаються, з подальшим подавленням пасивної завади. Детально проаналізовано другий та третій способи а також схеми відповідних фільтрів та алгоритми їх роботи для випадку подавлення комбінованих завад. Проаналізовано схему кореляційного автокомпенсатора завад. Запропоновано структуру пристрою подавлення активної і пасивної завади та пристрою захисту від комбінованих завад.

Проведено імітаційне моделювання вимірювальних радіолокаційних систем за умов впливу комбінованих завад. Розроблено блок-схему алгоритму імітаційного моделювання роботи радіолокаційної системи. Розроблено блок-схему роботи алгоритму подавлення комбінованих завад для адаптивної радіолокаційної системи.

Встановлено, що крім алгоритмів захисту від завад в радіолокаційній системі необхідно застосовувати алгоритми оцінювання завадової обстановки для визначення виду взаємодіючих завад.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Zavolodko, D. Pavlova and G. Maistrenko. Fusion the Coordinate Data of Airborne Objects in the Networks of Surveillance Radar Observation Systems. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) DataCentric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol. 48. Springer, Cham. 2021. pp. 731-746. doi: 10.1007/978-3-030-43070-2_31.
2. I. Svyd, I. Obod and O. Maltsev. Interference Immunity Assessment Identification Friend or Foe Systems. In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. 2021. pp. 287-306. doi: 10.1007/978-3-030-71892-3_12.
3. V. Semenets, I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev and M. Tkach. Quality Assessment of Measuring the Coordinates of Airborne Objects with a Secondary Surveillance Radar. In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. 2021. pp. 105-125. doi: 10.1007/978-3-030-71892-3_5.
4. Безрук В.М., Свид І.В., Корсун І.В. Нейронні технології в телекомунікаціях та системах управління: навч. посібник. Харків: СМІТ, 2008. 230 с.
5. Обод І.І., Свид І.В., Мальцев О.С. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. 255 с.
6. Толюпа С.В., Дружинін В. А., Наконечний В.С., Цьопа Н.В., Батрак Є.О. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією. К.: Логос, 2014, 230 с.

7. Abdul-Hussein M. K., Strelnytskyi O., Obod I., Svyd I., Alrikabi H. Evaluation of the Interference's Impact of Cooperative Surveillance Systems Signals Processing for Healthcare. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, vol. 18, no. 03, pp. 43-59, 2022. doi: 10.3991/ijoe.v18i03.28015.
8. Bezruk V.M., Svyd I.V., Korsun I.V. Multicriteria optimization of management of the packet switching network. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2008. № 67(1). pp. 23-32. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v67.i1.30.
9. Баришев І.В., Обод І.І., Лікаренко С.І. Синтез оптимального об'єкту виявлення сигналів в запитних радіотехнічних системах. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2005. № 1(1). С. 50-52
10. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.
11. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної бо та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.
12. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Паньків І. М., Яворська Є.Б. Структура системи відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Хмельницький: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету". – 2019. - №2(271) – с. 183-186.
13. Хвостівська Л.В., Осухівська Г.М., Хвостівський М.О., Шадріна Г.М., Дедів, І. Ю. Розвиток методів та алгоритмів обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка,

Радіоапаратобудування. /Категорія В/ 2019. Вип. 79. С. 78-84. doi: 10.20535/RADAR.2019.79.78-84.

14. Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є. і Дедів І.Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64. doi: 10.20535/RADAR.2020.81.56-64.

15. Дедів І.Ю. Структурний синтез вібротерапевтичної апаратури / О.В. Гевко, В.Г. Дозорський, Л.Є. Дедів, І.Ю. Дедів, О.Ф. Дозорська // Перспективні технології та прилади, № 20, Луцьк, 2022. – с. 23-31.

16. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. L. Khvostivska, M. Khvostivskyu, V. Dunets, I. Dediv. CEUR Workshop Proceedings. 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2022 Ternopil 22- 24 November 2022. Том 3309, с. 314-318.

17. Дедів І.Ю., Сверстюк А.С., Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Хвостівський М.О. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 126 с. ISBN 978-617-574-219-8.

18. Дедів Л.Є., Сверстюк А.С., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О., Дозорський В.Г., Яворська Є.Б. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 120 с. ISBN 978-617-574-218-1.

19. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. (2023) Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamu [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection

of radio signals in electronic communication networks with noises]. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 111, no 3, pp. 48-57 [in Ukrainian].

20. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine.

21. Liliya Khvostivska, Iryna Dediv, Mykola Khvostivskyy, Leonid Dediv. Computer Tool for generating of Test Radio Signals for verification of the Radio Computer Systems Software. ADVANCED APPLIED ENERGY and INFORMATION TECHNOLOGIES 2021. Proceedings of the International Conference (Ternopil, 15-17 of December 2021.) / Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil Ivan Puluj National Technical Universtiy [and other.]. – Ternopil : TNTU, Zhytomyr : «Publishing house “Book-Druk”» LLC, 2021. – P.200-205.

ДОДАТКИ

УДК 621.396.96

І.М. Недошитко, М.В. Багрій, Я.В. Мельник, І.Ю. Дедів, к.т.н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ЗАХИСТ ВІД КОМБІНОВАНИХ ЗАВАД ДЛЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

I.M. Nedoshitko, M.V. Bahrii, Ya.V. Melnyk, I.Y. Dediv, Ph.D., Assoc. Prof.

PROTECTION AGAINST COMBINED INTERFERENCE FOR RADIO LOCATION SYSTEMS

Радіолокація являє собою галузь радіотехніки, що забезпечує отримання відомостей про об'єкти шляхом прийому та аналізу енергетичних, просторово-часових, поляризаційних та частотних параметрів електромагнітних коливань (радіохвиль). Сукупність одержуваних відомостей про об'єкти називають радіолокаційною інформацією. Для реалізації методів радіолокації створюються спеціальні радіотехнічні засоби, що називаються радіолокаційними станціями (РЛС). Сукупність кількох різнофункціональних РЛС (наприклад, далекоміра та радіовисотоміра) називають радіолокаційним комплексом.

Сучасний етап розвитку радіолокаційних систем характеризується наявністю широкого класу зовнішніх активних та пасивних завад, а також їх різноманітних комбінацій. Захист РЛС різного призначення від радіозавад є однією з найважливіших проблем, що виникають як при розробці, так і при використанні останніх. Ця проблема зумовлена насамперед збільшенням кількості радіоелектронної апаратури та різноманітністю виконуваних нею завдань, внаслідок чого зріс рівень взаємних завад. Завади створюються також промисловими підприємствами, електропобутовими приладами, а також методами і засобами радіопротидії, що використовують різні типи навмисних радіозавад, що знижують ефективність виділення корисних сигналів. Завадове становище, у якому доводиться працювати РЛС, характеризується наявністю комбіновано взаємодіючих різноманітних видів завад штучного і природного походження.

На сьогодні було розроблено та впроваджено у використання ефективні алгоритми та пристрої (оптимальні фільтри з постійними параметрами) подавлення завад із відомою апріорною інформацією. Для боротьби з РЛС використовують такі пристрої та алгоритми в засобах радіопротидії, що ґрунтуються на застосуванні комбінованих завад, параметри яких апріорі не визначені. Комбіновані завади є комбінаціями різних видів активних і пасивних завад і корисного сигналу, які поділяються на адитивні (частіше називають шумом, являє собою суму корисного сигналу, активної та пасивної завади), мультиплікативні (дія яких проявляється у нерегулярній зміні рівня сигналу), напівактивні (створюються опроміненням активними завадами пасивних відбиваючих структур).

Для боротьби з комбінованими радіозавадами розроблені та розробляються ефективні засоби їх фільтрації (подавлення). Фільтри, що використовуються для вирішення завдань подавлення завад можуть мати постійні параметри або бути адаптивними. Синтез фільтрів з постійними параметрами обов'язково ґрунтується на апріорних відомостях про сигнал і завади. Адаптивні фільтри мають властивість автоматично перебудовувати свої параметри, і при їх синтезі майже не потрібно апріорних відомостей про властивості сигналу і завади.

В дослідженнях проводиться розробка способу та алгоритму адаптивної фільтрації сигналів РЛС для подавлення комбінованих завад.