

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,  
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

**В.о Завідувач кафедри**

**Віктор ГНАТЮК**

**“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

**Тема: «Технології стійкого виявлення цілей бортовим радіолокатором»**

**Виконавець: \_\_\_\_\_ Захар ГОНЧАР**  
(підпис)

**Керівник: \_\_\_\_\_ Ігор ОМЕЛЬЧУК**  
(підпис)

**Консультант розділу «Охорона праці» \_\_\_\_\_ Батир ХАЛМУРАДОВ**  
(підпис)

**Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»**  
\_\_\_\_\_ Андріан ЯВНЮК  
(підпис)

**Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Денис БАХТІЯРОВ**  
(підпис)

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій .

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем .

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка» .

Освітньо-професійна програма «Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о Завідувач кафедри

Віктор ГНАТЮК

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Гончара Захара Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Технології стійкого виявлення цілей бортовим радіолокатором»

затверджена наказом ректора від «28» вересня 2023 р. №1965/ст.

2. Термін виконання роботи: з 02.10.2023 р. по 31.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: стійкого виявлювача, із обґрунтуванням та вибором мікропроцесорів обробки сигналів середньої обчислювальної потужності 38051 F007 фірми Sygnal .

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз особливих умов роботи бортових радіолокаторів, сучасні технології стійкого виявлення цілей бортовим радіолокатором на, фоні організованих завад, розробка стійкого виявлювача корисних сигналів, розробка принципової схеми стійкого виявлювача корисних сигналів, охорона праці, охорона навколишнього середовища .

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: функціональна схема виявлювача-накопичувача, часова діаграма та алгоритм обробки сигналів у виявлюванні, принципова схема виявлювача-накопичувача .

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів дипломної роботи	02.10.2023-04.10.2023	Виконано
2	Вступ	05.10.2023-08.10.2023	Виконано
3	Аналіз особливих умов роботи бортових радіолокаторів	09.10.2023-22.10.2023	Виконано
4	Сучасні технології стійкого виявлення цілей бортовим радіолокатором на, фоні організованих завад	23.10.2023-05.11.2023	Виконано
5	Розробка стійкого виявлювача корисних сигналів	06.11.2023-20.11.2023	Виконано
	Розробка принципової схеми стійкого виявлювача корисних сигналів	21.11.2023-30.11.2023	Виконано
6	Охорона праці	01.12.2023-06.12.2023	Виконано
7	Охорона навколишнього середовища	07.12.2023-17.12.2023	Виконано
8	Усунення недоліків та захист дипломної роботи	18.12.2023-31.12.2023	Виконано

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.м.н., проф. Батир ХАЛМУРАДОВ		
Охорона навколишнього середовища	к.б.н., доц. Андріан ЯВНЮК		

8. Дата видачі завдання: “28” серпня 2023 р.

Керівник дипломної роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Захар ГОНЧАР  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Ігор ОМЕЛЬЧУК  
(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота «Технології стійкого виявлення цілей бортовим радіолокатором» містить 122 сторінок, 36 рисунків, 13 таблиці, 20 використаних джерел.

РАДІОЛОКАТОР, РАДІОЕЛЕКТРОННА БОРОТЬБА, ЗАВАДИ, АЛГОРИТМ, ВИЯВЛЮВАЧ, МІКРОПРОЦЕСОР

Об'єкт дослідження – технології виявлення цілей бортовим радіолокатором.

Предмет дослідження – засоби стійкого виявлення цілей на фоні навмисних завад.

Мета дипломної роботи – забезпечити стійке виявлення корисних радіолокаційних сигналів в умовах дії навмисно створених завад в процесі радіоелектронної боротьби на літальному апараті..

Метод дослідження – аналіз наукової літератури, порівняльний метод, структурний аналіз, ескізне проектування.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати в навчальному процесі.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	8
РОЗДІЛ 1 .....	12
АНАЛІЗ ОСОБЛИВИХ УМОВ РОБОТИ БОРТОВИХ РАДІОЛОКАТОРІВ .....	12
1.1. Принцип дії та загальні вимоги.....	12
1.2. Технологічні аспекти стійкої обробки корисної радіолокаційної інформації .	20
1.3. Парадигма сучасної радіоелектронної боротьби.....	22
1.4. Аналіз навмисних радіолокаційних завад у процесах радіоелектронної боротьби.....	30
Висновок за розділом 1 .....	37
РОЗДІЛ 2 .....	38
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТІЙКОГО ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛЕЙ БОРТОВИМ РАДІОЛОКАТОРОМ НА ФОНІ ОРГАНІЗОВАНИХ ЗАВАД.....	38
2.1. Основні напрямки .....	38
2.2. Методи захисту від завад та способи їхньої реалізації.....	39
2.3. Метод бінарного накопичування сигналів .....	50
2.4. Технічна реалізація стійкого виявлення сигналів на основі сучасних обчислювальних мікросхем .....	53
Висновки до розділу 2 .....	55
РОЗДІЛ 3 .....	58
РОЗРОБКА СТІЙКОГО ВИЯВЛЮВАЧА КОРИСНИХ СИГНАЛІВ .....	58
3.1. Розробка вимог до стійкого виявлювача сигналів .....	58
3.2. Структурна схема виявлювача сигналів.....	61
Далі послідовно потрібно виконати операції в цифровому накопичувачі-виявлювачі цілей, а саме: .....	66
3.3. Розробка функціональної схеми цифрового накопичувача-виявлювача цілей	68
Висновки за розділом 3 .....	80
РОЗДІЛ 4 .....	81

РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СТІЙКОГО ВИЯВЛЮВАЧА КОРИСНИХ СИГНАЛІВ.....	81
4.1. Обґрунтування й вибір мікропроцесора обробки сигналів.....	81
4.2. Розробка принципової схеми стійкого виявлювача сигналів.....	88
Висновок за розділом 4 .....	97
РОЗДІЛ 5 .....	98
ОХОРОНА ПРАЦІ .....	98
5.1. Організація робочого місця .....	98
5.2. Освітленість робочої зони.....	99
5.3. Підвищена температура повітря робочої зони .....	101
5.5. Забезпечення пожежної безпеки .....	103
5.6. Розрахунок загального освітлення.....	105
5.7. Інструкція з охорони праці інженера-конструктора .....	106
Висновки за розділом 5 .....	107
РОЗДІЛ 6 .....	108
ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	108
6.1. Принцип роботи пристрою і його вплив на навколишнє середовище.....	108
6.2. Вплив електромагнітного випромінювання на навколишнє середовище.....	109
6.3. Методи і способи захисту навколишнього середовища від негативного впливу електромагнітних випромінювань .....	112
6.4. Утилізація й методи зменшення шкідливого впливу на довкілля при виготовленні та роботі радіолокаційних станцій .....	116
Висновки за розділом 6 .....	117
ВИСНОВКИ.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	121

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПП – автомат постановки перешкод  
АРП – автоматичне регулювання підсилення  
АС – антенна система  
АЦП – аналого-цифрове перетворення  
БРЛС – бортова РЛС  
ВЧ сигнал – високочастотний сигнал;  
ГСН – головка самонаведення (ракети)  
ДН – діаграма направленості  
ЕМ – електромагнітні  
ЗІ – запускаючий (зондуєчий) імпульс  
КРЕП – контр-радіоелектронна протидія  
МНРЛС – метеонавігаційна РЛС  
МП – мікропроцесор;  
НВЧ – надвисокочастотний  
НЧ – низькочастотний  
ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій  
ППО – протиповітряна оборона  
ПС – повітряне судно;  
РЕ – радіоелектронна  
РЕБ – радіоелектронна боротьба  
РЕЗ – радіоелектронний засіб  
РЕМ – радіоелектронне маскування  
РЕП – радіоелектронна протидія  
РЕО – радіоелектронне обладнання  
РЕС – радіоелектронна система;  
РЛС – радіолокаційна станція



САП ІЗ – система адаптивної протидії інформаційним засобам

СІУ – система індикації і управління

СІХТ – стабілізація ймовірності хибної тривоги

СПО – станція попередження про опромінення

ХІЗ – хаотичні імпульсні завади

ЦАП – цифро-аналогове перетворення

ЦОС – цифрова обробка сигналів

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Бортові радіолокаційні системи (РЛС) становлять важливу і, мабуть, найскладнішу частину сучасної авіоніки. У багатьох випадках вони є єдиним джерелом поточної інформації про метеорологічні явища та об'єкти, небезпечні для польоту повітряного судна (ПС). Висока інформативність і надійність, роблять бортові РЛС незамінними для забезпечення безпеки полетів (БП).

Особливе значення в лобій РЛС відводиться вимогам захищеності від руйнівного впливу різного виду завад, для чого застосовуються сучасні технології стійкого виявлення цілей. Цей фактор визначає актуальність теми даної кваліфікаційної роботи.

Особливо гостро стоїть питання забезпечення стійкого виявлення цілей в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ) під час військових дій, коли супротивник створює різноманітні пасивні та активні завади. У даній роботі описано походження типових навмисних завад, їх вплив на РЛС, а також можливі методи боротьби з ними. Треба зазначити, що у деяких випадках вплив на ефективність виявлення цілей радіолокаторами на фоні звичайних та навмисних завад можна вважати схожими. Але умови РЕБ, зазвичай, є такими, що навмисні завади створюються суттєво нестабільними у часі та просторі. І у таких умовах необхідно забезпечувати стійкість виявлення цілей бортовим радіолокатором.

Особливо важливим є захист від активних навмисних завад, джерелом яких є потужні радіотехнічні засоби радіоелектронного придушення (РЕП) РЛС. Складність боротьби з ними полягає у тому, що їхні параметри, зазвичай, достатньо близькі до параметрів корисних сигналів (відбитих від цілей). Тому для їх вилучення необхідно застосовувати одночасно комплекс методів селекції із адаптивним поточним налаштуванням режимів роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Розробка методу виконана в рамках кваліфікаційної роботи студента-магістра.

**Мета і завдання дослідження.** Забезпечити стійке виявлення корисних радіолокаційних сигналів в умовах дії навмисно створених завад в процесі радіоелектронної боротьби на літальному апараті.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. провести аналіз особливих умов роботи бортових радіолокаторів,
2. розробити стійкий виявлювач корисних сигналів,
3. розробити принципову схему стійкого виявлювача корисних сигналів.

**Об'єктом дослідження** – технології виявлення цілей бортовим радіолокатором.

**Предметом дослідження** – засоби стійкого виявлення цілей на фоні навмисних завад.

**Методи досліджень** – аналіз наукової літератури, порівняльний метод, структурний аналіз, ескізне проектування.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати кваліфікаційної роботи можна використати в навчальному процесі при вивченні радіотехнічних дисциплін. Також їх можна застосовувати у ескізному проектуванні пристроїв обробки радіолокаційних сигналів.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ОСОБЛИВИХ УМОВ РОБОТИ БОРТОВИХ РАДІОЛОКАТОРІВ

#### 1.1. Принцип дії та загальні вимоги до бортових радіолокаторів

##### 1.1.1. Вимоги до бортових радіолокаторів.

Спочатку належить розглянути принцип дії бортового радіолокатора як специфічного вимірювального інструмента, для якого, саме, призначені технології стійкого виявлення цілей [1, 2]. У сучасній системі пілотування бортові РЛС можна представити як датчики метеорологічної інформації, але як правило, вони виконують також ряд додаткових функцій, наприклад, вони можуть використовуватися в якості засібів попередження зіткнень повітряного судна (ПС) з перешкодами та виявлення наявності зустрічних повітряних апаратів. Зазначимо, що в режимі огляду земної поверхні вони представляють автономний засіб навігаційного огляду поверхні.

Кращі зразки бортових радіолокаторів закордонних фірм [1] спроможні виявляти зони підвищеної зони небезпечної турбулентності та інтенсивності опадів, зони небезпечного зсуву вітру на глісаді під час зльоту чи посадки ПС. В комплексі з бортовими системами типу «штормоскоп» вони можуть виявляти та індукувати зони підвищеної грозової діяльності.

Відмітимо, що найважливішим напрямом підвищення безпеки польотів літаків зараз є значне зниження ймовірності потрапляння ПС в зону небезпечних метеоявищ (НМЯ). Зараз для забезпечення безпеки польотів екіпажу потрібно мати своєчасну надійну інформація щодо розташування грозових хмар та інших НМЯ. Із зростанням інтенсивності польотів збільшується значення та економічна доцільність засобів отримання оперативної інформації для пілотування літаків під час складних метеорологічних умовах. Тоді кількість скасованих чи затриманих рейсів через метеорологічні умови зростає набагато швидше, ніж інтенсивність повітряного руху [1].

Розглянемо класи та функції МНРЛС. Залежно від наявності встановлення на ПС та їх призначення, традиційно розрізняють 4-ри класи МНРЛС: клас 1 застосовують для надзвукових, дальніх чи середніх магістральних ПС; клас 2 використовують для ближніх магістральних літаків або ж важких ПС місцевих повітряних ліній; клас 3 застосовують для легких літаків або ж вертольотів; а клас 4 використовують виключно для вертольотів.

Мінімальний набір функцій МНРЛС, який є характерним для сучасних радіолокаторів 2-го покоління (зокрема, «Гроза-М»), представлено у табл. 1.1 де відповідно позначками (+) чи (-), що призначені для індикації обов'язковості та необов'язковості певної функції, а вже функції, які позначено зірочкою, виключно встановлюються відповідно до вимог замовника.

Асоціація лінійних пілотів США повідомила, що деякі пілоти помилково вважають, ніби РЛС наземної служби контролю повітряного руху (КПР) можуть краще виявити різні метеоутворення, порівняно з бортовим обладнання [1]. Але в дійсності, всю відповідальність за недопущення входження літака в такі зони несуть виключно пілоти; водночас особливо небезпечними явищами, спричиненими конвективними процесами в атмосфері, є інтенсивні опади, сильні зсуви вітру, турбулентність або ж блискавки.

Зазначимо, що за кількістю вимірюваних некоординатних параметрів цілі (або ж параметрів сигналів) зручним є виділення щонайменше 2-ох класів бортових РЛС, а саме однопараметричних та багатопараметричних. У кожному такому конкретному випадку є можливість визначення певної кількості вимірюваних параметрів, зокрема, виділення двопараметричних, трипараметричних систем та інших. Зокрема, для МНРЛС у режимі «метео» під час визначення небезпеки метеооб'єкту за величиною радіолокаційної відбиваності, як правило, оцінюється виключно потужність відбитого сигналу.

Відомо [1, 2], що у режимі «знос» для оцінювання єдиного параметра, або інакше кута зносу, оцінюється вся ширина спектру доплерівських частот. МНРЛС у таких режимах є, зазвичай, однопараметричними системами.

## Мінімальний набір функцій МНРЛС

№ з/п	Найменування функції	Класи і обов'язкові			
		1	2	3	4
1	Виявлення гідрометеоутворень, оцінювання ступеня небезпеки окремих їх ділянок	+	+	+	+
2	Навігаційний огляд земної поверхні з формуванням рівноконтрастного зображення об'єктів (діаграми напрямленості (ДН) типу совес <sup>2</sup> )	+		-	+
3	Навігаційний огляд земної поверхні з використанням симетричної ДН	-	-	+	-
4	Вимірювання кута зносу ПС	-	-	+	+
5	Відтворення на індикаторі радіолокатора знаків, символів, трас на основі інформації, що надходить від інших бортових радіотехнічних систем навігації	*	*	-	-
6	Виявлення зон небезпечної турбулентності в хмарах і опадах	*	*	*	*
7	Виявлення зон зсуву вітру	*	*	*	*

В однопараметричних системах єдиним оцінюваним параметром є, зазвичай, також деякі вторинні параметри. Дуже часто таким є усереднена за часом і за декількома роздільними об'ємами, або ж середня потужність відбитого сигналу, як у некогерентних РЛС, зокрема, у радіолокаторах типу МРЛС-85 та у переважній більшості радіолокаторів типу «Буран». Багатопараметричну систему можна також побудувати і на базі некогерентного радіолокатора, але зазначимо, що набагато більше можливостей для її побудови є у випадку використання когерентно-імпульсних РЛС, а особливо так званих поляризаційних радіолокаторів [1].

Як правило до багатопараметричних систем відносять поляризаційні радіолокатори, які оцінюють, зокрема, потужність відбитого сигналу при різних комбінаціях поляризації у процесах передавання чи приймання. Багатопараметричною також є, зазвичай, двохвильова РЛС і МНРЛС виявлення

небезпечної турбулентності з урахуванням одночасно доплерівських параметрів і параметрів її потужності.

Зараз розвиток МНРЛС характеризується значним нарощуванням виконуваних функцій. Велика частина фірм розширює функціональні можливості МНРЛС завдяки збільшенню обсягів метеоінформації, як і підвищенню її якості. Найкращі зразки МНРЛС можуть визначати зони небезпечної турбулентності та підвищеної інтенсивності опадів, зони небезпечного зсуву вітру під час зльоту та приземлення ПС [1, 2].

Додатковим призначенням МНРЛС є, зазвичай, забезпечення пілотів оглядовою інформацією, яку отримують на підставі радіолокаційного картографування земної поверхні. Навігаційні функції МНРЛС як автономного приладу і зараз є важливими, незважаючи на факт, що завдання навігації в сьогоденних аеронавігаційних системах цивільної авіації вирішуються, в основному, спеціальними навігаційними системами, зокрема супутниковими навігаційними системи.

Наведемо основні тактико-технічні характеристики МНРЛС.

Оптимальний час відновлення інформації на екрані МНРЛС становить 2...10 с залежно від швидкості польоту.

Бортові РЛС як правило працюють у діапазоні радіохвиль 3,2 см. Зазначимо, що дальність для МНРЛС різних класів має бути не менше, ніж зазначено нижче: IV клас — 100 км; III клас — 200 км; II клас — 350 км; I клас — 550 км.

*Зона огляду* визначається в основному призначенням РЛС. Зону огляду за азимутом, зазвичай, задають у горизонтальній площині. Треба відматити, що для навігації краще мати коловий огляд ( $\alpha_{\text{огл}} = 360^\circ$ ). Тим не менш на практиці його реалізувати досить складно, бо найчастіше антену встановлюють у носовому обтічнику. Як правило, для МНРЛС всіх класів мінімальна зона огляду за азимутом може визначатися у таких межах, а саме 4 клас:  $\pm 60^\circ$ , тобто  $120^\circ$ ; 3 клас:  $\pm 45^\circ$ , або інакше  $90^\circ$ ; 2 клас:  $\pm 60^\circ$ , або інакше  $120^\circ$ ; 1 клас:  $\pm 90^\circ$ ...  $100^\circ$ , тобто до  $200^\circ$ .

У вертикальній площині найбільший кут ручного нахилу ДН має становити не менше ніж  $\pm 14^\circ$  для РЛС усіх існуючих класів. Хоча, у більшості випадків, за кутом

місця автоматичне сканування в МНРЛС не виконується, але це є корисним у режимі аналізу метеоутворень. Відмітимо, що останнім часом деякі фірми почали випускати новітні МНРЛС з автоматичним скануванням за кутом місця.

**Точність вимірювання координат** сучасних МНРЛС задається допустимими похибками, а визначається в основному призначенням РЛС. Як правило в МНРЛС не потрібна дуже висока точність вимірювання координат, тим не менш у ряді спеціальних застосувань (зокрема, для скидання вантажів) вимоги до точності зростають різко (зокрема, у МНРЛС для транспортних ПС «Гроза-26»).

Максимально допустимі похибки вимірювання координат, як правило, становлять для азимута від  $1^\circ$  до  $3^\circ$ ; а для дальності 5 %.

**Час огляду** для радіолокаторів усіх зазначених класів, окрім першого, частота азимутального огляду має бути не менше ніж 0,2 Гц.

**Роздільна здатність** РЛС є характеристикою, яка визначає можливості виявлення та подальше вимірювання координат об'єктів, які розташовані близько один від одного. Формулюючи вимоги до роздільної здатності МНРЛС, необхідно в основному вказати розміри роздільного елемента за 3-ма просторовими координатами (тобто, за азимутом, дальністю й кутом місця). Високу роздільну здатність за кутом забезпечити значно складніше, ніж за дальністю. Зокрема, якби треба було розділити дві цілі на відстані 1 км одна від одної, то на дальності  $M=400$  км, відповідно, потрібна була б ширина  $ДН=0,14^\circ$ . Досить часто на практиці доводиться задовольнятися значно гіршою роздільною здатністю за азимутом, що, як правило, становить  $4^\circ$ , а іноді й ще менше (у деяких закордонних РЛС до  $8^\circ$ ).

Достовірність локалізації зони небезпечної турбулентності, задається величинами умовних імовірностей у межах 0,9-0,95,

Для оцінювання завадостійкості РЛС наразі не існує, нажаль, єдиного показника. Як правило, зараз користуються окремими показниками, які характеризують завадостійкість з точки зору завад певного типу. Загалом, РЛС вважається більш завадостійкою, за умови, що при інших рівних умовах вплив завади зумовлює менше погіршення існуючих тактичних характеристик. За потреби



у БРЛС застосовують спеціальні схеми захисту (зокрема, схеми захисту від несинхронних завад).

Зараз відносна чутливість каналів бічного приймання не має перевищувати 20 дБ на дзеркальній частоті та 60 дБ на всіх інших частотах.

Наявні рівні бічних випромінювань передавальних пристроїв на робочій частоті не мають перевищувати 60 дБ відносно рівня випромінювання.

Відмітимо, що у широкому сенсі під терміном РЛС розуміють усі бортові радіоелектронні системи, які з методичної точки зору ґрунтуються на принципах радіолокації та виконують функції спостереження. Базовими видами бортового РЕО відповідно до принципів радіолокації є:

- бортові системи попередження зіткнень (БСПЗ) – TCAS;
- всі МНРЛС та метеонавігаційні комплекси – *Weather Radar*;
- радіолокаційні відповідачі ПС системи КПП – *Airborne Transponder*;
- радіолокаційні висотоміри (РВ) – *Radio Altimeter*,
- радіолокаційні доплерівські вимірювачі швидкості й кута зносу (ДВШЗ) –

*Doppler Radar*.

Наведений перелік в основному включає тільки базове радіолокаційне обладнання, яке встановлюють на борт літаків для виконання функцій пілотування, а також і забезпечення безпеки польоту. Наведений перелік, очевидно, не є повним чи одним єдиним для всіх сучасних інформаційних систем. Зокрема, він не містить штормоскопів, які є пасивними РЛС виявлення зон грозової діяльності, хоча вони в наші дні досить широко застосовуються, особливо на ПС бізнес-класу, але, нажаль, ще не встигли стати обов'язковим видом бортового обладнання. Зазначимо, що системи ДВШЗ не встановлюють на нові типи ПС (цивільні).

Також до бортових систем спостереження належать і системи автоматичного залежного спостереження (ADS), а також й системи попередження про небезпечне наближення до землі (GPWS).

Окрім штатного обладнання, що забезпечує весь процес польоту, на борт літаків можуть встановлювати додаткові радіолокаційні пристрої чи системи,

призначені для виконання деяких спеціальних завдань. Зокрема, до подібних систем відносять, радіолокатори бокового огляду.

Насьогодні провідними виробниками бортової авіоніки *Honeywell, Collins, AlliedSignal, Rockwell* та інші, що поставляють на світовий ринок досить широкий спектр бортових МНРЛС (зокрема, *Weather Radar*). ПС українського виробництва найчастіше обладнані МНРЛС, що розроблені Київським НДІ «Буран» та зараз серійно випускаються заводом «Радар».

### **1.1.2. Вимоги до бортових радіолокаторів.**

Типова метеонавігаційна РЛС (МНРЛС) представляє собою імпульсний радіолокатор. Його принцип дії під час виконання основних функцій ґрунтується на використанні вторинного випромінювання (тобто, відбиття) радіохвиль різними об'єктами (неоднорідностями), які трапляються на шляху поширення зондувального сигналу перед ПС.

Спрощена схема, що роз'яснює принцип дії БРЛС, представлена нижче на рис. 1.1. Це один з можливих варіантів класичної схеми імпульсної РЛС, яка враховує особливості, пов'язані із встановленням РЛС на борту ПС. Передавач продукує досить потужні імпульси енергії НВЧ діапазону потрібної форми та тривалості. Тут синхронізатор призначено для узгодження в часі роботи всіх блоків РЛС, а також формування калібраційних міток дальності, водночас можливий запуск синхронізатора старт-імпульсом від передавача (як це зображено на схемі) чи навпаки – запуск передавача імпульсом, який продукує синхронізатор (що і реалізується у даній роботі).

Тут у відеоканалі поряд із підсиленням прийняті сигнали змішуються із масштабними мітками та обробляються для подальшого виділення спеціальної радіолокаційної інформації. Індикатор призначений для відображення радіолокаційної інформації, зокрема, у полярній системі координат азимут – дальність. Схема розгорнення, яка є частиною блоку індикатора, забезпечує потрібне відхилення електронного променя в трубці індикатора, а також разом із системою синхронного передавання кутового положення антени (СПКПА) буде формувати радіально-секторну (або ж радіально-кругову) розгортку.

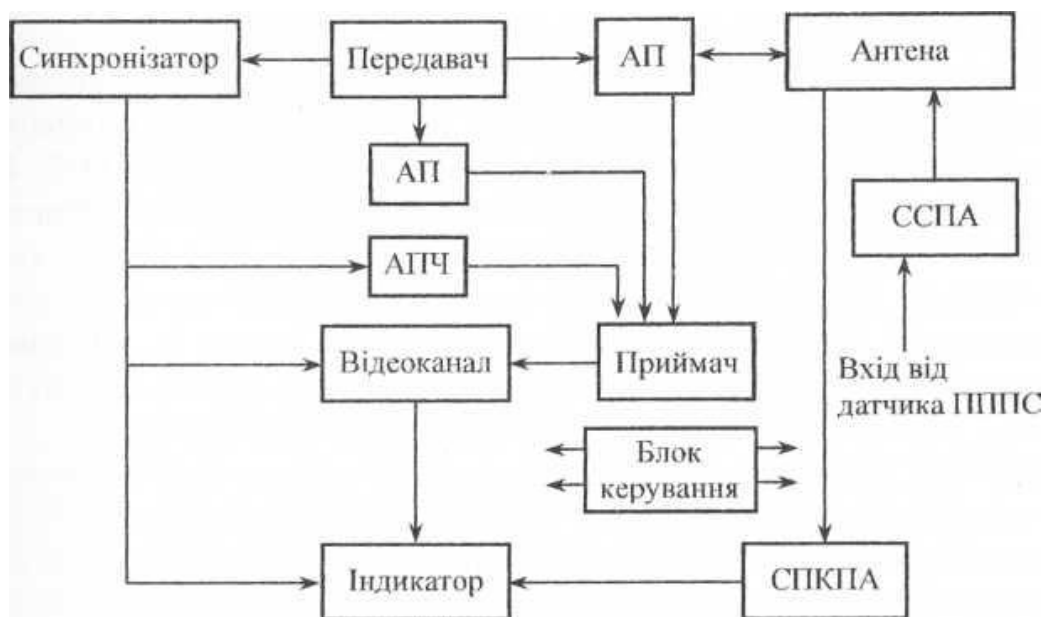


Рис. 1.1. Узагальнена схема МНРЛС: ССПА – система стабілізації променя антени; СПКПА – синхронне передавання курсового положення антени; АТТ – антенний перемикач; ППРС – просторове положення ПС; ЧАРП – часове автоматичне регулювання підсилення

Наявна в схемі антена призначена для формування діаграми напрямленості потрібної форми, випромінювання енергії зондувальних імпульсів (ЗІ) та приймання енергії, яка відбивається від об'єктів (цілей). Антенний перемикач потрібний для почергового автоматичного підключення антени до виходу передавача (тільки на час випромінювання ЗІ) і до входу приймача (в інший час). Відмітимо, що частота перемикачання дорівнює частоті повторення ЗІ [1, 2]. Далі приймач виявляє відбиті від об'єктів сигнали на фоні шумів та «витягує» з них наявну корисну інформацію.

Тут пристрій часового автоматичного регулювання підсилення потрібен для автоматичної зміни коефіцієнт підсилення приймача таким чином, щоб забезпечити рівномірне підсилення сигналів, які відбиваються від цілей на різних відстанях від РЛС. Наявна система автоматичного підстроювання частоти (АПЧ) забезпечує в основному автоматичне настроювання приймача на потрібну для передавача частоту сигналу.

Особливістю МНРЛС, пов'язаною з установленням її на борту ПС, є, зазвичай, наявність системи стабілізації променя антени, що призначена для

компенсації впливу еволюцій ПС (за креном та тангажем). Вихідною інформацією для цього будуть сигнали датчика просторового положення літака. Блок керування виконує в основному дистанційне керування роботою МНРЛС. Провідні фірми в останні роки все більше стали виробляти когерентно-імпульсні БРЛС, схема яких відрізняється від зображеної схеми на рис. 1.1 наявністю додаткових зв'язків, які забезпечують приймач інформацією про фазу зондувальних коливань та опорним сигналом.

## **1.2. Технологічні аспекти стійкої обробки корисної радіолокаційної інформації**

Принциповим питанням обробки радіолокаційної інформації є стійкість її результатів (виявлення, пропуску цілей, вимірної швидкості цілі тощо) до впливу різного виду завад [1, 2]. При цьому поняття 'стійкість' у широкому сенсі розуміється як стійкість до суттєвих змін параметрів завад або появи нових. Розробники РЛС, зазвичай, орієнтуються на типові сигнально-завадові ситуації, використовуючи стійкі та адаптивні алгоритми обробки [3- 5].

Процедура оброблення сигналів бортових РЛС полягає в добуванні корисної інформації, та подальшому її інтерпретації, коригуванні, розпізнаванні й перетворенні отриманих сигналів у форму, яка буде зручною для подання користувачу чи для подальшого оброблення. Зокрема, типовими завданнями оброблення сигналів, які формуються на виході приймача, є підсилення, усереднення та аналіз амплітуд для стійкого виявлення цілей як першчоргової зачі, вилучення інформації про радіолокаційну відбиваність, спектральний аналіз для отримання даних відносно доплерівського спектру, коригування отриманих сигналів за дальністю, а також й для компенсації ослаблення сигналів у метеоутвореннях.

Стійке виділення цілей на тлі завад належать до головної групи важливих функцій, виконуваних МНРЛС. Зазначимо, що проблеми цієї групи функцій можна сформулювати у вигляді завдань розпізнавання чи виявлення.

Для обробки сигналів у РЛС застосовують цифрові та аналогові пристрої. Аналоговим буде будь-яка обробка, яка виконується над аналоговими сигналами за допомогою аналогових засобів. Математичні алгоритми обробки аналоговими електронними пристроями ґрунтуються в основному на сигналах, в яких числові значення є неперервними фізичними величинами, або, інакше кажучи, електричним струмом, напругою чи електричним зарядом. Як правило, аналогова обробка відбувається у перших після антени блоках радіоприймача до детектування – перетворювача, підсилювача радіосигналів, підсилювача проміжної частоти й фільтрів [3].

Як результат, невелика похибка чи шум у вхідному сигналі буде наявною також у результуючій похибці обробленого сигналу. Відомо, що першими активними приладами для обробки аналогових сигналів були електронні лампи, далі транзистори, а потім і операційні підсилювачі.

Зараз із тотальним поширенням цифрової техніки аналогові фільтри витісняються цифровими, але для деяких ситуацій використувати цифрові фільтри недоцільно. Це значною мірою зумовлено вищою швидкістю роботи аналогових фільтрів за рахунок обмеженості обчислювальних ресурсів мікроконтролерів чи інших апаратних засобів, на яких будуються цифрові фільтри, як і наявністю шумів квантування у сучасних цифрових пристроях, які відсутні в аналогових.

Сучасні цифрові технології широко застосовують на різних етапах формування і особливо на стадії оброблення сигналів. Існуючі радіолокаційні пристрої обробки будують із застосуванням швидкодійних програмованих логічних матриць, програмованих сигнальних процесорів, мікроконтролерів, оптоелектронних процесорів, а зараз і нейрокомп'ютерних технологій. Алгоритми отримання інформації щодо метеоутворень, в тому числі розпізнавання об'єктів, що найефективніше реалізуються саме цифровим обробленням.

Розміщення МНРЛС на ПС, що досить швидко рухається, накладає навіть значно більш жорсткі вимоги до сучасних алгоритмів обробки сигналів, порівняно з наземними радіолокаторами спостереження. Алгоритми оцінювання параметрів в основному мають забезпечувати стійке одержання прийнятних рішень та оцінок за

короткими вибірками ехо-сигналів (кілька десятків імпульсів, а іноді може бути лише одиниці імпульсів). Швидкість роботи алгоритмів буде забезпечувати обробки у реальному масштабі часу відбитих сигналів приблизно від  $10^5$  окремих об'ємів, які є в зоні огляду. Час, відпущений для цього, в основному не перевищує періоду огляду (це 1-5 с).

Алгоритми обробки сигналів, звичайно, пов'язані з методами зондування та не можуть бути розроблені незалежно від них. Саме тому створення зараз ефективних методів зондування метеорологічних утворень й обробки сигналів на сьогодні ще залишаються актуальним завданням, які вже протягом 5-ох десятиліть привертає увагу спеціалістів провідних фірм як і вчених, зайнятих розробленням та виробництвом бортового РЕО.

Зростання кількості відображуваної інформації, в свою чергу, зумовлює збільшення існуюче навантаження на пілота, і це веде до підвищення ймовірності помилок при інтерпретації даних чи прийнятті оперативних рішень пілотом. Іншими словами, при постійному нарощуванні інформативності сучасних систем з відображенням усієї корисної інформації існує небезпека появи надлишків значущої інформації: інформація стає надто детальною. Тому зараз виникає необхідність створення інформаційних ефективних фільтрів, які можемо реалізувати у вигляді спеціальних як апаратних так і програмних засобів, вони можуть використовуватись в інтерактивному режимі. За допомогою зазначених засобів інтелектуальної підтримки екіпажу повинна виділятися лише та частина результуючої інформації (виключно її значуща частина), що безпосередньо призначена для обґрунтування тих чи інших рішень відносно виконання маневру чи продовження руху в тому самому напрямі.

### **1.3. Парадигма сучасної радіоелектронної боротьби**

Питання забезпечення стійкості радіолокаційного виявлення цілей для типових сигнально-завадових ситуацій у світовій практиці вже вивчені досконально і

застосовуються ефективні алгоритми. Але в умовах бойових дій ситуація значно ускладнюється, оскільки домінуючу роль починають відігравати навмисно створені завади та їх комплекси. Постають складні проблемні задачі отримання радіолокаційної інформації достатньої якості в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ), що буде розглядатися в роботі далі.

Одразу зазначимо, що використане поняття парадигма (в перекладі це «приклад», «взірець») для даного випадку розуміємо у вузькому сенсі як систему основних ідей та понять, що визначають методологічні та технічні задачі комплексу радіоелектронної боротьби (РЕБ). Так, у процесі РЕБ приймають участь дві сторони конфлікту – активна ‘наступальна’ та пасивна ‘оборонна’ [6, 7]. Заходи РЕБ наступальної сторони передбачають, у першу чергу, здійснення радіоелектронної розвідки (РЕР), а саме: пошук, перехоплення та аналіз випромінювання радіоелектронних систем (РЕС) противника, розпізнавання та визначення місцеположення з оцінкою тактичної та стратегічної їхньої цінності. Далі ця інформація використовується для задачі радіоелектронного придушення (РЕП) РЕС противника із видачею, за необхідністю, цілевказівок засобам фізичного ураження.

Оборонні заходи іншої сторони полягають у забезпеченні попереднього радіоелектронного маскування (РЕМ) своїх РЕС та у здійсненні поточного радіоелектронного захисту (РЕЗ). При цьому оборонна сторона в процесі військових дій є, саме, здобувачем поточної інформації про стан противника та користувачем своєї інформаційної структури, зокрема, радіозв’язком.

Одразу треба вказати, що терміни ‘наступальна’ та ‘оборонна’ сторони не стосуються безпосередньо військових дій, а визначають суто інформаційне протиборство. При цьому вважається, що дії наступальної сторони РЕБ призначені для ‘захисту’ (а сторона то – ‘наступальна’!) у широкому сенсі своїх інтересів, які можуть постраждати від функціонування різноманітних інформаційних систем противника.

Ефективність РЕБ, значною мірою, залежить від рівня розвитку й вдосконалення способів застосування РЕС, як і засобів РЕБ. Як показує досвід

сучасних локальних війн [5], зараз РЕБ практично охоплює, всі види РЕС – радіотелеуправління, радіолокацію, радіонавігацію, радіозв'язок тощо.

У цьому розумінні, зокрема, об'єктами самозахисту за допомогою засобів РЕБ можуть бути ударні вертольоти, тактичні ПС, дальньої чи стратегічної авіації, кораблі, а особливо виділяють малорозмірні наземні об'єкти, а також стратегічні балістичні чи крилаті ракети, за якими супротивник веде постійне спостереження радіолокаційними системами.

Зараз енергетичний потенціал станції перешкод індивідуального захисту можна оцінити за формулою:

$$(P_{\Pi} G_{\Pi})_{\text{инд}} = \frac{P_0 G_0 \Delta F_{\Pi} \sigma Q}{4\pi D_0^2 \Delta F_0 \gamma} 10^{-0,2KD_0}$$

де відповідно  $G_0$  – коефіцієнт підсилення головної пелюстки антени РЛС;  $P_{\Pi}$  – потужність передавача станції завад;  $G_{\Pi}$  – коефіцієнт підсилення антени станції завад;  $P_0$  – потужність передаючого пристрою наявного джерела радіоінформації, вважаємо РЛС;  $\Delta F_{\Pi}$  – ширина спектру сигналу придушення (тобто завади);  $\sigma$  – ефективна поверхня розсіювання об'єкту, що захищається;  $Q$  – коефіцієнт придушення РЛС (визначають як відношення потужності завади, що придушується, до потужності сигналу на вході приймача РЛС);  $\Delta F_0$  – смуга прозорості приймача РЛС;  $\gamma$  – коефіцієнт неузгодженості поляризацій станції завад й антени РЛС;  $K$  – питоме згасання електромагнітних хвиль у середовищі розповсюдження на трасі 1 км.

Розраховуємо час радіоконтакту (або час формування сигналів перешкод) станції перешкод й пригнічуваної РЛС за такою формулою:

$$t_{\text{рк}} = \frac{\Delta\beta}{\Omega}$$

де відповідно  $\Omega$  – кутова швидкість сканування антени РЛС;  $\Delta\beta$  – ширина діаграми спрямованості антени РЛС у площині сканування за азимутом.



При індивідуальному захисті відбувається придушення РЛС за дальністю в границях головної пелюстки антени РЛС на час радіоконтакту станції перешкод чи РЛС.

Для засобів РЕБ повітряного або ж морського базування застосовують зокрема ескортний й груповий захисти. При цьому один носій засобів РЕБ здійснює захист групи ПС чи кораблів, або інакше кажучи забезпечує захист деякої зони. Крім того спеціальні ПС чи гелікоптери-носії засобів РЕБ, які називають баражувальниками, досить непогано забезпечують придушення наземних РЛС у широкій зоні.

Для прикладу на рис. 1.2 зображено зворотну ситуацію, коли для придушення РЛС ПС станція придушення (СП) буде знаходитися на землі; також на цьому рисунку наведена ілюстрація впливу завади на бічну і головну пелюстки РЛС.

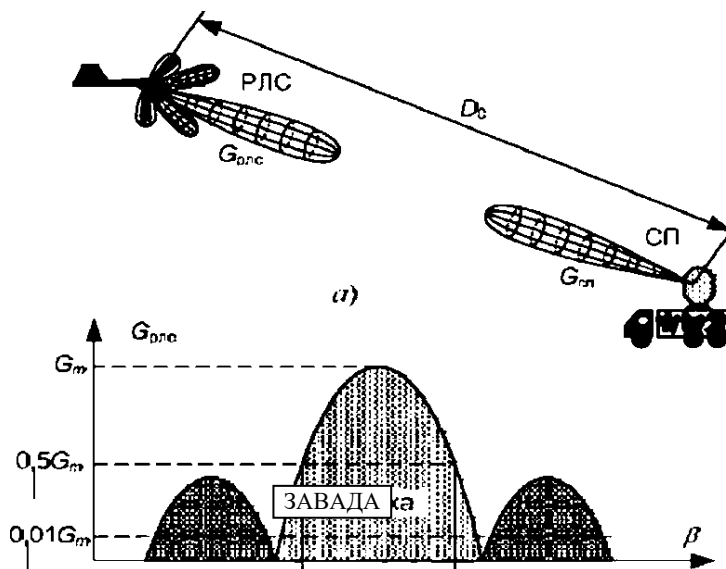


Рис. 1.2. Придушення бортової РЛС наземною станцією завад

Особливо актуальними у теперішній час, за умов бойових дій на Україні, стали задачі РЕБ для військової авіації. Не можливо уявити ПС, будь-то винищувач або ж бомбардувальник, без засобів РЕБ, інакше за умов сучасного розвитку засобів виявлення й ураження ПС має дуже низьку ймовірність виживання при подоланні сучасних систем протиповітряної оборони (ППО) або безпосереднього ведення повітряного бою.

Наявні бойові можливості сучасних засобів ведення повітряної війни значною мірою залежать від надійного функціонування бортових РЕС й систем керування

зброєю. Саме тому в ході бойових дій кожна з воюючих сторін намагається максимально дезорганізувати їхню дію у супротивника й усіма способами забезпечити стійку роботу своїх РЕС, наприклад бортових.

В ході ведення повітряного бою це завдання буде покладено на засоби РЕП індивідуального захисту ПС (зокрема, станція активних завад). Так наприклад, долаючи систему ППО без використання засобів РЕБ, показник живучості ПС складає в основному всього 0.01-0.35, а вже з використанням засобів індивідуального захисту він збільшиться до 0,44 [1, 5]. Підвищення цього показника до 0,85 досягається сумісним використанням засобів індивідуального чи колективного захисту його.

Радіоелектронне маскування (РЕМ) забезпечується у двох аспектах:

– по-перше, під час проектування РЕС, зокрема РЛС, обираються найбільш незвичайні типи сигналів та режими роботи:

по-друге, забезпечується максимально можлива скритність роботи РЕС під час її застосування, зокрема, мінімальний час роботи, зміна режимів та місця розположення.

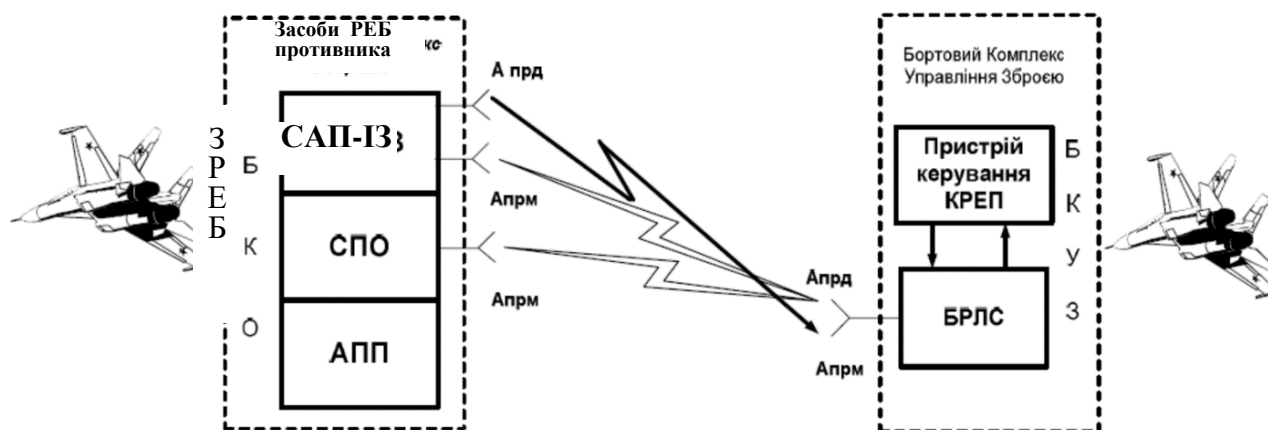


Рис. 1.3. Напрямки здійснення КРЕП на літаку-випищувачу

Суттєве покращення РЕБ на сучасному етапі досягається шляхом застосування такого перспективного напрямку розвитку засобів РЕБ для літаків-випищувачів, як контр-радіоелектронна протидія (КРЕП); вперше такий термін появився у літературних джерелах у 1976 році [2, 7]. Під цим поняттям розуміють

не просто підвищення заводо захищеності бортової РЛС (БРЛС) свого літака-випищувача, а саме активне придушення систем РЕБ противника, а саме: систему адаптивної протидії інформаційним засобам (САП ІЗ) й її інформаційної підсистеми – станції попередження про опромінення (СПО), автомата постановки перешкод (АПП), та інш. (рис. 1.3). Новизна задачі КРЕП обумовлена, не тільки новим об'єктом придушення, але і необхідністю розробки новітніх способів і засобів його здійснення, а також розробкою новітніх систем управління КРЕП на борту чи стратегії її виконання [8].

Більш розгорнуто, до основних завдань КРЕП на борту ПС відносять:

- навмисна зміна наявних режимів роботи бортової РЛС за здалегідь визначеною стратегією ведення КРЕП для постійної зміни ступеню небезпеки цілі й прийняття (чи не прийняття) хибних рішень БКУЗ після атаки й знищення цілі;
- подавлення інформаційної системи бортових засобів РЕБ противника завдяки змінам роботи бортової РЛС (тобто, введення в оману);
- створення багатофункціонального сигналу, що дозволяє одночасно підвищити рівень корисної інформації так і подавити інформаційну систему РЕБ літака противника;
- ускладнення для противників виявлення цілі на певній дальності за рахунок змін потужності випромінюваних сигналів зондування й перешкод;
- ускладнення визначення поточних координат цілі за рахунок змін режимів роботи бортової РЛС управління зброєю;
- розробка новітніх пристроїв підвищення заводо захищеності випищувача в момент роботи засобів РЕБ ПС супротивника;
- активне врахування природи створення заводо засобами РЕБ літака супротивника шляхом уникнення їх дії на свої системи автоматичного супроводження РЛС за швидкістю, направленням й дальністю [8].

На хвилі тотальної модернізації засобів РЕБ на базі нової технологічної бази як і інтеграції засобів РЕБ на ПС у єдиний інтегрований радіолокаційний комплекс перешкод, встановлення такого новітнього комплексу на ПС без реалізації способів

як і пристроїв КРЕП, на жаль, не дасть потрібної ефективності ведення протидії у радіочастотному діапазоні.

Однією із тактичних вимог до сучасних інформаційних підсистем КРЕП є, зазвичай, забезпечення пасивного виявлення випромінювання РЕС супротивника на відстанях, що перевищують дальність активного виявлення винищувача. Застосоване пасивне виявлення має доповнюватися ідентифікацією типу цілі. Таке дозволяє винищувачу зайняти більш вигідну позицію, зробити фіксацію переходу БРЛС до режиму прицільного супроводження винищувача й увімкнення каналу підсвічування, що є тактичними вимогами до інформаційної підсистеми КРЕП.

Використання підходу до оцінювання ефективності ведення КРЕП, критерієм якого є, зазвичай, показник інформативності, дозволяє:

- порівняти кількість інформації, яку отримує супротивником за рахунок дії перешкод й без їх впливу;

- оцінити потенціальні характеристики ведення КРЕП за реальних умов та реальну зміну кількості інформації, яку отримує супротивник під час ведення РЕБ й КРЕП;

- сформулювати такий алгоритм ведення КРЕП й РЕБ, при якому кількість корисної інформації на всіх існуючих етапах роботи БКУЗ й інформаційної системи РЕБ супротивника буде знижатися якнайбільше.

Загалом сучасна система КРЕП на борту ПС має складатися з таких підсистем, як виконавча; інформаційна; обчислювальна (вона забезпечує взаємодію елементів КРЕП, як і спільну роботу з іншими системами літака) та відображення інформації.

До складу інформаційної підсистеми КРЕП, зазвичай, входять датчики й пристрої різноманітного спектру електромагнітних коливань (такі як теплогенератор, станція попередження опромінення, бортовий радіолокатор, пристрій виявлення лазерного опромінення). Зазначимо, що до систем КРЕП мають поступати данні від пристроїв, які спряжені з бортовим устаткуванням ПС й пристроїв широкосмугового інформаційного обміну з наявними системами РЕБ й КРЕП інших літаків групи [5].

До складу виконавчої системи КРЕП мають входити, зокрема, РЛС управління зброєю; устаткування хибних теплових й радіолокаційних цілей; станція активних перешкод індивідуального захисту та інфрачервоного діапазону; станції перешкод лазерного діапазону; спеціальні пастки, які буксують.

Обчислювальна підсистема зазвичай входить у загальну обчислювальну систему у випадку створення інтегрованого радіолокаційно перешкодового комплексу на борту нового або ж модернізованого літака-винищувача.

Підсистема відображення інформації може мати власні пристрої відображення, або інформація вноситься на існуючі пристрої відображення.

Також загальний аналіз перспектив подальшого розвитку літаків-винищувачів показує, що самими перспективними напрямками їх удосконалення чи модернізації є: інтеграція різноманітних радіоелектронних засобів літака-винищувача в один єдиний багатоцільовий комплекс задля поєднання й сукупного опрацювання інформації щодо радіоелектронного стану й координації ПС, підвищення завадозахищеності, вирішення проблем енергозбереження, електромагнітної сумісності, діагностування чи контролю всіх радіоелектронних засобів бортового комплексу; створення новітніх засобів РЕП: ретрансляторів й передавачів одноразового використання, вистрілюючих чи буксируємих пасток у хвильовому діапазоні роботи самої РЛС; управління зброєю чи ракетами; активна протидія бортовим засобам РЕБ ПС супротивника через застосування ними новітніх способів КРЕП.

На підставі зроблено аналізу РЕБ літака скомпонована узагальнююча таблиця заходів РЕБ.

Таблиця 1.2.

Узагальнююча таблиця заходів РЕБ

<b>Заходи РЕБ</b>	
<b>НАСТУПАЛЬНА сторона</b>	<b>Сторона ОБОРОНИ</b>
Радіоелектронна розвідка (РЕР)	Радіоелектронне маскування (РЕМ)
Радіоелектронне придушення (РЕП)	Радіоелектронний захист (РЕЗ)
Силове ураження (наслідок РЕБ)	Контр-РЕП (КРЕП)

## 1.4. Аналіз навмисних радіолокаційних завад у процесах радіоелектронної боротьби

Як відомо, радіоелектронні завади представляють собою електромагнітні випромінювання, що ускладнює чи виключає прийом сигналів, як і виділення з них потрібної інформації радіоелектронними системами (РЕС). Природними є, зазвичай, перешкоди такого походження, як утворені електричними процесами у атмосфері, як правило, це грозові розряди або ж космічні, які викликані радіовипромінюванням зірок чи Сонця; також це електромагнітні (ЕМ) випромінювання навколоземного простору, їх викликають потоки заряджених частинок у іоносфері чи магнітосфері; радіовипромінювання полярних сяїв й радіаційних поясів Землі; також це відбиття від метеоутворень, водної чи земної поверхні.

Штучні перешкоди в основному створюються пристроями, які випромінюють ЕМ-коливання, чи спеціальними відбивачами, які розсіюють енергію ЕМ-хвиль.

Залежно від джерел створенні перешкоди бувають ненавмисними та навмисними. Перші викликані джерелами штучного походження (зокрема, установками електроустаткування чи сторонніми радіопередавачами), вони непризначені для різного порушення функціонування РЕС. Другі створюють спеціально для порушення роботи РЕС, що є, зазвичай, характерним для РЕБ.

В роботі об'єктом подальшого більш детального аналізу будуть виключно *штучні*, головним чином *навмисні перешкоди*. Штучні перешкоди зараз класифікують за різними ознаками, першочергово, за способом створення й характером впливу на РЕС (рис. 1.4).

Штучні перешкоди за способом їх створення поділяють на активні, які генеруються спеціальними радіопередавачами, й пасивні, які утворюються за допомогою розсіювання (тобто, відбиття) різними об'єктами ЕМ-хвиль, випромінюваних РЕС. В основному, за характером впливу їх поділяють на маскуючі перешкоди, які суттєво спотворюють структуру приймальних сигналів, й значно ускладнюють (чи повністю виключають) можливість виділення в РЕС інформації, також вони суттєво знижують точність вимірювання різних характеристик сигналів.

Імітуючі або ж дезінформуючі перешкоди застосовують для внесення неправдивої інформації в засоби, які треба пригнічувати. За структурою, в основному, вони близькі до корисних сигналів РЕС і саме тому створюють в кінцевому пристрої помилкові сигнали чи позначки цілей, які є подібними до реальних (рис. 1.5 і 1.6). Такі перешкоди значно знижують пропускну здатність пригнічуваних РЕС, спричиняють втрати частини корисної інформації, суттєво збільшують ймовірність помилкової тривоги, а при впливах на засоби управління зброєю будуть зривати автоматичний супровід цілей за дальністю, напрямом чи швидкістю, також можуть перенацілювати системи на такі цілі, що імітуються на поверхні самої заваді.

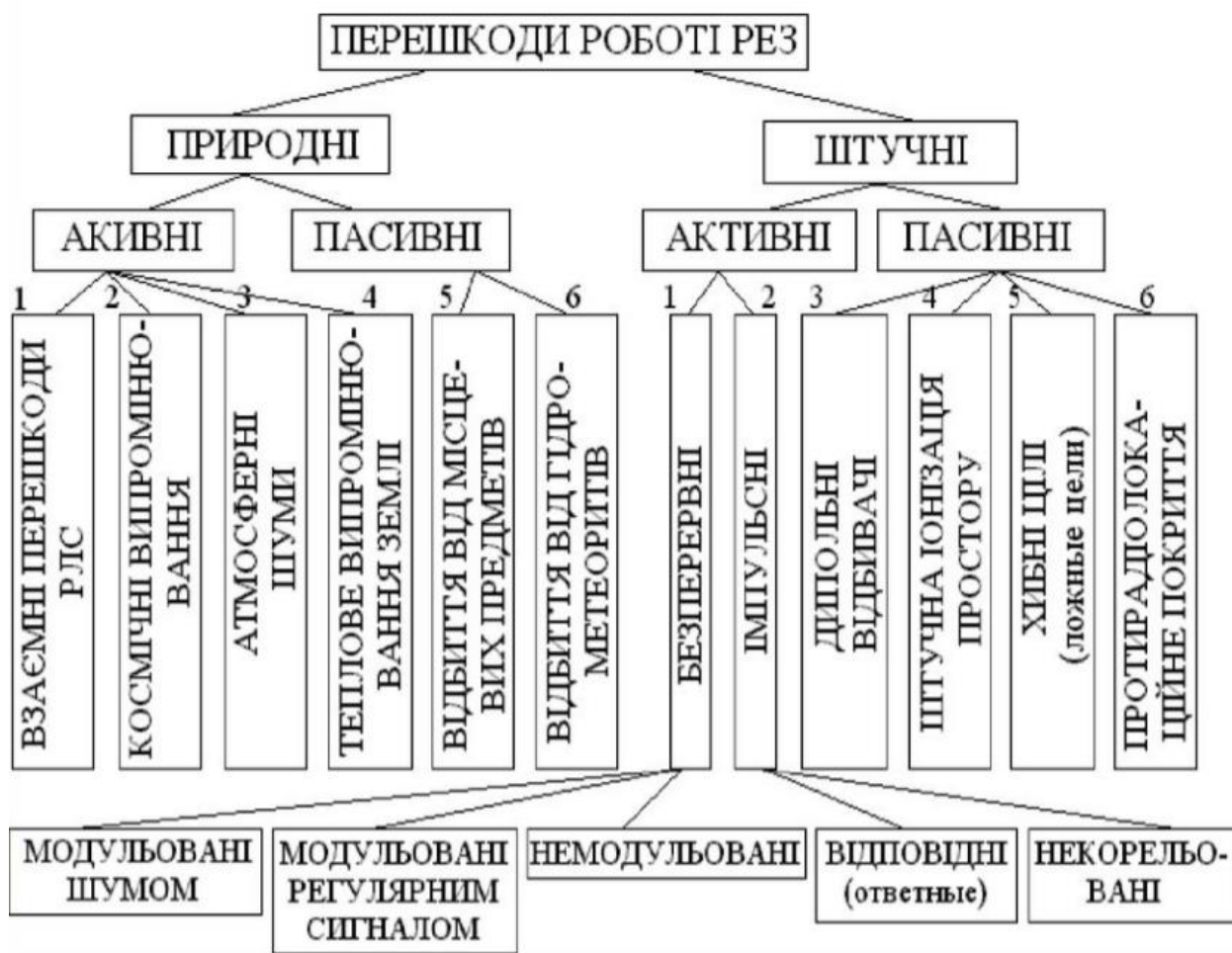
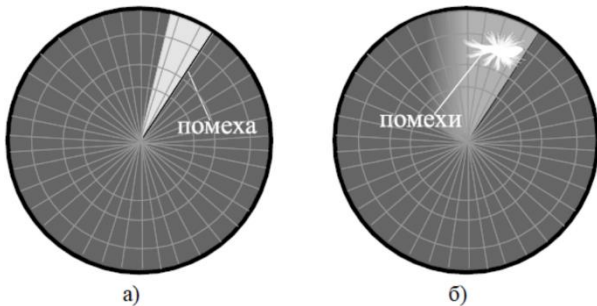


Рис. 1.4. Класифікація навмисних радіоелектронних перешкод

Вони створюються, в основному, на вході приймача РЕС, який треба придушити, тобто це фон, що значно ускладнює виявлення корисних сигналів,

розпізнавання або ж оцінку параметрів. За співвідношенням спектрів перешкод та корисних сигналів зазначені перешкоди прийнято поділяти на прицільні, прицільно-загороджувальні та загороджувальні.

### Маскуючі



### Імітуючі

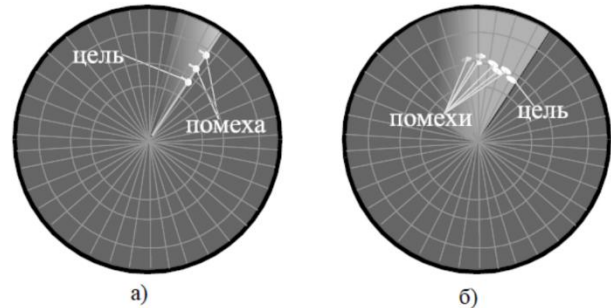


Рис. 1.5. Зображення на індикаторі кругового огляду:

- а) при впливі на РЛС активної маскуючої перешкоди;
- б) при впливі на РЛС пасивної маскуючої перешкоди

Рис. 1.6. Зображення на індикаторі кругового огляду:

- а) при впливі на РЛС активної перешкоди, що імітує;
- б) при впливі на РЛС пасивної імітуючої перешкоди

### **Активні маскуючі радіоелектронні перешкоди**

Останній тип має ширину спектра частот, що набагато перевищує смугу, яку займає корисний сигнал  $\Delta f$ . Саме це дає змогу одночасно пригнічувати декілька РЕС без точного налаштування передавача перешкод за частотою.

Так звані прицільні перешкоди мають ширину спектра, порівнянну з шириною спектра сигналу РЕС, яка пригнічується (або рівну або ж в 1,5 - 2 рази перевищує його) (рис. 1.7, б). Їх можна реалізувати передавачем перешкод потужністю набагато меншим, ніж у випадку реалізації загороджувальних перешкод.

Зазначимо, що проміжне положення між загороджувальними й прицільними перешкодами займають саме прицільно-загороджувальні перешкоди, які за своєю шириною спектру в 10-15 разів перевищують спектри корисних сигналів.



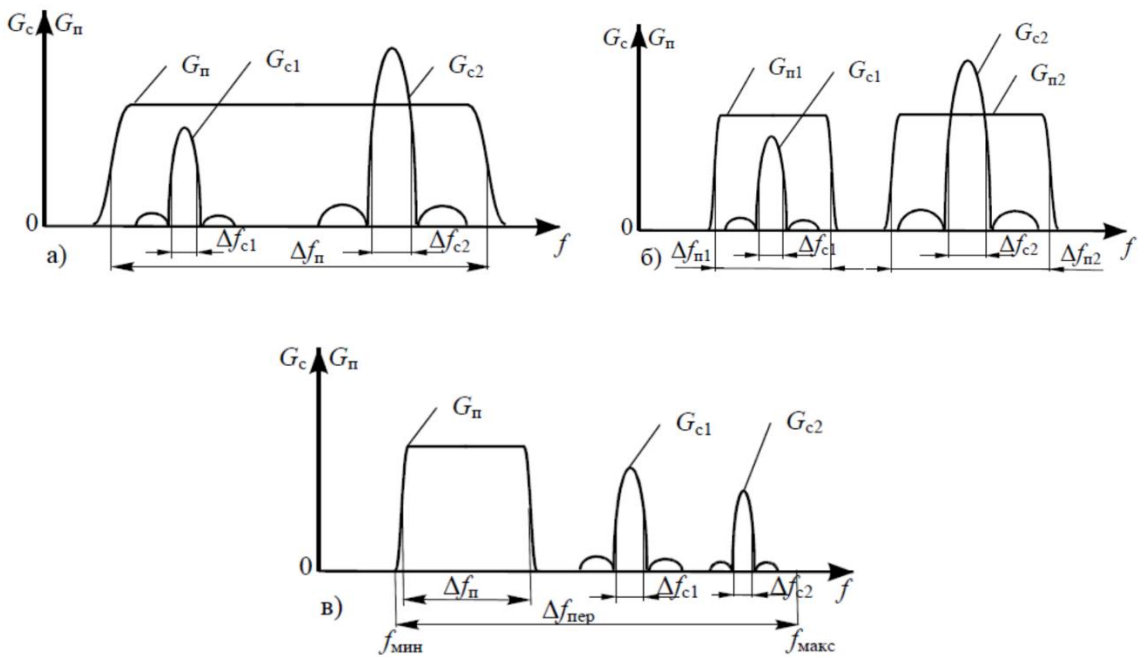


Рис. 1.7. Спектри сигналів та перешкод: а) спектри сигналів  $G_{c1}$  та  $G_{c2}$  та загороджувальної перешкоди  $G_{п}$ ; б) спектри сигналів  $G_{c1}$  та  $G_{c2}$  та прицільної перешкоди  $G_{п1}$ ; в) спектри сигналів  $G_{c1}$  та  $G_{c2}$  та ковзної перешкоди  $G_{п}$

Досить ефективним способом придушення сучасних РЕС у широкому діапазоні частот є, зазвичай, застосування ковзних перешкод, які утворюються при швидкому переналаштуванні передавача прицільних перешкод у широкій смузі частот.

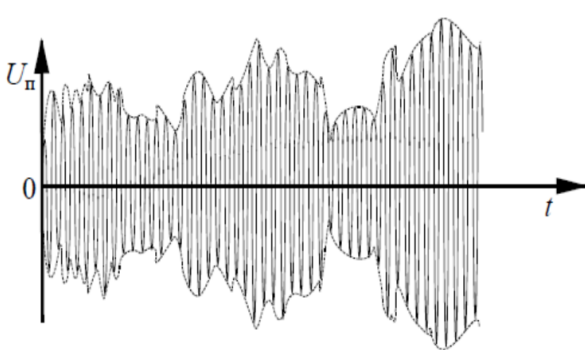


Рис. 1.8 . Реалізація амплітудно-модульованої шумової перешкоди

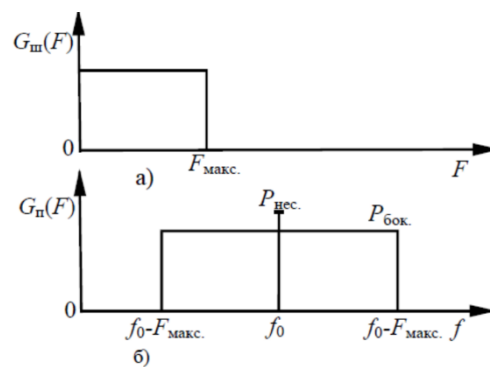


Рис. 1.9 – Спектральні густини: а) модулюючого шуму; б) амплітудно-модульованої шумової перешкоди

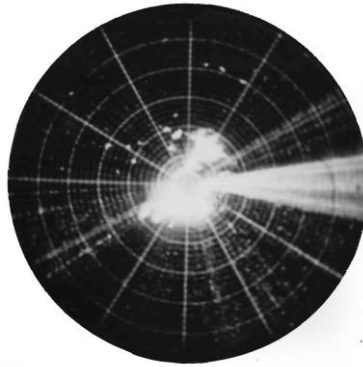


Рис. 1.8. Фото впливу активної шумової перешкоди (перешкода впливає по головному пелюстку діаграми спрямованості антени РЛС)

Зараз найбільшого поширення серед активних маскуючих перешкод набули такі, що є неперервними коливаннями, в них один чи декілька параметрів (фаза, амплітуда чи частота) змінюються випадковим чином. Через те, що за своєю структурою вони близькі до внутрішніх шумів приймальних пристроїв, перешкоди такого типу отримали назву активних шумових перешкод чи просто шумових перешкод (рис.1.8).

### **Активні імітуючі перешкоди**

Такі перешкоди призначені для внесення неправдивої інформації в пригнічений пристрій. Найчастіше під їх дією відбуваються навантаження окремих інформаційних каналів придушеної РЕС. Відмітимо, що для виключення можливості їх фільтрації імітуючий сигнал перешкоди не повинен набагато відрізнятися від сигналу імітованого. Зокрема, при імітації хибної цілі, яка знаходиться на одному пеленгу із реальною ціллю, але не розташована на одній дальності, сигнал перешкоди повинен мати, принаймні, однакову з корисним поляризацію та несучу частоту. Тим не менш за інформаційним параметром він має відрізнитись від корисного сигналу. Для створення цього потрібно, щоб сигнали перешкоди випромінювались із деякою затримкою по відношенню до наявних корисних сигналів.

В основному імітуючі перешкоди є послідовністю радіоімпульсів, які випромінюються строго на частотах РЛС. Саме тому імітуючі перешкоди ще іноді називають імпульсними перешкодами. Зазначені перешкоди використовуються для

порушення роботи РЛС, радіорелейних, радіонавігаційних й інших РЕМ, які працюють у імпульсному режимі.

З існуючого розмаїття імітуючи активних перешкод, можна виділити такі групи: перша група призначена для придушення РЛС, що функціонують у режимі виявлення, а друга група притаманна режиму автоматичного супроводу РЛС.

Зазначимо, що синхронні імпульсні перешкоди в основному формуються станціями багаторазових імпульсних перешкод, побудованих на базі принципу багаторазової ретрансляції імпульсних сигналів РЛС, які треба придушити, а також випромінюванням у відповідь на прийнятий сигнал серії радіоімпульсів. Зазначену перешкоду називають багаторазовою імпульсною перешкодою у відповідь. Вони породжують серії відміток, що імітують неіснуючі цілі на екранах РЛС. Такі позначки можуть бути попереду або ж позаду реальної цілі.

В свою чергу, несинхронні імпульсні, у загальному випадку, створюють перешкоди в довільні моменти часу випромінювання пачок радіоімпульсів, вони не пов'язані з часовим положенням зондувальних імпульсів (такі параметри, як амплітуда, тривалість, частота повторення імпульсів змінюються хаотично). Несинхронні імпульсні перешкоди можуть, створюватися для імітації так званих взаємних перешкод, для ускладнення загальної радіотехнічної обстановки чи введення в оману осіб, які є відповідальними за забезпечення спільної роботи кількох РЕС. Також вони вносять збої у системи обробки сигналів. окремим видом несинхронних імпульсних перешкод є, зазвичай, хаотичні імпульсні завади (ХІЗ) (рис.1.9).

Імітуючі перешкоди для РЛС, які функціонують в режимі автоматичного супроводу, як правило, є синхронними й спричиняють наступні негативні ефекти:

- порушення роботи РЛС у режимі автоматичного супроводу (зокрема, за швидкістю, кутами й дальністю) та відбувається зрив процесу стеження за ціллю;
- неправильно вирішується завдання ідентифікації цілей;
- вимірювання інформаційного параметра здійснюється з неприпустимо великими помилками.

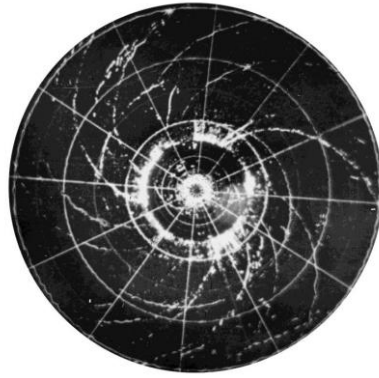


Рис. 1.9. Фото впливу активної несинхронної імпульсної перешкоди

Відмітимо, що переривчаста перешкода (рис. 1.10) це періодична послідовність досить потужних радіоімпульсів з тривалістю  $\tau$  та періодом повторення  $T$ . На РЛС її дія базується на використанні перехідних процесів, які відбуваються у приймачі з регульованим коефіцієнтом підсилення.

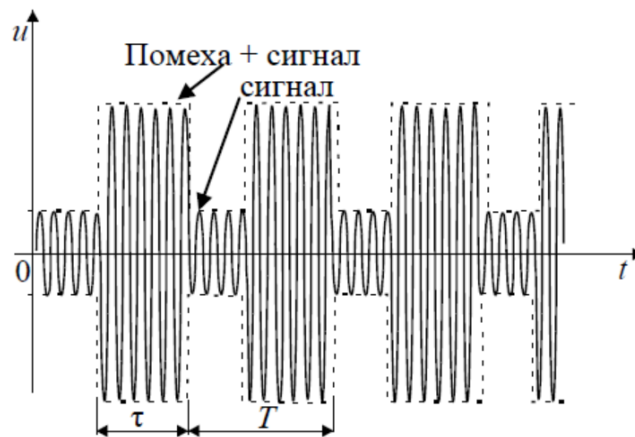


Рис. 1.10. Уривчаста перешкода

### Пасивні радіоелектронні перешкоди

Такі перешкоди утворюються, в основному, внаслідок дії на РЕС енергії ЕМ-хвиль, розсіяних (тобто, відбитих) штучними чи природними відбивачами. Останнім може бути будь-яке тіло, що має електричні параметри, відмінні від параметрів навколишнього середовища. Штучні пасивні перешкоди в основному утворюються при розсіюванні ЕМ-енергії кутовими, дипольними чи лінзовими радіовідбивачами.

За своєю дією на РЛС сигнали, що відбиті хмарою диполів, у певному сенсі є аналогічними до шумовим радіоперешкод з вузьким спектром, як це зображено на рис.1.11. Достатньою умовою для того, щоб ПС на тлі пасивних перешкод не можна було б виявити є те, щоб потужність ЕМ-коливань, які розсіяні дипольними відбивачами, була б у декілька разів більше за потужність сигналу, відбитого від ПС.



Рис. 1.11. Фото впливу пасивної перешкоди від дипольних відбивачів (ДВ): 1 – викид ДВ у безперервному режимі; 2 – викид ДВ у дискретному режимі

### **Висновок за розділом 1**

Основні вимоги до обробки сигналів у бортових РЛС визначаються стійкими технологіями.

В умовах РЕБ особливо важливою є боротьба із навмисно створюваними радіолокаційними завадами різних типів.

## РОЗДІЛ 2

# СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТІЙКОГО ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛЕЙ БОРТОВИМ РАДІОЛОКАТОРОМ НА ФОНІ ОРГАНІЗОВАНИХ ЗАВАД

### 2.1. Основні напрямки радіоелектронного захисту радіолокаторів

Захист РЕС від впливу перешкод та вогневого ураження супротивника вважається важливою складовою РЕБ, внаслідок чого забезпечується стійка робота РЕС та засобів управління своїми військами та зброєю в умовах дії навмисних перешкод.

Технічні методи захисту, зазвичай, реалізуються у процесі розробки та подальшої модернізації РЕС. До них відноситься застосування сучасних спеціальних схем та пристроїв, а також удосконалених (перешкодостійких) алгоритмів обробки РЛ-інформації, що забезпечують зменшення або повне усунення впливу перешкод на РЕС [4-6].

Організаційні заходи захисту РЕС здійснюються у процесі бойового застосування, наприклад, зміною позиції, режимів роботи тощо.

Під завадозахищеністю РЕС розуміється їхня здатність ефективно працювати (тобто виконувати свої функції в межах ГТХ) при одночасному здійсненні противником РЕР та РЕП: вона забезпечується їх скритністю і стійкістю до перешкод. Поняття прихованість полягає в усуненні або ослабленні типових демаскуючих ознак військових об'єктів і характеризує можливість РЕС системи протистояти діям РЕР і тим самим ускладнювати організацію РЕП.

Основними кількісними показниками скритності і стійкості РЕС до перешкод є ймовірності впливу організованих перешкод і успішного здійснення РЕС своїх завдань в умовах дії завад (позначимо  $W_{дп}$  і  $W_{п}$ ). Зв'язок між цими ймовірностями встановлюється формулою повної ймовірності:

$$W_{пз} = W_{дп}W_{п} + (1 - W_{дп})W_{оп},$$

де позначена  $W_{оп}$  - ймовірність успішного вирішення РЕС своїх завдань без організованих перешкод. Зазначимо, що ймовірність  $W_{дп}$  характеризує як скритність РЕС, так й ефективність засобів розвідки противника.

Демаскуючі ознаки РЕС – це вимірювані технічними засобами розвідки противника їхні характеристики. Основними демаскуючими ознаками є:

- зорові: форма та геометричні розміри об'єкту; форма та габарити обтічників антен РЕС та ін.
- поточне випромінювання РЕС сигналів у простір.

## **2.2. Методи захисту від завад та способи їхньої реалізації**

В умовах впливу перешкод (природних чи організованих) на вхід РЕС надходить радіосуміш корисного та завадових сигналів. Їхнім завданням є виділення потрібної інформації, що укладена у зміні одного чи декількох параметрів корисного сигналу. Для цього радіосигнали піддаються певним перетворенням (у гетеродині, фільтрі, детекторі, та інші лінійні перетворенням).

Перетворення сигналів у РЛС здійснюється, як правило, у кілька етапів їх обробки: первинну, вторинну та, зазвичай, третинну. Максимальна стійкість до перешкод РЕС досягається в тому випадку, коли захист від їхнього впливу проводиться на всіх трьох етапах обробки радіосигналу.

В процесі первинної обробки отримують після детектування НЧ-відеосигнал, що несе в собі поточну інформацію про координати та параметри однієї чи групи цілей. При цьому сучасні РЕС створюються таким чином, щоб максимально знизити вплив перешкод, саме, на етапі первинної обробки. Так, суттєве зниження впливу завад досягається за рахунок використання різних видів селекції (поділу) корисного та спотворюючого сигналів [3, 6].

### **2.2.1. Просторова та поляризаційна селекції**

Просторова селекція ґрунтується на використанні антен із спрямованим випромінюванням та спрямованим прийомом ЕМ-енергії. Зменшення ширини

діаграми антени дозволяє значно знизити ймовірність попадання завадового сигналу в межі основної пелюстки діаграми антени.

Одночасно із просторовою селекцією вважається доцільним застосування поляризаційної селекції, яка заснована на відмінності поляризації корисних сигналів і перешкод, що одночасно приймаються. Вона використовується для боротьби як із звичайними природними, так і з навмисними організованими перешкодами в радіолокаційних кутомірних пристроях.

Високу ефективність надають поляризаційні методи також у боротьбі із завадами від метео-утворень (хмари, грозові хмари). Такі завади є особливим класом пасивних завад, оскільки відрізняються значною нестаціонарністю в часі й просторі. Відбиття від метео-утворень мають широкий доплерівський спектр, що утрудняє виділення сигналів малорухомих цілей на тлі цих відбиттів [4-6].

Механізм формування доплерівського спектра метеовідбиття визначається такими основними факторами:

різні швидкості вітру на різних висотах приводять до різних радіальних швидкостей метеочасток по вертикалі;

кінцева ширина діаграми антени є причиною розширення завадового спектра в тому випадку, коли промінь антени спрямований поперек напрямку вітру, турбулентність атмосфери приводить до коливань швидкості вітру;

неоднорідність швидкості падіння видбиваючих метеочасток (краплі, сніжинки) також приводить до різних радіальних складових швидкостей.

На екрані індикатора відбиття від метео-завад подібні до впливу пасивних завад, що було показано у першому розділі, – у вигляді плям і смуг, які маскують позначки цілі. Але внаслідок наявності деякого доплерівського зсуву частоти системи СРЦ не забезпечують придушення метео-завад.

Для фільтрації метеосигналів, використовуються поляризатори різних типів. Принцип фізично полягає в тому, що РЛС випромінює хвилі, зазвичай, з круговою поляризацією, які утворюються із лінійно-поляризованих в антені РЛС. Відбиття таких хвиль від симетричних об'єктів – як ідеальні каплі – залишає кругову поляризацію. При прийомі відбитого метеосигналу після проходження хвиль через



поляризатор створюється хвиля з лінійною поляризацією (обернений процес), але її площина при цьому повертається на кут  $90^\circ$  відносно площини поляризації первинної хвилі що випромінювалась. Отримана таким чином хвиля не збуджує випромінюючий елемент, тому сигнали, які відбиваються від зазначених симетричних цілей, не надходять на вхід приймача РЛС.

У випадку відсутності у цілі вісьової симетрії, наприклад ПС, то при відбитті від неї радіохвиль з круговою поляризацією утворюються радіохвилі з еліптичною поляризацією, які при оберненому проходженні (при прийомі) через поляризатор створюють лінійно-поляризовану радіохвилю з площиною поляризації, яка повернута відносно первинного положення вже на кут, не рівний  $90^\circ$ . Такий ефект призводить до збудження антен, та відповідно, до проходження відбитих метеосигналів на вхід приймача [2-5].

Поляризаторами в РЛ-техніці можуть бути поляризаційні решітки, хвилеводи скрутки з фазообертачами, також феритні, діелектричні поляризатори та деякі елементи з механічним або електричним керуванням ступеню поляризації випромінюваних радіохвиль. В РЛС сантиметрового і міліметрового діапазонів, а саме в посадочних РЛС і огляду льотного поля, частіше застосовуються поляризаційні решітки.

На кінець слід зазначити, що метео-завади не є навмисними. До них дуже схожий вплив відбиття від дипольних хмар, які активно використовуються у процесі авіаційної РЕБ, тому значний досвід боротьби з метео-завадами стає дуже корисним для придушення завад від дипольних хмар.

### **2.2.2. Частотна селекція завад**

Частотна селекція радіосигналів ґрунтується на відмінності спектрів завадового та корисного сигналів, як це було означено у першому розділі. В результаті її застосування повинно бути мінімізовано відношення потужностей завад  $P_p$  до корисного сигналу  $P_c$  на виході приймача РЕС, що може придушуватися:  $k^*=(P_p/P_c)_{вих}$ .

Частотна селекція забезпечується шляхом узгодження смуги прозорості приймача із спектром корисного сигналу. При цьому можуть бути кілька ситуацій. Якщо спектри корисного сигналу й перешкоди не збігаються, тоді остання не впливатиме на пригнічуване РЕС.

У випадку, коли спектри перешкоди  $G_p$  та корисного сигналу  $G_c$  у деякій мірі перекриваються, то на вихід приймача буде надходити лише частина потужності перешкоди, що сприяє до зниження величини  $k^*$  (корисний сигнал не повинен пригнічуватися). Таке має місце й при дії широкосмугової шумової перешкоди  $G_{p1}$ , яка зветься загороджувальною.

Тобто необхідно зменшувати ширину смуги пропускання приймача, але з врахуванням спектру корисного сигналу. Практично звуження досягається за рахунок застосування пристроїв стабілізації частоти випромінюваних коливань, наявності високоточного налаштування частоти гетеродина приймача або за рахунок використання систем поточного стеження за частотою сигналу.

### 2.2.3. Селекція рухомих цілей

Канал оцінювання та стеження за доплерівською частотою прийнятого сигналу дозволяє здійснити селекцію рухомих цілей (СРЦ), тобто відсторонитися від перешкод, доплерівські частоти (відповідно швидкості цілей) яких не збігаються з доплерівською частотою корисного сигналу. Типовими є відбиття від хмар дипольних відбивачів, від поверхні землі, від інших об'єктів, швидкість руху яких менша швидкості обраної цілі.

Центральним пристроєм систем СРЦ є компенсатор. Вхідними для компенсатора є сигнали з виходу фазового блоку РЛС, амплітуда і полярність яких пропорційна різниці поточних фаз опорного сигналу когерентного гетеродина і відбитого радіосигналу від цілі. На виході блоку компенсатора залишаються сигнали, відбиті від рухомих цілей та трохи шуму (рис.2.1).

Роботу систем СРЦ також якісно ілюструють 2 наступні малюнки на рис.2.2. Зліва показана картина з відеосигналом без СРЦ, що засвічена плямою (у негативі) –

від нерухомих предметів, а картинка справа – після СРЦ. Оскільки фотографія індикатора зроблена за 5 обертів антени РЛС, то чого літак відобразився як послідовність п'яти відміток. Зліва він зник на фоні пасивної завади. Картинка справа доводить наскільки ефективною може бути дія СРЦ.

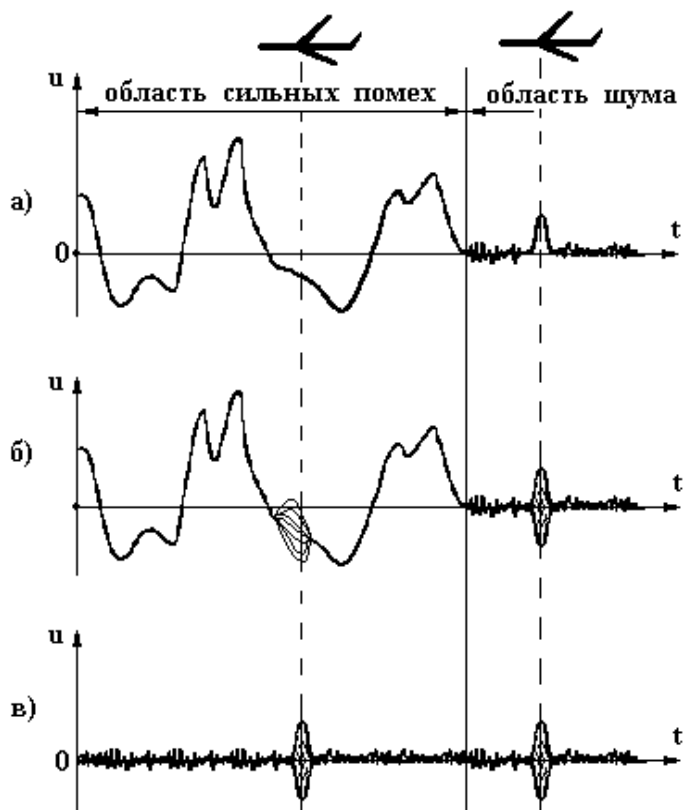


Рис. 2.1. Відеосигнал на виході пристрою СРЦ: а) вхідний сигнал; б) процес компенсації; в) сигнал пристрою СРЦ

Найпростіший однократний компенсатор (див. рис.2.3) послідовно здійснює порівняння між двома сигналами одного елемента просторового розділення по дальності в двох суміжних періодах зондування.

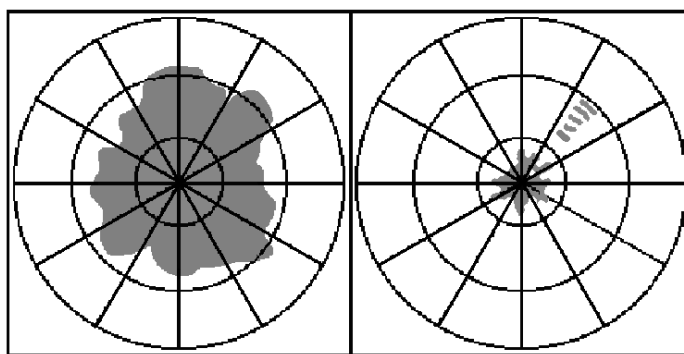


Рис. 2.2. Ілюстрація придушення пасивних завад на індикаторі

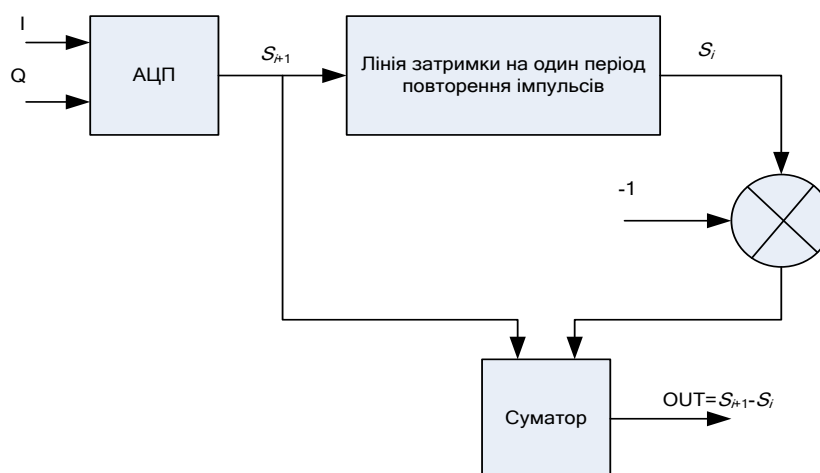


Рис. 2.3. Принцип роботи однократного СРЦ-подавлювача перешкод

Квадратурний вихідний сигнал фазового детектора (I, Q) після АЦП подається на завадопридушувач в безпосередньому напрямку та з затримкою в один період повторення імпульсів, далі один сигнал віднімається з іншого

$$OUT = S_{i+1} - S_i,$$

де  $S_{i+1}$  – поточний відеосигнал,  $S_i$  – попередній відеосигнал.

Якщо ці імпульси мають однакову амплітуду після фазового детектора (коли приймається ехо-сигнал від нерухомого об'єкту), відбувається придушення перешкоди після віднімання.

Робота подвійного подавлювача перешкод вже залежить від сигналів 3-ох послідовних періодів імпульсів зондування. Вихідний його сигнал тоді має вигляд:

$$OUT = (S_{i+1} - S_i) - (S_i - S_{i-1}).$$

#### **2.2.4. Фазова, компенсаційна та комбінована селекції**

Зменшення величини  $k^* = (P_p/P_c)_{\text{вих}}$  при фазовій селекції відбувається за рахунок придушення складових завади, фази яких ортогональні фазам корисного сигналу. Це відбувається за рахунок синхронного детектування прийнятої суміші корисного сигналу і перешкоди, де як синхронний детектор використовується звичайний фазовий детектор (ФД), який робить операцію скалярного множення двох сигналів, які подаються на його входи. Фазову селекцію доцільно використовується при захисті від шумових перешкод, коли спектри корисного і завадового сигналів не достаньно збігаються. Однак цей спосіб призводить лише до часткового зменшення потужності сигналу завади.

Використовується також спосіб компенсації завадових сигналів, який базується на використанні додаткових (компенсаційних) каналів прийому. Його сутність полягає в тому, що окрім головного приймача, що реагує на суміш корисного сигналу та перешкоди, використовується окремий додатковий приймач, антена якого приймає, за рахунок спеціальної діаграми, лише сигнали завад, які у подальшому можна відняти із першого каналу.

Зазвичай, в РЕС здійснюються одночасно декілька різноманітних видів селекції сигналів; загальна селекція стає комбінованою. Відповідно до принципу побудови РЛС, у можуть поєднуватися частотно-часова, просторово-часова, просторово-амплітудна, просторово-частотна або інші види селекції сигналів.

#### **2.2.5. Захист приймача від завад великої інтенсивності**

При дії на приймач РЛС перешкод великої інтенсивності може бути його перенавантаження, коли електронні підсилювальні елементи досягають нелінійних режимів (насичення чи відсікання). Внаслідок такого факту амплітудна характеристика приймача РЛС має зону насичення та зону нечутливості. При перевантаженні, практично, приймач не реагує на зміну амплітуди вхідного сигналу і, як наслідок, втрачає можливість відтворювати корисну інформацію, що передається. Для захисту приймачів РЛС від перевантажень служать спеціальні

схеми автоматичного регулювання посилення (АРП) та каскади із логарифмічним підсилюванням (ЛП).

На використанні інерційності замкненого контуру АРП заснована, саме, пригнічувана дія переривчастої перешкоди у процесі РЕП, що імпульсами з малою шпаруватістю та великою потужністю. Щоб виключити вплив переривчастих перешкод, в сучасних РЛС використовуються системи з малою інерційністю АРП, які зветься швидкодіючі АРП. Необхідно відзначити, що їх не можна застосовувати для РЕС, де корисна інформація полягає у поточній зміні амплітуди вхідного сигналу, наприклад, в кутомірних РЛС з кінчним скануванням діаграми спрямованості.

Типова амплітудна характеристика ЛП при  $U_{\text{вх}} > U_0$  описується виразом  $U_{\text{вих}} = K_{\text{упч}} \ln U_{\text{вх}}$ . Її вид та залежність коефіцієнта ЛП від амплітуди вхідного сигналу показано на рис. 2.4.

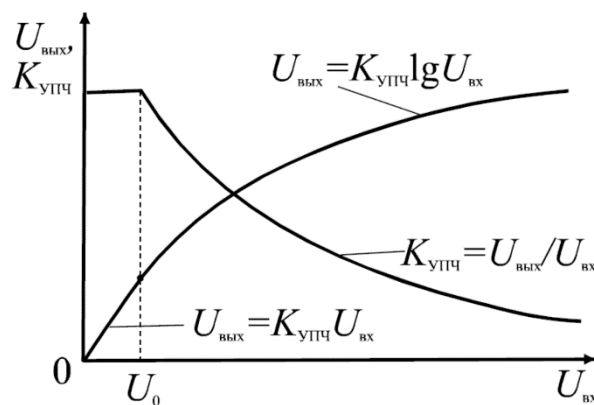


Рис. 2.4. Вид амплітудної характеристики ЛП та залежності коефіцієнта посилення від амплітуди вхідного сигналу

Приблизна лінійна ділянка амплітудної характеристики завжди є, проте вона досить мала ( $0 < U_{\text{вх}} < U_0$ ). Подальша логарифмічна ділянка характеристики ЛП починається з деякого рівня  $U_0$ , який нижчий рівня внутрішніх шумів. Внаслідок логарифмічної характеристики, ЛП має збільшений динамічний діапазон вхідних сигналів, а саме:

$$D_{\text{вх}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вх.макс}}}{U_{\text{вх.0}}},$$

де  $U_{вх.макс}$  – максимальна амплітуда вхідного сигналу, коли реальна амплітудна характеристика ЛП стає близькою до логарифмічної.

Таким чином, при малому рівні  $U_{вх0}$  практично весь амплітудний діапазон припадає на логарифмічний ділянку, в наслідок чого забезпечується великий динамічний діапазон входу ( $>100\text{дБ}$ ), тобто висока стійкість до перевантаження.

З використанням принципу логарифмування застосовується цифровий спеціальний пристрій Лог-МПЧ-Антилог (МПЧ означає – мала постійна часу), який призначений для додаткового придушення значних перешкод від метеоутворень, що залишилися непридушеними після обробки сигналів цифровою системою СРЦ. Наявність таких залишків завод від метеоутворень на виході СРЦ обумовлена, в першу чергу, тим, що метеоутворення повільно рухаються під впливом вітру, крім того відбиті від них сигнали є випадковими, достатньо близькими за характером до шуму. Ось СРЦ і не придушує.

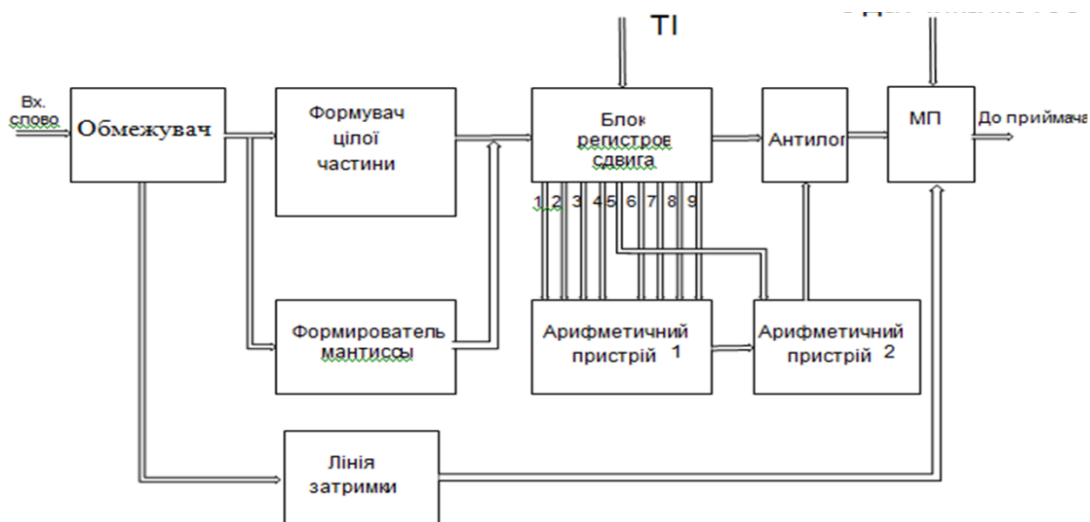


Рис. 2.5. Структура обробки ЛОГ-МПЧ-АнтиЛОГ

До складу пристрою Лог-МПЧ-Антилог входять (рис.2.5): логарифмічний перетворювач кодів (ЛОГ), який реалізується з формувачів цілої частини та мантиси вхідного слова; цифровий ланцюг малої постійної часу (МПЧ) для вилучення постійної складової сигналу від метеоутворень; у подальшому антилогарифмічний перетворювач кодів (Антилог).

ЛОГ-перетворювач здійснює перетворення амплітуди вхідного сигналу  $U_{вх}$  у вихідну  $U_{вих}$  як:

$$U_{вих} = a \cdot \log(1 + bU_{вх}),$$

де  $a$  та  $b$  – спеціальні коефіцієнти пропорційності.

Вихідний сигнал  $U_{вих}$  з ЛОГ відрізняється від шуму наявністю постійної складової, яка є пропорційна до інтенсивності вхідного сигналу  $U_{вх}$ .

Застосування ЛОГ-перетворення призводить до деякого погіршення розрізняваності сигналів цілей на тлі шуму і залишків сигналів від метеоутворень. Тому після пристроїв ЛОГ-МПЧ стоїть пристрій із антилогарифмічною характеристикою (АнтиЛОГ) перетворення, яка забезпечує поліпшення розрізняваності, коли корисний сигнал перевищує рівень перешкод на його вході. АнтиЛОГ перетворює вхідний сигнал  $U_{вх}$  у вихідний  $U_{вих}$  як:

$$U_{вих} = c \cdot \text{antilog}(d \cdot U_{вх}),$$

із спеціальними коефіцієнтами пропорційності  $c$  і  $d$ .

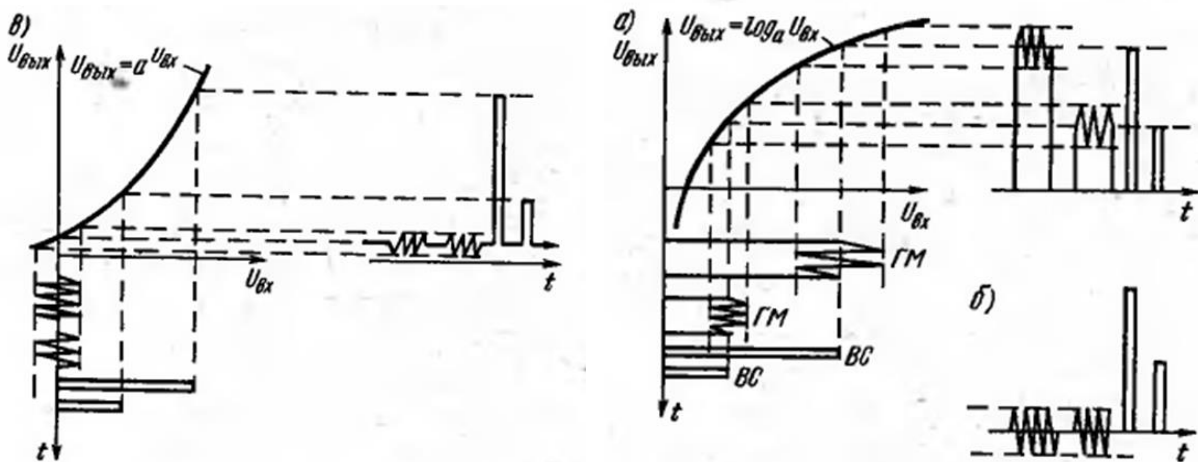


Рис. 2.6. Перетворення сигналів в пристрої ЛОГ-МПЧ-АНТИЛОГ

Вище сказане проілюстровано на рис.2.6, де показано проходження великих й малих за амплітудою сигналів від метеоутворень та цілі через ланцюги логарифмування (а), малої постійної часу (б) і антилогарифм (в).



Ланцюги Лог-МПЧ-Антилог в сучасних РЛС-приймачах виконуються на базі цифрової або мікропроцесорної схемотехніки, зокрема, на програмованих постійних запам'ятовуючих пристроях.

### 2.2.6. Часова селекція сигналів

Часова селекція використовується в імпульсних радіолокаторах, і заснована на відмінності виділених імпульсів від імпульсів перешкод за положенням у часі, або частотою повторення, або тривалістю.

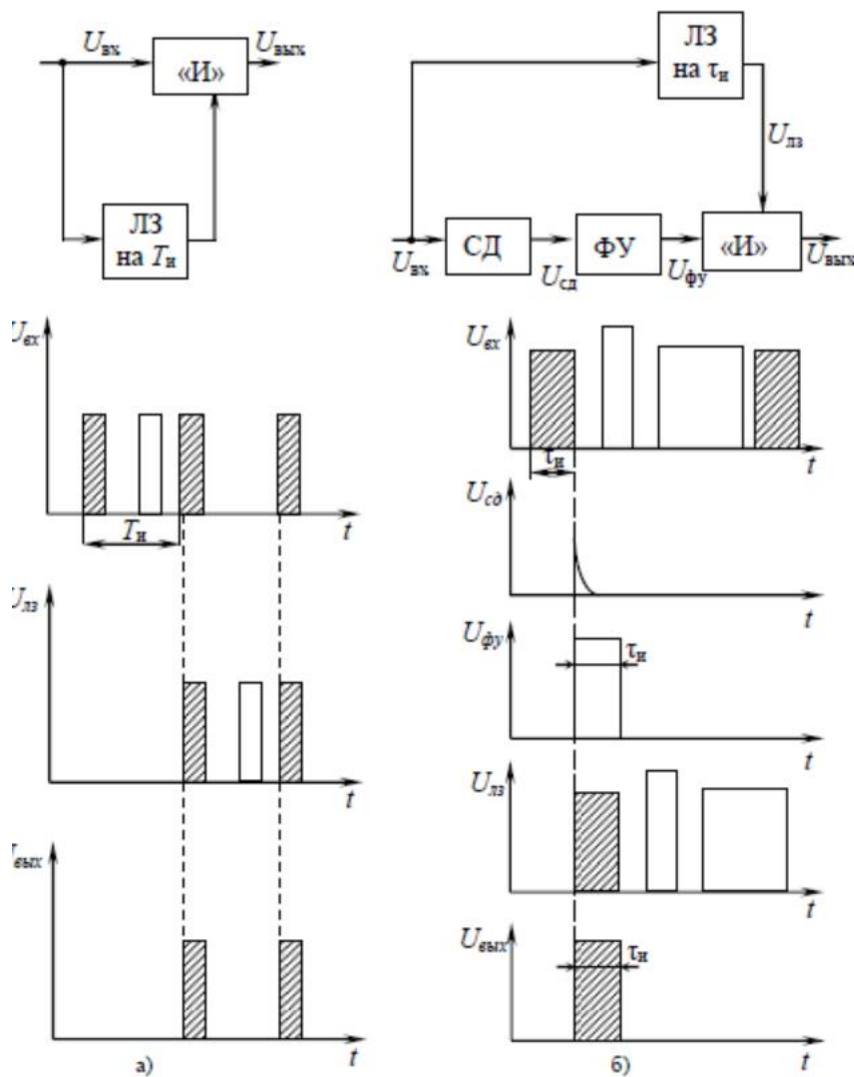


Рис. 2.7. Структурні схеми та часові діаграми, що пояснюють принцип селекції: а) за частотою повторення імпульсів; б) за тривалістю імпульсів

Селекція імпульсів за часом досягається у автоматичних системах, що здійснюють стеження за їхнім часовим положенням. Типовим прикладом є система автоматичного стеження за дальністю (АСД) в імпульсних радіолокаторах. Характерною особливістю АСД є наявність опорних імпульсів, щодо яких

визначається часове положення імпульсів, що селекується. Як результат, до обробки далі не потрапляють імпульсні перешкоди, які не відповідають часу приходу корисних сигналів. Необхідно зазначити, що система АСД крім відкидання несинхронних імпульсних перешкод призводить також до зменшення відношення  $k^*$  при дії безперервних шумових завад.

Для захисту радіолокаторів від впливу хаотичних імпульсних завад (ХІЗ) використовуються схеми селекції за частотою повторення імпульсів. Вони забезпечують прийом й обробку періодичної послідовності вхідних імпульсів із заданим періодом повторення. У селекторах імпульсів за частотою слідування застосовуються схеми збігу («І») та лінії затримки (ЛЗ) на час повторення імпульсів  $T_i$ . Часові діаграми на рис. 2.7 показують, що на вихід схеми збігу проходитимуть лише імпульси, що періодично повторюються (період  $T_i$ ).

Селектор довжини (СД) імпульсів робить виділення імпульсів заданої протяжності (див. рис. 2.7 б). На його виході формується короткий імпульс тільки тоді, коли тривалість вхідного імпульсу, приблизно, дорівнює заданій. З появою цих імпульсів у формуючому пристрої (ФУ) генеруються імпульси стандартної тривалості, які подаються на один вхід схеми «І». На інший вхід схеми "І" подається послідовність імпульсів, що затримана у ЛЗ.

Таким чином, на вихід схеми «І» проходитимуть виключно ті імпульси вхідної послідовності, тривалість яких дорівнює заданій. Наведена схема може бути використана для селекції імпульсних сигналів з постійною та відомою тривалістю.

## **2.3. Метод бінарного накопичування сигналів**

### **2.3.1. Амплітудна селекція**

При первинній амплітудній селекції поділ на корисні та завадові сигнали здійснюється за їх рівнем. Найбільш ефективним цей вид селекції буде, коли є суттєві відмінності у їхніх рівнях. Причому, рівень корисного сигналу відносно рівня завади може бути як вищим, так й нижчим.

Первинна селекція за амплітудою може застосовуватись і при прийомі незперервних чи періодичних корисних сигналів. Тут селекція вже досягається шляхом накопичення, що широко застосовується у виявниках сигналів РЛС.

### 2.3.2. Некогерентні виявлювачі-накопичувачі радіолокаційних цілей

У сучасних РЛС часто використовуються некогерентні імпульси, відповідно, оптимальна обробка таких сигналів іменується некогерентною.

У такій ситуації в радіоканалі приймача (до амплітудного детектора на проміжній частоті) можна як модуль оптимальної обробки використовувати тільки ВЧ-фільтр, узгоджений за полосою частот з одиночним імпульсом.

Що стосується міжперіодної обробки прийнятих сигналів, то вона може бути здійснена тільки за допомогою накопичувача сигналів після фільтрування та амплітудного детектування. Структура такого оптимального некогерентного приймач імпульсів є достатньо типовою і наведена на рис. 2.8.



Рис. 2.8. Узагальнена схема оптимального приймача некогерентної пачки імпульсів

Чутливість некогерентного приймача із накопичуванням поліпшується в  $\sqrt{N}$  раз (де  $N$  – це кількість накопичених імпульсів) у порівнянні з виявленням одиночного імпульсу.

Для подальшої дискретної обробки сигнали перетворюються з безперервної (інакше аналогової) форми в дискретну із застосуванням дискретизації за часом і наступним квантуванні по амплітуді. Найпростіше квантування це, звичайно, двійкове (бінарне): при перевищенні прийнятим сигналом деякого граничного рівня (перший аналоговий поріг) йому приписується рівень “1” та, відповідно, утворюється імпульс; в іншому випадку утворюється “0” – це є процедура виявлення одиночного сигналу.

Далі проводиться рахунок бінарних імпульсів. Якщо з числа очікуваних імпульсів сумарне число одиниць досягає деякого граничного значення  $K_0$  (другий цифровий поріг), то ухвалюється остаточне рішення щодо наявності цілі.

Зазначена особливість виявлювача пачки бінарно квантованих імпульсів полягає в тому, що до порога виявлення пачки  $K_0$ , є ще перший поріг виявлення  $U_0$  бінарних імпульсів. Імовірність перевищення цього порогу одиночним шумовим сигналом позначимо як  $p_u$ , перевищення сумішню сигналу із шумом –  $p_{cu}$ ; відповідно, ймовірності виявлення й хибної тривоги по пачці розраховуються як:

$$D = 1 - (1 - p_u)^N, \quad F = 1 - (1 - p_{cu})^N.$$

Оптимальний поріг  $K_{0opt}$  встановлюється за рівнем  $K_{0opt} = 1.5 \sqrt{N}$ . Зазначимо, що кожному граничному значенню  $K_{0opt}$  є певна ймовірність перевищення порога шумом  $p_u$ .

### 2.3.3. Цифровий виявлювач-накопичувач із «ковзним вікном»

У РЛС кругового огляду пачки імпульсів послідовно формуються в  $N$  останніх періодах зондування у кожному кільці дальності в режимі ковзного вікна шириною  $N$ . Для цього потрібне зберігання по всій дальності імпульсів, отриманих у попередніх  $N - 1$  зондуваннях. Тобто число комірок у регістрі для одного зондування дорівнює  $m = T_n/t$ , де  $t$  – тривалість тактових імпульсів,  $T_n$  – період їх повторення. А загальна їх кількість у виявлювачі потребується у  $N - 1$  разів більшою. Для типового випадку із  $m=1000$  та  $N=32$ , необхідне число гнізд становить 32000, тому доцільним є використовувати матричне запам'ятовування в операційному запам'ятовуючому пристрої (ОЗП). У міру переміщення променя антени РЛС по азимуту збережена інформація у ОЗП повинна обновлюватися.

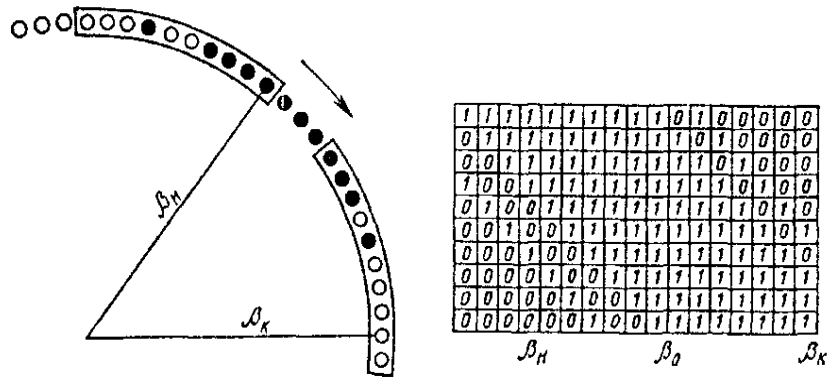


Рис. 2.9. Принцип дії цифрового виявлення з « ковзним вікном»

Рис.2.10 ілюструє принцип виявлення цілі на одній дальності, тобто кільця дальності. Чорні кружки означають фіксацію одиночного сигналу з певного азимутального напрямку на відповідній розгортці за дальністю, а світлі — відсутність там сигналу. У даному прикладі «довжина» ковзного вікна  $N = 10$ . Зміна стану регістрів зсуву ілюструється таблицею. Критерій виявлення цілі обраний 5 із 10.

Положення вікна у напрямку  $\beta_H$  є початковим для виявлення цілі, тому що це перший випадок, при якому у вікні перебуває  $N/2=5$  бінарних сигналів 1. Положення вікна в напрямку  $\beta_K$  є кінцевим для цілі, бо вперше зафіксоване (після початкового), що у вікні перебуває менше  $N/2=5$  сигналів. Остаточно напрямок на ціль вимірюється величиною

$$\beta_0 = (\beta_H + \beta_K) / 2 .$$

#### 2.4. Технічна реалізація стійкого виявлення сигналів на основі сучасних обчислювальних мікросхем

Описаний метод накопичення з ковзним вікном є ефективним засобом боротьби із шумами, з імпульсними несинхронними перешкодами і некомпенсованими залишками від пасивних завад після системи СРЦ. Це впливає з того факту, що сигнал присутності цілі виробляється виключно при накопиченні в суматорі  $N/2$  або

більше сигналів цілі. При цьому імпульс завади, який би він не був у одній точці великий по амплітуді, не має достатньої довжини виявлення за азимутом.

Вдала боротьба із зазначеними завадами сприяє стійкому виявленню цілей на їхньому фоні. Саме такий метод буде покладений в основу реалізації стійкого накопичувача-виявлювача бортового радіолокатора.

Спочатку доцільно подати універсальний пристрій обробки та виявлення сигналів з використанням мікропроцесорів. Його узагальнена структурна схема, що показана на рис.2.10, містить типові структурні блоки:

- аналого-цифровий перетворювач вхідної напруги (АЦП);
- мікропроцесор (МП);
- блок синхронізації (БС) :
- оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) результатів обробки;
- цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) для контрольного індикатора;
- буферний каскад (БК) для збереження результатів поточної обробки та формування цифрових формулярів цілі.

Принцип дії блоку полягає в наступному. Після ВЧ-обробки відбитого радіосигналу з виходу детектора, поточний ехо-сигнал поступає на вхід АЦП. Отриманий цифровий код, за кожним елементом дальності за сигналами синхронізації з виходу АЦП зчитується мікропроцесором (МП), який, саме, здійснює його обробку відповідно до застосованих сучасних стійких методів.

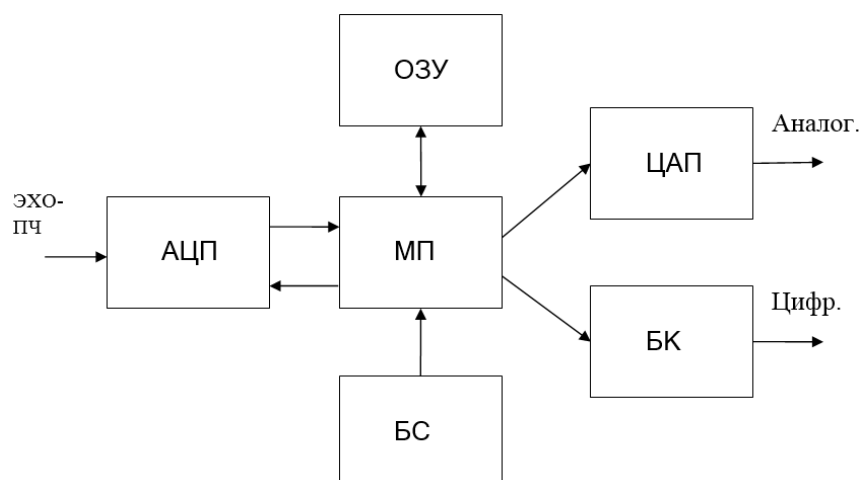


Рис. 2.10. Структурна схема мікропроцесорного блоку обробки

Оброблений у МП сигнал у вигляді цифрового коду подається на вхід ЦАП, на його виході формується аналогова напруга для формування РЛ-зображення на контрольному індикаторі кругового огляду РЛС. Паралельно з цим інформація в цифровому виді видається з МП для подальшої обробки в АПОІ через БК, який застосовують задля електричного узгодження.

При цьому, блок синхронізації (БС) забезпечує загальну часову координацію роботи блоку обробки у складі РЛС; тому структурно він може входити до останньої. У цій схемі БС управляє роботою АЦП, МП, ЦАП та ОЗП. При такому, забезпечується можливість спільного доступу до пам'яті, паралельно з МП, інших пристроїв РЛС.

МП забезпечує внутрішню інформаційну взаємодію усіх складових елементів блоку обробки. Мікропроцесор формує та далі посиляє в АЦП команди на встановлення режиму роботи, параметри перетворення і початку перетворення. По закінченні перетворення в АЦП мікропроцесор зчитує отриманий код, який може бути представлений з АЦП, залежно від типу мікросхеми, в послідовному чи паралельному коді.

Усю поточну обробку сигналів, необхідну в рамках обраних алгоритмів виконує, саме, МП. Високопродуктивні МП надають можливість поєднати в одному й одночасно виконувати усі алгоритми виявлення цілей. МП так само забезпечує обмін даними, у відповідності до протоколів, з АЦП, ОЗП та ЦАП.

Зазначимо, що ОЗП використовують задля збереження поточних цифрових значень, зокрема, відео-сигналів, отриманих на попередніх циклах РЛ-зондування простору.

## **Висновки до розділу 2**

Означені в роботі передові технології стійкого виявлення цілей бортовим радіолокатором, що базується на основних принципах селекції завад, зокрема, поляризаційна, просторова, частотна, фазова, компенсаційна, як і часова.

Зведена таблиця 2.1 систематизує застосування придатних методів для боротьби із навмисними завадами БЕБ.

Вид завади		Пристрої, що придушуються	Можливі способи захисту	
А К Т И В Н І	Маскуючі	Шумові маскуючі	РЛС виявлення, наведення та цільовказівки (ВНЦ). РЛС виявлення ЗРК. Радіолінії інформаційного керування.	<b>Селекції:</b> амплітудна, частотна, фазова, поляризаційна. Просторова селекція та компенсація рознесених завад. Запобігання перевантаженню приймача (швидка АРУ).
	Імітуючі	Синхронні імпульсні	РЛС ВНЦ, РЛС виявлення ЗРК.	<b>Селекції:</b> часова, амплітудна, фазова.
		Несинхронні хаотичні імпульсні	РЛС ВНЦ. Інформаційні командні радіолінії керування.	<b>Селекції:</b> часова, структурна, фазова.
		Завади на частоті сканування	Канал автоматичного супроводження за напрям-ком у РЕС керування зброєю.	Моноімпульсний метод пеленгації
		Переривчаста завада	Канали автоматичного супроводження за напрям-ком, дальністю, швидкістю у РЕС керування зброєю.	<b>Селекції:</b> часова, частотна, фазова, поляризаційна. Запобігання перевантаження приймача (швидка АРУ). Екстраполяція координат цілі.
		Завада на кросполяризації	Канал автоматичного супроводження за напрямком у РЕС керування зброєю.	Селекції: поляризаційна, фазова.
		Шумові імітуючі	РЛС ВНЦ, РЛС виявлення ЗРК. Радіолінії інформаційного керування.	<b>Селекції:</b> амплітудна, частотна, фазова, поляризаційна. Просторова селекція та компенсація рознесених завад.



Вид завади		Пристрої, що придушуються	Можливі способи захисту
			Запобігання перевантаження приймача (швидка АРУ).
	Завада типу 'антипод'	Канал автоматичного супроводження за напрям-ком у РЕС керування зброєю.	Селекції: просторова, фазова. Компенсація радіозавад
	Мерехтлива завада	Канал автоматичного супроводження за напрям-ком у РЕС керування зброєю.	Селекція просторова. Кутове стробування. Екстраполяція координат цілі.
	Відводить по дальності	Автоматичне супроводження за дальністю та напрямком у РЕС керування зброєю.	<b>Селекції: амплітудна,</b> фазова. Екстраполяція координат цілі.
	Відводить по швидкості	Автоматичне супроводження за швидкістю і напрямом у РЕС керування зброєю.	Селекція фазова. Екстраполяція координат цілі.
П А С И В Н І	Маскуючі	Неперервна полоса дипольних відбивачів	РЛС ВНЦ. РЛС виявлення ЗРК. РЛС виявлення ІА.
	Імітуючі	Дискретна хмара дипольних відбивачів	РЕС керування зброєю.
		Кутові та лінзові відбивачі	Панорамні РЛС. РЕС керування зброєю.
			Селекція рухомих цілей: частотна у разі неперервного або черезперіодна компенсація у разі імпульсних сигналів.
			Селекції: просторова, фазова, поляризаційна. Селекція рухомих цілей.
			Селекції: просторова, поляризаційна.

В роботі показано, що стійке виявлення цілей доцільно здійснювати саме у некогерентному виявлювачі-накопичувачі бінарних сигналів за так званим принципом «ковзного вікна», технічна реалізація якого будується на застосуванні сучасних мікропроцесорах.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СТІЙКОГО ВИЯВЛЮВАЧА КОРИСНИХ СИГНАЛІВ

#### 3.1. Розробка вимог до стійкого виявлювача сигналів

Розглянемо загальні вимоги до виявлювачів

У даній роботі розглянемо можливість покращення ефективності виявлення радіолокаційних цілей сучасних бортових радіолокаторів на тлі завад використовуючи відомі процедури цифрової первинної обробки, які реалізують за рахунок мікропроцесорів. Запропонована модернізація дає змогу значно поліпшити якісно інформацію для пілота, яка подається на штатні ІКО, що надає можливості до подальшої модернізації як і вдосконалення системи радіолокаційного контролю повітряного простору. Це досягається завдяки наступній цифровій обробці даних на етапі вторинної обробки радіолокаційної інформації [5, 7].

Зазначимо, що до сучасних виявлювачів сигналів, зокрема прийнятого до розробки, зараз пред'являють ряд вимог, що стосуються їх експлуатаційних і технічних аспектів. Грунтуючись на завданні магістерської роботи, цей виявлювач будемо розробляти для бортової РЛС. Загальними вимоги до запропонованого цифрового виявлювача є наступні:

- для всіх алгоритмічних процедур забезпечується схемна мінімізація;
- розробка відбувається на базі виключно сучасних мікропроцесорів;
- проектування методологічно проводиться за умов апріорної невизначеності параметрів перешкод;
- блок синхронізації цифрового виявлювача сигналів, який розробляється в роботі забезпечується синхронізація роботи РЛС.

Розглянемо потрібні вимоги до функціональності виявлювача:

- процедура обробки за дальністю має забезпечити стабілізацію ІХТ для випадків різних за рівнем потужності шумоподібних перешкод;
- послідовні процедури обробки прийнятих локаційних сигналів за дальністю та за азимутом забезпечують виділення цілей;

– на заключному етапі процедура обробки за азимутом має виконувати вимірювання значень азимуту та дальності кожної з цілей і також формувати потрібний цифровий формат.

Наступник кроком визначемо основні вимоги до технічним характеристикам:

- розрядність та частота дискретизації АЦП відповідно –10; 6 МГц;
- на цифровому виході амплітуда сигналу сягає 2 – 4 В;
- вхідний сигнал – відео з детектора із частотою до 3 МГц;
- кількість елементів азимута в ковзному вікні складає 32, а відповідно для дальності в ковзному вікні – 7;
- для 1-го циклу зондування кількість елементів дальності – 1000;
- зовнішня напруга живлення, не має перевищувати 5 В.

### **Інформаційне сполучення виявлювача сигналів з РЛС**

Відомо, що виявлювач сигналів є, зазвичай, складовою частиною радіолокатора. У цій роботі пропонується обробка відеосигналу, що поступає на блок обробки за дальністю виявлювача з одного із детекторів РЛС. Тут маємо два випадки – це може бути приймач пасивного каналу, або ж СРЦ, як це представлено нижче на структурній схемі (рис. 3.1) інформаційного сполучення обраного цифрового виявлювача із РЛС

Звернемо увагу, що оброблена радіолокаційна інформація виявлювача на його виході представлена у формі цифрових формулярів даних, і окремо для кожної виявленої повітряній цілі. У кожному такому формулярі, як мінімум, обов'язково вказують такі координати цілі: азимут та дальність. І саме тому 2-ю функцією цифрового виявлювача сигналів є, звичайно, вимірювання зазначених координат цілі.

Через те, що координата азимута окреслюється виключно просторовим положенням антени РЛС, то відповідно для її обчислення на виявлювач постійно і безупинно подають синусні та косинусні складові поточного азимутального напрямку антени, крім того додатково також подають імпульси кутових міток.

Таким чином саме за функцією обчислення азимуту цілі виявлювач є відомим по відношенню до устаткування РЛС [2, 5].

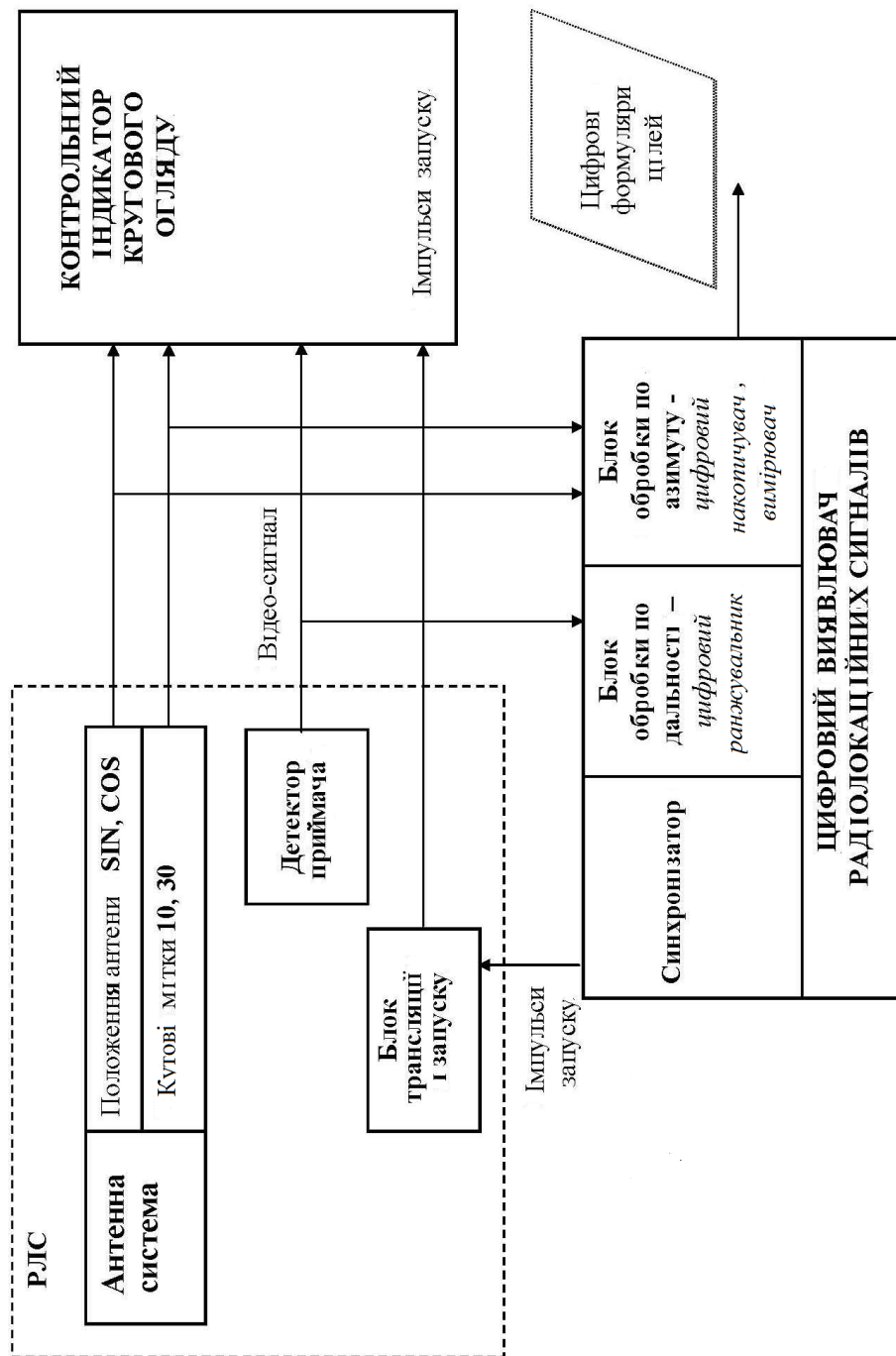


Рис. 3.1. Схема інформаційного спряження цифрового виявлювача з РЛС

Доцільним є часову синхронізацію роботи РЛС забезпечувати безпосередньо від запропонованого цифрового виявлювача, що є його третьою функцією, бо вимірювання дальності відбувається за різницею часу запізнювання відбитих сигналів відносно імпульсів зондування.

Як показано в роботах [3,6] така процедура набагато підвищує стійкість процесу виявлення загалом. Зазначимо, що імпульси запуску формуються у синхронізаторі, а вже потім поступають на блок трансляції та запуску РЛС.

Також представлено на схемі й індикатор огляду РЛС, на який поступає аналоговий радіолокаційний відео-сигнал. Відмітимо, що ступінь придушення завад цифровим виявлювачем сигналів можна оцінити за зображенням на цьому індикаторі.

Структурну схему цифрового виявлювача бортового радіолокатора представлено на рис. 3.2, який складається із 3-ох блоків, а саме синхронізатора; блоків обробки відповідно за азимутом і дальністю.

### **3.2. Структурна схема виявлювача сигналів**

Розглянемо синхронізатор, який забезпечує безперервну генерацію потрібних серій синхроімпульсів для одночасної часової синхронізації роботи цифрового як радіолокатора так і виявлювача сигналів. Він складається з таких функціональних модулів як генератор тактових імпульсів; формувача імпульсів для запуску та модуля синхросигналів;

Генератор тактових імпульсів задає час для цифрового виявлювача сигналів загалом. Сигнали цього генератора в модулі синхросигналів формуються послідовності імпульсів, які потрібні для визначення послідовності виконання всіх процедур обробки цифрових даних у цифровому виявлювачі. Також в ньому продукуються сигнали, які потрібні для формування імпульси. Останні далі запускають радіолокатор з однієї з потрібних частот для зондування простору і мають визначену тривалість.

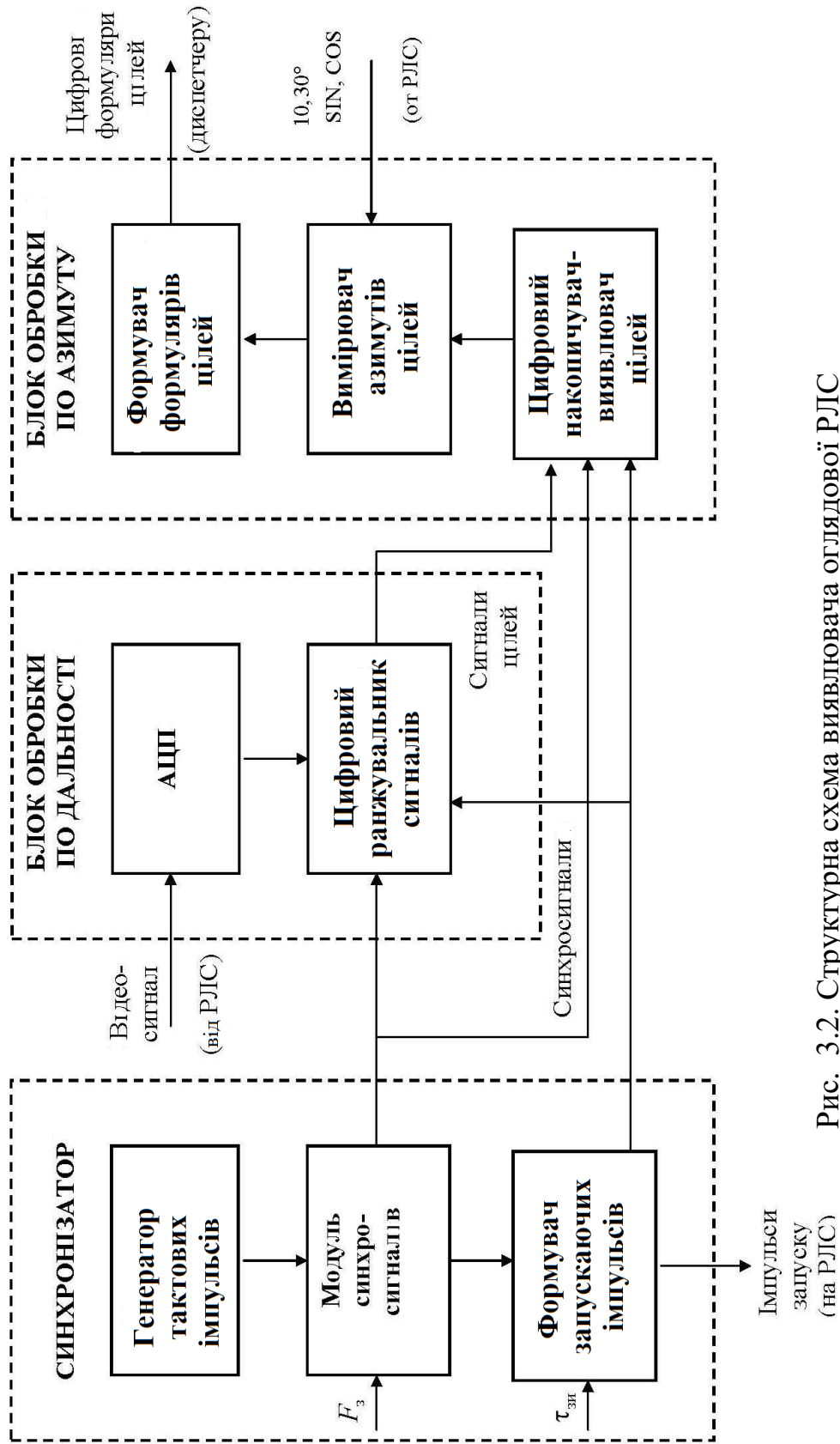


Рис. 3.2. Структурна схема виявлювача оглядової РЛС

Як результат всі інші внутрішні синхросигнали РЛС теж будуть синхронними з імпульсами запуску синхронізатора [2, 5], зокрема імпульси запуску блоку ІКО.

Відмітимо, що в модулі синхросигналів імпульсів встановлюють значення частоти запуску, а тривалості зондувальних імпульсів встановлюють вже у формувачі запускаючих імпульсів. Блок обробки за дальністю дає змогу забезпечити в рамках одного зондування простору послідовну за дальністю цифрову обробку отриманих відбитих радіолокаційних сигналів. Цей блок, в свою чергу, складається із 2-ох модулів, а саме 10-ти розрядного АЦП, ефективними з них є лише вісім старших розрядів; цифрового ранжувальника сигналів з ковзним вікном, що має розмір сіми відліків відео-сигналу.

На рис. 3.3 цієї роботи наведено часову діаграму циклу обробки за дальністю, але у загальному вигляді. Основна мета обробки за дальністю полягає у стабілізації ймовірності хибних тривог виявлення для умов мінливого рівня потужності завад, зокрема вони можуть бути внутрішньопримачевими або ж зовнішніми. Така стабілізація забезпечується завдяки ранжувальнику сигналів, на вхід якого постувають 8-розрядні цифрові коди, які надходять вже після АЦП-перетворення аналогового відео-сигналу.

Період аналогово-цифрового перетворення зазвичай залежить від тривалості імпульсу зондування  $\tau_{зи}$  і, як правило, становить 0,5-1,0 від зазначеної тривалості [2]. Такий період визначає тривалість елементів дальності, на які фактично розбивається весь простір у поточному напрямку антени. Відмітимо, що кожному елементу дальності відповідає виключно один єдиний дискретний код з виходу АЦП. Далі вихідний сигнал цифрового ранжировщика формується з наступної умови: один сигнал використовують лише для одного елемента дальності. Цей сигнал є бінарним і встановлює значення “1”, за умови, що відбитий сигнал буде виявлено, а значення “0”, за умови, що сигнал не виявлено.

Блок обробки за азимутом буде забезпечувати в рамках зазначеного сектору простору послідовну за дальністю цифрову обробку пачок відбитих радіолокаційних сигналів, які були прийняті. Блок містить такі основні складові, як цифровий

накопичувач-виявлювач цілей; вимірювач азимуту цілей, а також формувач цифрових формулярів цілей [3].

Відмітимо, що призначенням процедур обробки за азимутом є виявлення радіолокаційних цілей на базі збережених пачек бінарних вихідних сигналів цифрового ранжувальника, що поступають на вхід цифрового накопичувача-виявлювача, а також базпосередньо вимірювання азимутальних координат вже виявлених цілей. Через те, що стабілізація ймовірності неправильної тривоги раніше вже була виконана у цифровому ранжувальнику, то завдяки цьому буде забезпечено стабілізацію ймовірності неправильного виявлення цілей у блоці цифрового накопичувача-виявлювача цілей. Принцип роботи зазначеного блоку обробки за азимутом – це накопичення, і подальше виявлення та вимірювання. Роботу блоку детально описано у наступних розділах цієї роботи.

З вищезазначеного випливає, що цілісним алгоритмічним модулем обробки прийнятого радіолокаційного сигналу є алгоритм обробки одного елемента дальності, який зображено на рис. 3.4. В цьому алгоритмі робочий цикл за дальністю послідовності процедур обробки елементів дальності починається кожного разу з етапу очікування чергового  $i$ -го ЗІ. Зазначемо, що кожний робочий цикл обробляє радіолокаційний сигнал лише для одного значення азимута. При появі цього ЗІ всі потрібні параметри цифрового виявлювача переустановлюються для процедури обробки початкового елемента дальності та нового, тобто поточного азимута [3]. При цьому, лічильник елементів (адрес) дальності скидається у свій первинний стан “0”. Обробка за другим елементом дальності відбувається коли чергове дискретне значення АЦП з'являється, і так самовідбувається за всією дальністю дії РЛС до останнього елемента дальності; потім процедура зупиняється і чекає на наступний  $i+1$ -ий ЗІ.

В алгоритмі обробки одного елемента дальності поєднуються операції цифрового накопичувача-виявлювача цілей та цифрового ранжувальника сигналу.



## ЦИКЛ ОБРОБКИ ПО ДАЛЬНОСТІ (один азимут)

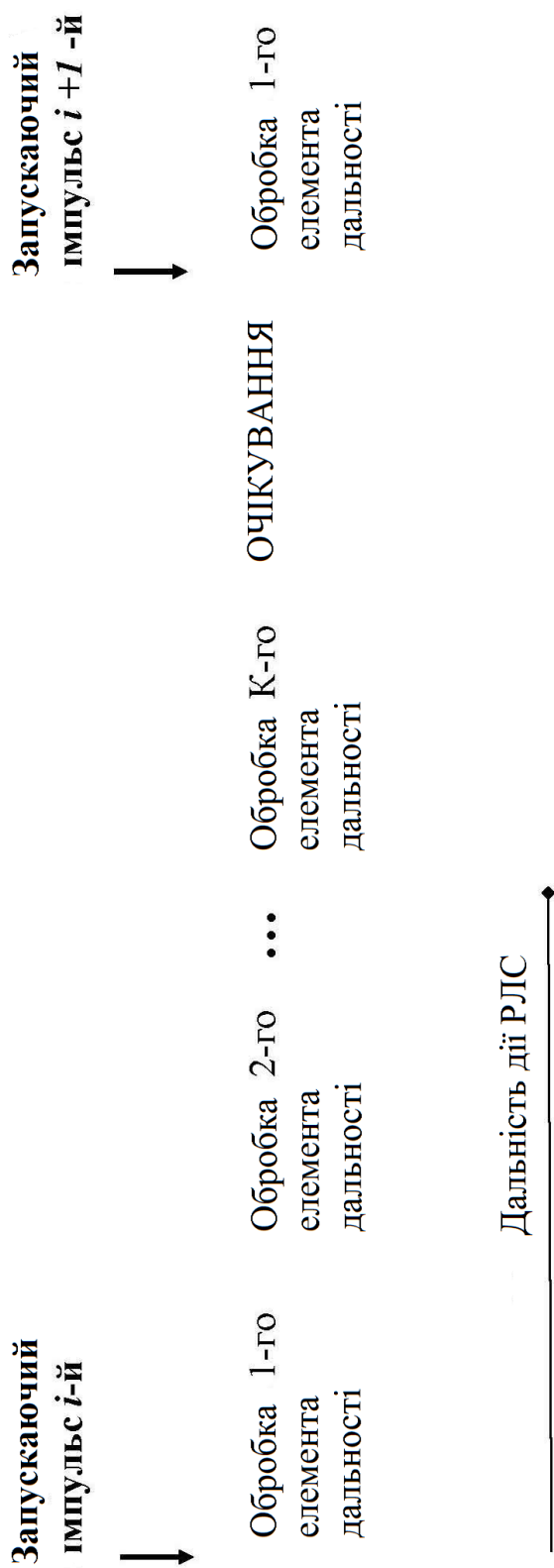


Рис. 3.3. Часова діаграма циклу обробки по дальності

На часовій діаграмі операції, які потребують часової синхронізації, тобто тактування  $t_i$ , зазначемо, що операції без такого позначення обов'язково мають бути завершені до наступного такту.

Розглянемо послідовність операцій, які відбуваються у цифровому ранжувальнику:

$t1$  – це перетворення в блоці АЦП;

$t2$  – запис значення поточного відліку сигналу для режиму ковзного вікна;

$t3$  – подальше обчислення рангу центрального відліку і на його підставі прийняття рішення щодо перевищення порогу ранга.

Далі послідовно потрібно виконати операції в цифровому накопичувачі-виявлювачі цілей, а саме:

$t4$  – збільшення номера елемента дальності лічильника на один;

$t5$  – читання попередньої пачки, які поступають з ОЗП;

$t6$  – підсумовування такої поточної пачки бінарних сигналів, а також і прийняття рішення щодо цілі – виявлення;

$t7$  – вимірювання координат цілі, а також і збереження у блоці ОЗП поточної пачки бінарних сигналів (для режиму ковзного вікна).

Формування потрібних для цієї процедури часових імпульсів  $t_i$  відбувається у модулі синхросигналів блоку синхронізації. Так як цифровий виявлювач сигналів працює у циклічному режимі, то точка початку алгоритму обробки 1-го елемента дальності можна розуміти як місце входу в алгоритм при включенні локатору.

## ЧАСОВА ДІАГРАМА АЛГОРИТМУ ОБРОБКИ ЕЛЕМЕНТУ ДАЛЬНОСТІ

### ОБРОБКА В ЦИФРОВОМУ РАНЖУВАЛЬНИКУ

$t_1$  – перетворення в АЦП

$t_2$  – запис поточного відліку сигналу в ранжувальник в режимі ковзного вікна

$t_3$  – обчислення рангу центрального відліку

– прийняття рішення про перевищення порогу

### ОБРОБКА В ЦИФРОВОМУ НАКОПИЧУВАЧІ-ВИЯВЛЮВАЧІ

$t_4$  – збільшення лічильника (номера) елемента дальності +1

$t_5$  – читання попередньої пачки з ОЗП

$t_6$  – збереження поточної пачки в буферному регістрі

– сумування поточної пачки бінарних сигналів

– прийняття рішення про ціль – виявлення

$t_7$  – збереження в ОЗП пачки бінарних сигналів

– зміна координат цілі

Рис. 3.4. Алгоритм обробки одного елемента дальності

### 3.3. Розробка функціональної схеми цифрового накопичувача-виявлювача цілей

**Загальний принцип дії.** Запропонований у роботі цифровий виявлювач радіолокаційних цілей працює відповідно до принципу накопичення радіолокаційних сигналів у наявному ковзному вікні. Вхідними даними для нього послугує послідовність бінарних імпульсів, що продукуються у пристрої стабілізації ймовірності хибної тривоги (СІХТ), тобто блоці ранжування.

Треба відмітити, що алгоритм роботи виявлювача цілей, який застосовано в роботі, ґрунтується на загальносистемних сигналах синхронізації РЛС [3]. Крім того, з точки зору забезпечення стійкої взаємодії всієї апаратури первинної обробки інформації, до складу якої саме і належить виявлювач, в РЛС доцільними є формування потрібних синхросигналів, зокрема, у виявлячі та далі їх обробляти в інших модулях РЛС. Такими сигналами будуть сигнали синхронізації ЗІ, по яким провадять випромінювання СВЧ зондувального імпульсу, далі буде серія рівновіддалених імпульсів ( $K_{di}$ ) між імпульсами запуску, і таким чином маємо розбиття всього періоду локації на так звані кільця дальності. Тривалість зазначених кілець дальності зазвичай обирають приблизно у 2 рази меншою за тривалістю імпульсу випромінювання. Саме це дає змогу розділити обробку сигналів для близькорозташованих цілей, що містяться на одній прямій по відношенню до РЛС.

Часова діаграма роботи накопичувача представлена нижче на рис. 3.5.

Її аналіз показує, що увесь період зондування між 2-ма ЗІ має дві досить характерні ділянки: по-перше, це період локації, де в режимі реального часу мають відбуватися процедури приймання та оброблення радіолокаційної інформації, по-друге, це так званий захисний період, що є необхідним задля запобігання можливому влученню відбитих сигналів від далеких значно більших цілей, які були сформовані від попереднього СВЧ-імпульсу.

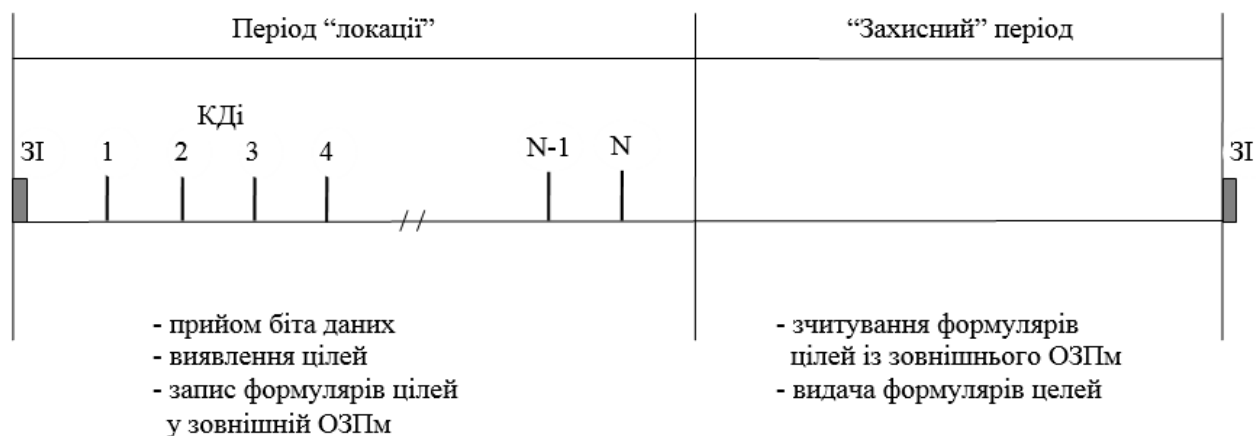


Рис. 3.5. Часова діаграма роботи виявлювача

Застосування цього захисного періоду задля обміну виявлювача цілей із пристроями-споживачами радіолокаційної інформації дає змогу цілковито відокремити цей процес від процесу оброблення реальних сигналів, що потребує досить високої швидкодії апаратних засобів.

Алгоритм роботи обраного виявлювача впродовж всього періоду етапу зондування зображено нижче на рис. 3.6.

На самому початку роботи, з появою імпульсу запуску, відбуваються потрібні початкові установки, головними з яких є два, а саме скидання покажчика кілець дальності та ініціалізація режиму запису у зовнішній мікросхемі пам'яті (ОЗПМ).

Наступна процедура полягає у послідовно здійснюваній обробці інформації окремо в кожному з кілець дальності (далі буде пояснено його принцип обробки). У разі виявлення цілей для кожної з них буде сформовано спеціальний формуляр, де містяться значення дальності та азимуту кожної цілі. Такі формуляри по мірі їх появи записуються в зовнішній ОЗП, зазначено, що режим цього запису підтримується протягом усього періоду локації. Потім є можливість використання цих формулярів для оброблення в бортовій електронно-обчислювальній блоці для потрібних задач пілотування.

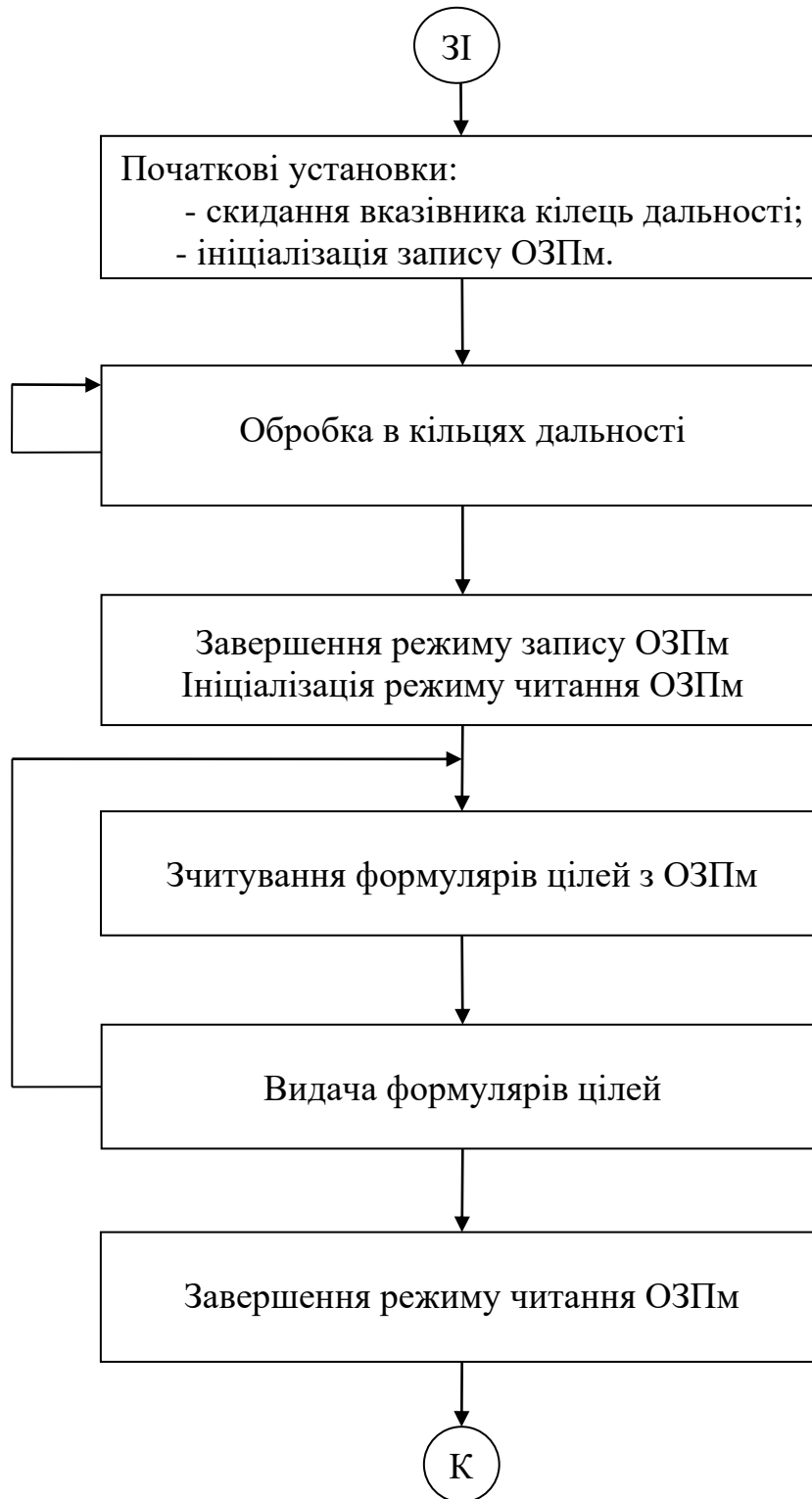


Рис. 3.6. Алгоритм роботи на періоді зондування

Після процедури обробки в останньому за дальністю кільці період локації можна вважати закінченим, а зовнішнє ОЗПМ переходить у так званий режим читання. Далі відбувається видача формулярів цілей споживачеві: на початку

мікропроцесор зчитує інформацію від зовнішнього ОЗПМ, а далі відбувається переча у потрібному форматі для споживачів. Після завершення передачі всіх формулярів закінчується і режим читання зовнішнього ОЗПМ, далі виявлювач переходить у стан очікування чергового імпульсу запуску.

**Функціональна схема виявлювача-накопичувача**, яка реалізує описаний вище алгоритм, запропонована на рис. 3.7. Виявлювач-накопичувач має мікросхему зовнішнього ОЗПМ з послідовним інтерфейсом обміну даними, 2 мікропроцесори, ЦАП та вхідний буферний каскад (БК), а також шинні формувачі.

Зазначимо, що 1-ий мікропроцесор потрібен задля генерації загальних сигналів синхронізації РЛС, а саме імпульсів запуску, та граничних сигналів для кілець дальності. Такі сигнали керують часовим режимом роботи процесора-А, одночасно з цим через шинні формувачі подаються сигнали для зовнішніх пристроїв.

При цьому мікропроцесор-А провадить усі потрібні обчислювальні операції та забезпечує обмін даними з іншими пристроями схеми. Вхідний сигнал (Y) через буферний каскад передається з пристрою стабілізації хибної тривоги, що провадить оброблення відео-реалізації радіолокаційних сигналів у режимі реального часу з бінарним квантуванням. Іншими словами сигнал Y є послідовністю імпульсів, при цьому по одному для кожного кільця дальності, таким чином що “1” відображує наявність відбиття від цілі, а код “0” відображує його відсутність. Зазначемо, що розробка пристрою СІХТ не входить у завдання магістерської роботи.

Зазначені вище цифрові формуляри виявлених цілей, які було створено мікропроцесором послідовним кодом, далі сигнали передаються та зберігаються у блоці ОЗПМ; керування таким процесом забезпечується завдяки мікропроцесору-А, який подає тактові імпульси (TI) на ОЗПМ для кожного біту інформації. Через цей самий канал відбувається установка режимів читання або ж запису з мікросхеми ОЗП.

Наявнв формуляри виявлених цілей, що були збережені в блоці ОЗП, зчитуються мікропроцесором-А та передаються далі через шинний формувач для подальшого застосування. Відсутність спеціального сигналу підтвердження від

споживача зазначеного байту сигналізує, що для останнього сигнал готовності має бути зовнішнім перериванням, завдяки цьому процедура зчитування байта буде відбуватися швидко.

Також у виявлювачі є можливість формування аналогового сигналу цілей, що може бути застосовано безпосередньо задля формування так званого “живого” радіолокаційного зображення на індикаторі.

Це відбувається завдяки ЦАП. Додатково передбачено, що цифровий код, який поступає на цифро-аналоговий перетворювач, виводиться також і через шинний формувач; а зміна такого коду буде зафіксована окремим сигналом “готовий”.

Представлення вихідних сигналів виявлювача у вигляді паралельного коду (8-біт) потрібно задля зменшення частоти обміну із зовнішніми пристроями апаратури первинної обробки інформації. А в межах плати компенсатора є допустимим обмін (між ОЗПМ та мікропроцесором) через одну інформаційну шину на підвищеній частоті. Водночас, такий обмін послідовним кодом дає змогу використання мікропроцесору та мікросхеми ОЗПМ зі набагато меншою кількістю ніжок. Як відомо саме такі мікросхеми мають меншу собівартість; а також і суттєво зменшують габарити плати.

Зазначимо, що вхідний буферний каскад та однобітні вихідні шинні формувачі послуговують задля розв'язки, тобто, для захисту входу та виходів мікропроцесора-А від зовнішніх цифрових пристроїв. Бо вони є більш стійкими до перепадів зовнішніх напруг.

Відміченою характерною рисою технічної реалізації виявлювача, з точки зору зменшення вартості розробки, є застосування порівняно простих мікропроцесорів, що мають всі необхідні для процедури обробки обчислювальні ресурси та обсяг внутрішнього ОЗП.



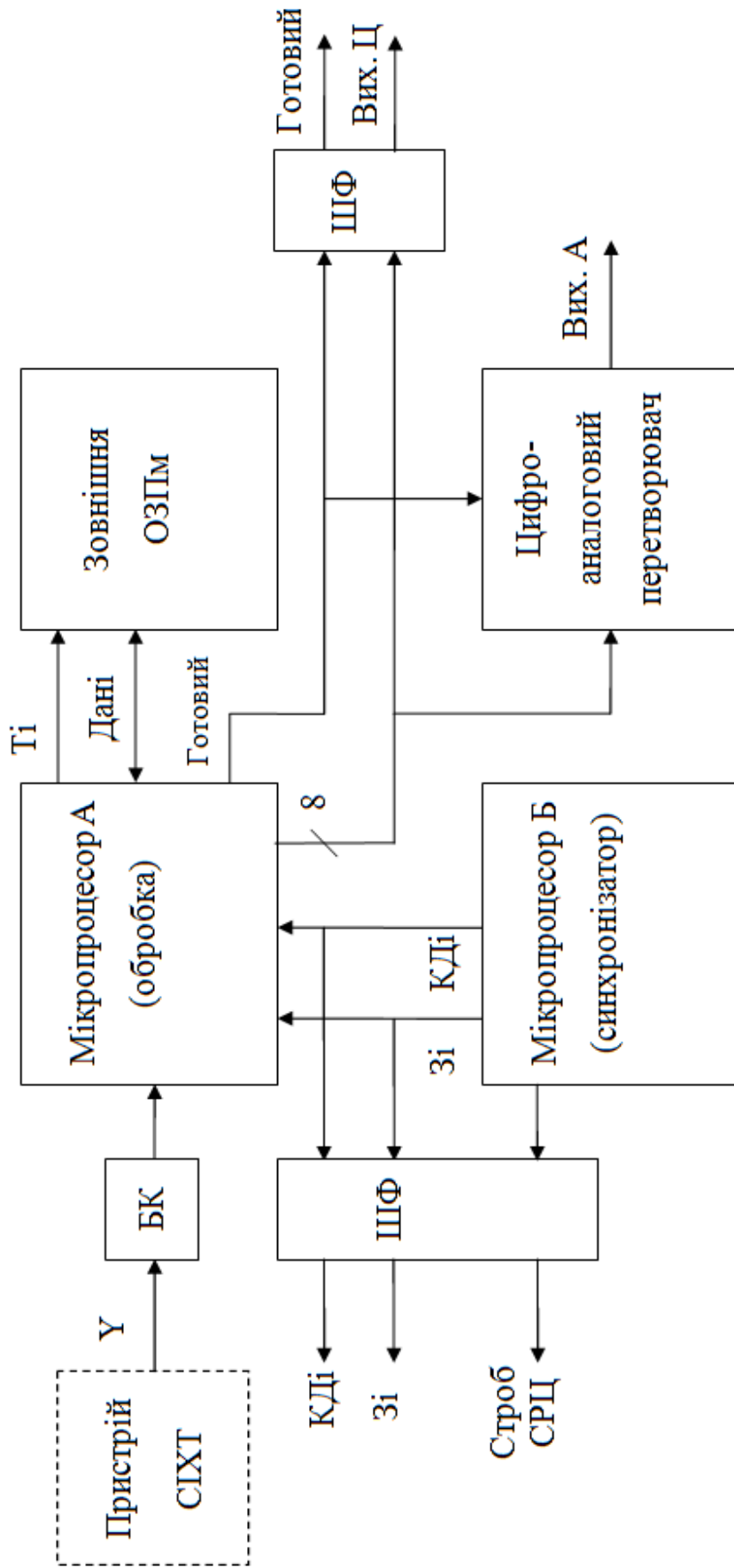


Рис. 3.7. Функціональна схема накопичувача-виявлювача (обробка за азимутом)

Застосування у роботі зовнішнього ОЗПМ, в якості інформаційного буфера, дає змогу також розділити в часі процедури обробки даних у виявлювачі та сам процес передачі даних далі до зовнішніх пристроїв. Хоча відмітимо, що ОЗПМ з послідовним інтерфейсом досить суттєво зменшує швидкість обміну даними з мікропроцесором, що не дає змогу використовувати таке ОЗПМ задля оперативного зберігання вхідних даних усіх попередніх періодів зондування. Такі дані мають зберігатися у мікропроцесорі, що тут буде принциповим для вибору типу мікропроцесора.

Масив слів кілець дальності

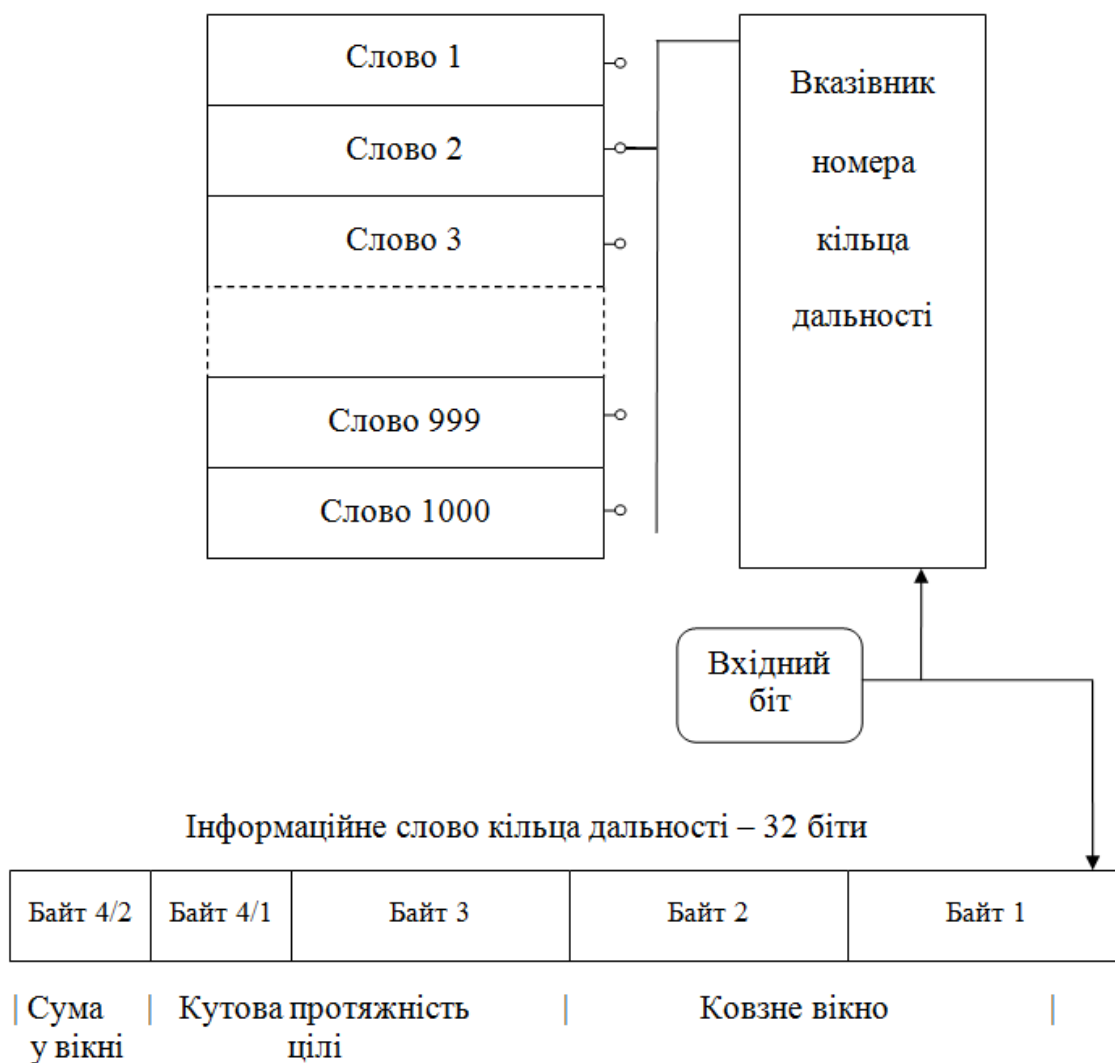


Рис. 3.8. Конфігурація ОЗП мікропроцесору

Конфігурація ОЗП процесора (ОЗПП), яка є необхідною для функціонування виявлювача цілей представлена нижче на рис. 3.8. Складається вона з окремих 4-х байтових слів, а кожне з них потрібно для обслуговування виключно свого кільця дальності. В цій роботі встановлюємо їх 1000 штук. Програмне підключення необхідного слова відбувається завдяки покажчику номера кільця дальності відразу ж після появи чергового граничного імпульсу зазначених кілець дальності. Одночасно відповідним чином буде змінюватися і напрямок виривання вхідного біту.

В нижній частині рис. 3.8 розміщена структура інформаційного слова кільця дальності. Вона базується на певному типі мікропроцесорів, які мають щонайменше 4 Кбайт внутрішнього ОЗП.

Ковзне вікно організовуємо на базі байтів 1 та 2. В цьому вікні зберігають вхідні біти попередніх 16-ти періодів зондування, що були отримані для певного кільця дальності. Іншими словами, при появі нового біту відбуваються такі модифікації, а саме всі біти ковзного вікна переміщуються ліворуч на один крок, так що випадає самий давній біт, який був тимчасово збережено в буферному прапорі. Тоді як у крайній правий розряд записується вхідний біт. Третій байт, як і три розряди байта 4/1, які є 11-ти розряднимм слово, призначені задля зберігання кутової довжини цілі в періодах зондування, а максимальне її значення при цьому буде становити 2047 одиниць. Звернемо увагу, що задля зберігання поточної суми одиниць у цьому ковзному вікні призначено 5 старших розрядів байта 4/2, тобто максимальне збережене число – 31.

### **Процедури обробки в виявлювачі-накопичувачі**

Процес руху ковзного вікна, що був описаний вище, і як результат маємо виділені для обробки 17 біт. Наступною ж операцією формально повинно бути обчислення суми одиниць у зазначеному вікні, але більш доцільним для прискорення обчислень використаємо суттєво інший принцип, який буде розглянуто нижче.

Часова діаграма виявлення пачки сигналів, яка є демонстрацією загального процесу виявлення цілі в одному кільці дальності зображена нижче на рис. 3.9.

Водночас, часову вісь абсцис сформує послідовність моментів появи вхідних бінарних сигналів  $Y_{i,k}$ , які дорівнюють нулю або ж одиниці, але виключно в одному  $i$ -му кільці дальності. При цьому умовно припускаємо, що чотири перші та один останній бінарний сигнали будуть утворені лише шумом, а всі інші утворені відбиттям від цілі в ході її опромінення антеною.

Тепер розглянемо процес виявлення. Зображене у крайньому лівому положенні ковзне вікно охоплює 17 дискретних позицій на осі абсцис та має 7 одиниць вхідного сигналу, таким чином маємо, що сума у вікні  $S_1 = 7$ . Зазвичай момент виявлення цілі ковзним вікном прив'язують до середнього його біта (на рисунку відмічено трикутником), у представленому випадку це дев'ятий. Прочерки в представлений таблиці означають невідомість сум, так, як у представленому варіанті показана обмежена реалізація вхідного сигналу. При функціонуванні локатора таких прочерків не буде, бо вхідні сигнали надходять та самі процеси виявлення відбуваються циклічно-безупинно синхронно з обертанням антени.

Для прикладу уявимо, що сума в цьому вікні якимось чином була отримана. Зокрема, це може бути звичайне підсумовування у початковому вікні після запуску РЛС. Тоді при зсуві вікна праворуч на одну позицію із суми віднімається сигнал, який стоїть ліворуч, так що  $\hat{y}_{17}$  губиться, а натомість додається новий вхідний сигнал  $\hat{y}_0$ . Для розглянутого в роботі варіанту маємо  $\hat{y}_{17} = 0$ ,  $\hat{y}_0 = 1$ , і як результат отримуємо нове значення суми  $S_{17} = 8$ . Відмітимо, що аналогічним чином операція при кожному зсуві вікна буде повторюватися.

В наслідок того, що розмір області пам'яті (байт 1 та 2 слова) на один розряд менше за кількість оброблюваних імпульсів, процедура визначення суми буде трохи модифікована. Зокрема, у напівбайті 4/2 зберігається сума, так що  $S_{16}$  зберігають лише попередні 16-ть розрядів. При надходженні нового вхідного сигналу  $\hat{y}_0$  обчислюється сума як  $S_{17} = S_{16} + \hat{y}_0$ .

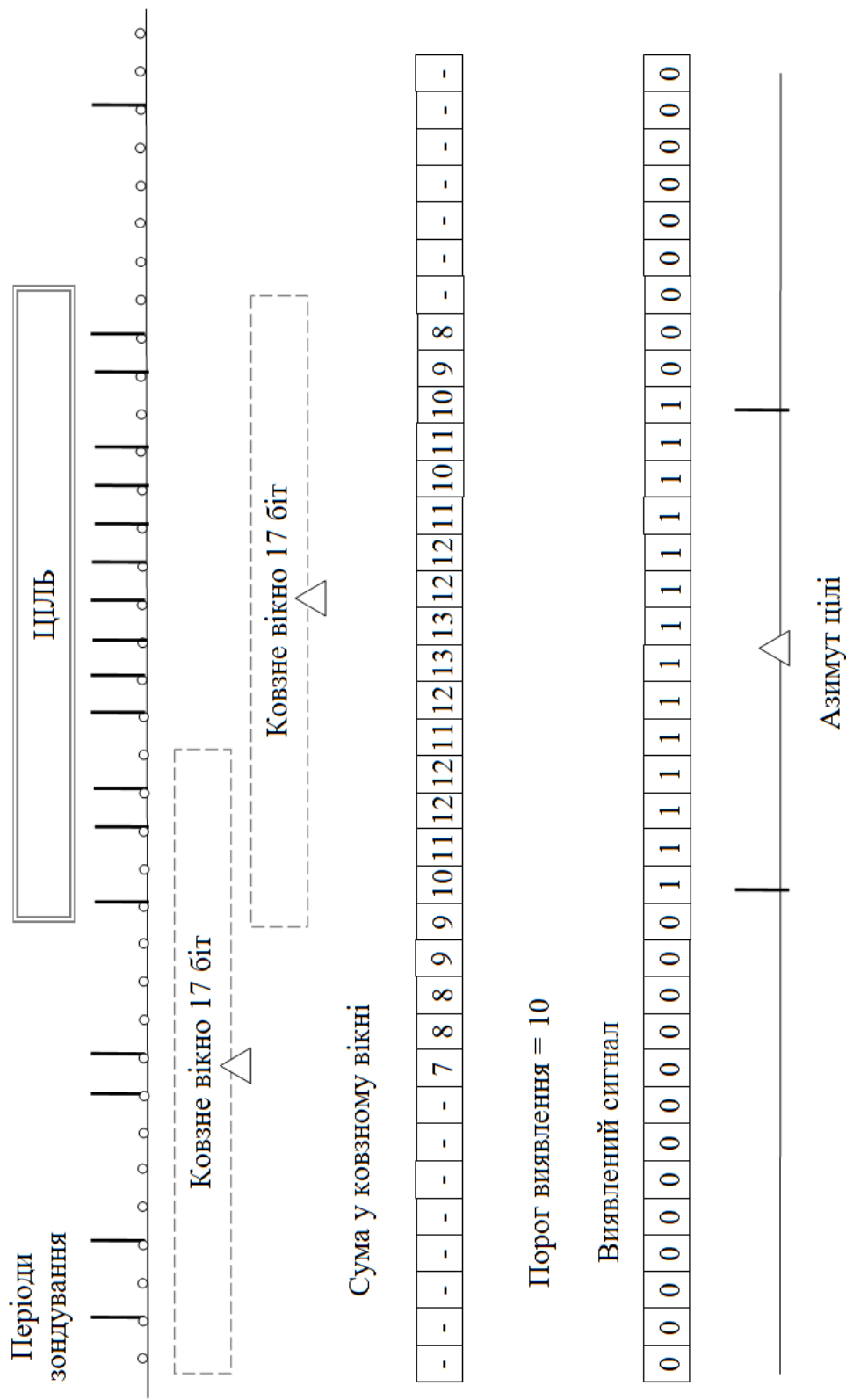


Рис. 3.9. Часова діаграма виявлення пачки

Ця сума, відповідно, порівнюється з порогом виявлення ( $\Pi$ ) та далі приймається рішення щодо наявності виявленого сигналу  $Z_k$  для зазначеного  $k$ -го положення ковзного вікна (відмітимо, що це ще не є ціллю), якщо

$$\begin{cases} S_{17} \geq \Pi, & Z = 1 \\ S_{17} < \Pi, & Z = 0 \end{cases}$$

У наведеному прикладі  $\Pi=10$ , а сам результат виявлення зображено нижче на рис. 3.9.

Останнім кроком процедури виявлення буде групування виявлених сигналів за цілями та подальше обчислення їх азимутів. Припустимо, що раніше виявлені сигнали однієї цілі розташовуються без жодних пропусків, тоді група однієї цілі буде мати відповідно початковий азимут  $\varphi_n$  та кінцевий азимут  $\varphi_k$ , а сам азимут цілі обчислюється як їхня середина за формулою

$$\varphi_{\text{ц}} = \frac{\varphi_k - \varphi_n}{2}.$$

Алгоритм запропонованого принципу роботи накопичувача-виявлювача зображено далі на рис. 3.10. Розглянуті процедури руху ковзного вікна, зчитування вхідного байта, коректування суми, як і порівняння з порогом вже були описані вище в цьому розділі роботи. Нижня частина алгоритму представляє реалізацію процедури визначення початку групи виявлених сигналів, які належать лише до однієї цілі, як і її кінця. Зазначемо, що початок пачки фіксується відповідно до події – перехід з “0” в “1”, а кінець пачки буде при першій появі “0” після серії “1”. Крім того на початку пачки скидається та запускається лічба програмного лічильника  $\varphi_{\text{сч}}$  періодів зондування, а його поточний стан буде зберігатися у відповідному інформаційному слові (тобто у ОЗПП). Тоді азимут цілі обчислюється за допомогою формули

$$\varphi_{\text{ц}} = \varphi_k - \frac{\varphi_{\text{сч}}}{2}.$$

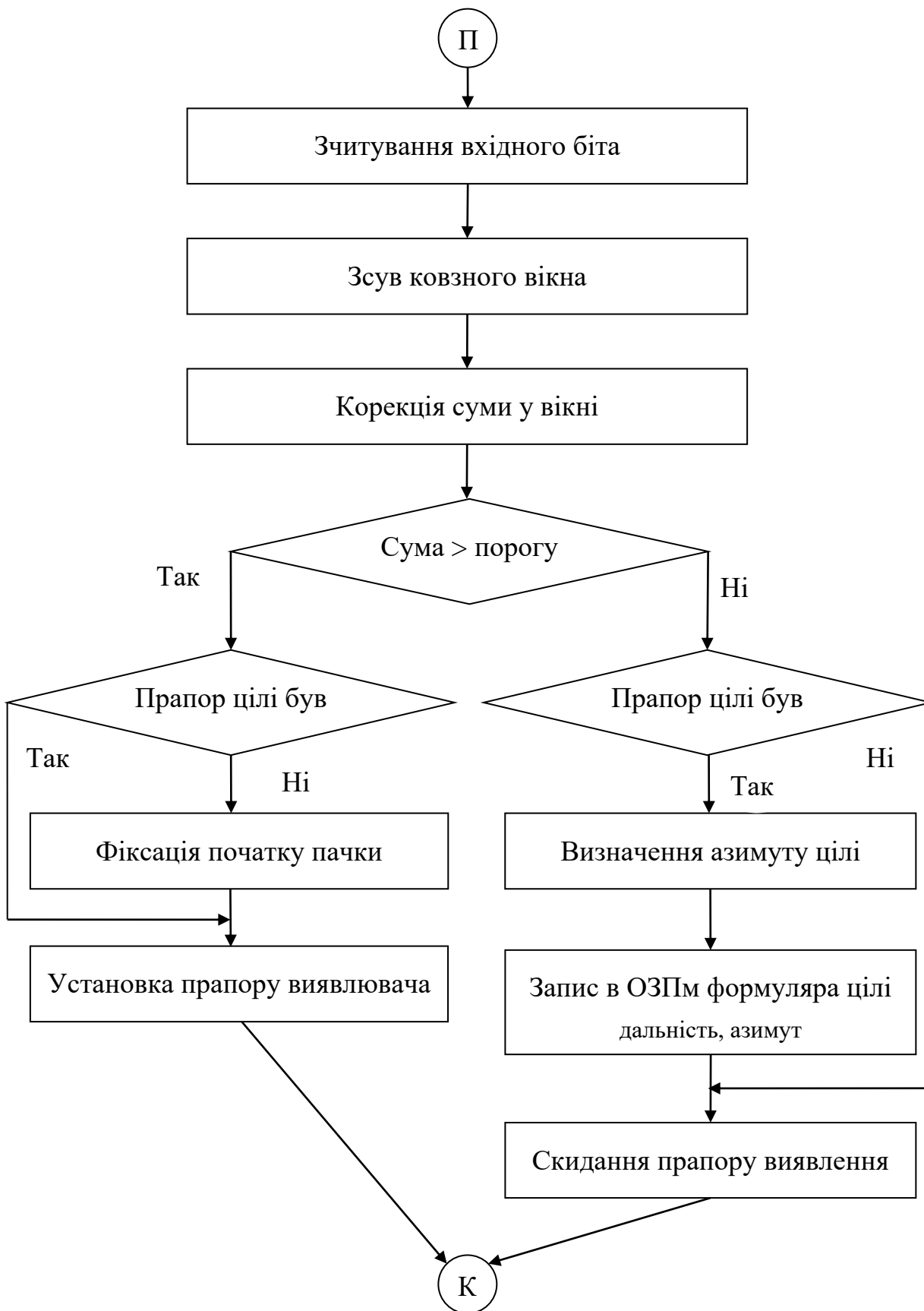


Рис. 3.10. Алгоритм обробки в кільці дальності

Однозначно дальність до цілі буде визначатися за номером певного кільця дальності, як і його часовою тривалістю  $\tau_{\kappa\delta}$  (вимірюється у мікросекундах) як

$$D_{\text{Ц}} = i \cdot \tau_{\kappa\delta} \frac{C_{\text{св}}}{2 \cdot 10^6},$$

де  $C_{\text{св}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  – відоме значення швидкість поширення радіохвиль.

### **Висновки за розділом 3**

Визначені вимоги до розробки стійкого виявлювача цілей.

Відповідно до цих вимог розроблені структурна та функціональна схеми виявлювача, придатні до подальшої реалізації на мікропроцесорні техніці.

Здійснений опис алгоритмів роботи виявлювача.



## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СТІЙКОГО ВИЯВЛЮВАЧА КОРИСНИХ СИГНАЛІВ

#### 4.1. Обґрунтування й вибір мікропроцесора обробки сигналів

##### 4.1.1. Характеристика мікропроцесорів фірми Cygnal

Перший мікроконтролер відомого сімейства-51 було створено більш ніж 35 років, тим не менш "de facto" і досі вони є визнаним промисловим стандартом серед мікроконтролерів. Зазначимо, що у світі приблизно 70% саме їх містять у промислових виробках. Їх випускають багато фірм у різних варіантах, які часто називають "x51-сумісними мікроконтролерами". Причини їх шаленої популярності такі [3-6]:

- по-перше, x51 сумісні мікроконтролери дуже добре документовані за апаратною реалізацією та схемотехнічним застосуванням;
- по-друге, у сімействі x51 реалізована доволі вдала архітектура;
- в-третє, більшість розробників вже мають великий досвід роботи саме з ними, і як результат, вивчено багато особливостей їх поведінки, розроблені прийоми та способи їх налагодження, і звичайно, накопичений досвід їх програмування;
- в-четверте, за весь час існування цього сімейства, задля нього була розроблена досить велика кількість якісного та доступного програмного забезпечення, як і середовищ проектування, а саме дизасемблерів, компіляторів різних мов програмування (зокрема, C++, ASM51, PL/M51), програмних налагоджувачів, емуляторів тощо.

Усі перераховані вище докази ще більше підкреслилися в останнє десятиліття, коли це сімейство x51 отримало безліч новітніх мікроконтролерів, які функціонують на підвищених частотах й оснащені доволі великою кількістю новітніх вбудованих периферійних вузлів.

Звичайно, у сучасних 51-сумісних мікроконтролерів раніше був ряд значних недоліків, серед яких зазвичай відмічали такі:

- відсутність у ряді сучасних мікроконтролерів вбудованого монітора живлення та охоронного таймера WDT (Watchdog Timer), що спричиняє значне ускладнення апаратної "обв'язки" контролера;

- відносно невисока їх пікова продуктивність, що обумовлено особливостями архітектури, так як сама коротка команда виконується за 12 періодів тактової частоти, іншими словами це приблизно 1 мкс;

- відсутність вбудованих АЦП та ЦАП, що набагато ускладнювало схемну реалізацію цих промислових технологічних контролерів.

Усі вище зазначені недоліки x51-сумісних мікроконтролерів змогла усунути молода американська фірма "Cygnal Integrated Products, Inc". Їх унікальні мікроконтролери мають досить потужну вбудовану аналогову та цифрову периферію, як і пікову продуктивність. Це досягає 25 MIPS, а окремі представники навіть мають продуктивність 100 MIPS.

Зазначимо найважливіші особливості мікроконтролерів Cygnal:

- є сумісними зі стандартними 8051-мікроконтролерами, що дає змогу використання будь-яких стандартних програмних засобів;

- промисловий діапазон температур в діапазові: від -40°C до +85°C;

- також вони мають розширений набір периферії, а саме контролер переривань, як мінімум 3 таймера, програмувальний масив-лічильник PCA, вбудоване джерело опорної напруги з можливістю роботи від зовнішнього джерела, вбудований програмувальний та зовнішній розширений генератори;

- робочі напруги живлення 2.7-3.3 В, а споживаний струм становить 6-12 мА (у середньому);

- мають додатковий інтерфейс JTAG (чи I2C) внутрішнєсхемного програмування Flash-пам'яті з можливістю її налагодження;

- лінії портів вводу/виводу, що мають 5-вольтовою логіку.

Всі вони мають оригінальне ядро CIP-51, яке застосовує конвеєрну архітектуру, що суттєво збільшує швидкість виконання команд порівняно із стандартною архітектурою 8051. Ядро CIP-51 має 109 інструкцій, серед них 26

інструкцій виконуються за 1 період тактової частоти, 50 – за 2 періоди, 26 – за 3 періоди, 6 – за 4-5 періодів та тільки одна виконується за 8 періодів.

Ще однією важливою перевагою мікропроцесорного ядра CIP-51 є, зазвичай, наявність вбудованої апаратної підсистеми налагодження програмного забезпечення. Наявний зв'язок із підсистемою мікроконтролера відбувається через послідовний інтерфейс JTAG, що відповідає стандарту IEEE 1149.1. Водночас, забезпечуються режими внутрісистемного програмування (ISP) та налагодження. При програмуванні також можливий запис, і всього масиву програми, і лише окремих байтів. Очевидно, що вміст пам'яті програм також може читатися та збиратися із оригіналом. Вміст будь-якого байта Flash-пам'яті програми може читатися чи змінюватися із працюючої програми із застосуванням інструкцій MOVC чи MOVX, що дає змогу також реалізовувати енергонезалежне зберігання даних, як і оперативно їх модифікувати.

Вбудована схема дає змогу налагодження в режимі реального часу виконання програми. Також можна проводити установки точок зупинки та контролю змінних, запуск, зупинка та покрокове виконання програми (крім підпрограми переривань), контроль звертань тощо.

Підкреслимо, що вся цифрова та аналогова периферія мікроконтролера функціонує коректно в ході налагодження. При зупинці мікроконтролера чи в покроковому режимі вся периферія (за винятком ADC) також функціонує у відповідному режимі.

Через внутрішню шину до ядра підключається основна оперативна пам'ять IRAM з мінімальним обсягом 256 байт, у деяких моделях є додаткова оперативна пам'ять XRAM обсягом від 1 Байт до 8 Байт, яка міститься у адресному просторі зовнішньої пам'яті й Flash-пам'ять програм чи даних обсягом 8- 128 Байт. Для такої Flash-пам'яті існує досить розвинена багаторівнева система захисту від запису та читання.

Також до ядра підключають розвинену підсистему скидання з монітору живлення та апаратним охоронним таймером WDT, який після процедури скидання буде активним. Час спрацьовування WDT встановлюється програмно однократно

після скидання. Існує також розвинена підсистема тактового генератора, яку програмно встановлюють на частоти 2, 4, 8 чи 16 МГц. Зовнішній генератор функціонує з керамічним чи кварцовим резонатором, RC-колом чи окремим конденсатором.

Сам мікроконтролер чи його програмно задані частини можуть функціонувати у 2-ох режимах, а саме активному та енергозбереження, водночас струм споживання знизиться до одиниць мікроамперів.

Різні моделі мікроконтролерів зазвичай містять 3-5 таймерів, водночас перші 3 таймери цілком сумісні з таймерами стандартного 8052-мікроконтролера.

Підсистема обробки переривань набагато розширена та має 22 вектори переривань, на відміну від семи векторів стандартного 8052-мікроконтролера, а кількість зовнішніх входів переривання розширена до 4.

Зазначимо, що набір цифрової периферії тут також є набагато більш розширеним. Мікроконтролери можуть мати інтерфейс Smbus, який є сумісним з I2C, 1 чи 2 високошвидкісні послідовні порти UART та інтерфейс SPI. Перераховані вище інтерфейси допускають паралельні з'єднання задля організації багатоконтролерного функціонування. В деяких нових моделях мікроконтролерів вже є інтерфейси CAN 2.0B чи USB.

Крім зазначеної периферії у багатьох мікроконтролерів є, зазвичай, спеціальний програмувальний лічильник масив PCA, що являє собою 16-бітний лічильник із 5-тю каналами захвата/порівняння. Такий вузол дає змогу генерувати та рахувати імпульси, діяти, як широко-імпульсний модулятор, бути додатковим таймером чи таймер реального часу.

Різні моделі мікроконтролерів зараз мають різну кількість однобайтних портів вводу/виводу, що залежить від типу корпусу, вони мають 1, 2, 4, 8 портами (стандартно маємо 4). Можливості портів набагато розширені. На всіх ліній є, зазвичай, так звана "слабка підтяжка", тобто опір, з'єднаний із живленням; яка може включатися/відключатися програмно. Більш того, порти можуть функціонувати у звичайному ключовому режимі чи в режимі з відкритим джерелом. Це

використовується задля забезпечення сумісності з 5-вольтовими входами/виходами мікросхем обв'язки; де вихідний струм буде 25 мАа.

За допомогою матриці з'єднань програмуються всі цифрові порти вводу/виводу. Зокрема, МК C8051F320 має 25 виводів, які мають три 8-розрядних портів та один 1-розрядний порт. Порти парцюють відповідно до стандарту 8051 з деякими додатковими можливостями. Існує можливість настроїти кожен вивід порту як аналоговий вхід чи цифровий вхід/вихід. Виводи, настроєні в якості цифрових входів/виходів, можна також налаштувати як двотактні цифрові виходи/виходи із відкритим стоком. Ще допускається глобальне відключення підтягующих резисторів, що допомагає знизити енергоспоживання. Цифрова матриця дає змогу з'єднувати внутрішні цифрові системні ресурси із виводами портів вводу/виводу [6]. Шляхом регістрів управління матрицею на виводи портів можна подати сигнали від послідовних інтерфейсів, від внутрішніх таймерів чи лічильників.

Існуючий набір аналогової периферії досить багатий та включає 1 чи 2 АЦП фірми ADC0&ADC1 із програмувальним входним мультиплексором AMUX, а також входним підсилювачем PGA із програмувальним коефіцієнтом підсилення, зазвичай 2 ЦАП DAC0&DAC1, також маємо до 3-ох компараторів.

Багато моделей мікроконтролерів містять два 12-розрядних ЦАП з виходом за напругою. АЦП та ЦАП можуть функціонувати від вбудованого джерела опорної напруги 2.4 В чи від зовнішнього джерела, яке не повинно перевищувати напругу живлення.

Сучасні мікроконтролери фірми Cygnal випускаються в 5-ох типах корпусів, зокрема M11, TQFP64, TQFP100, TQFP48, LQFP32, DIP14. Зараз, мікроконтролери серії 300-303 випускають в корпусах із 11 виводами.

Наведений в роботі опис дозволив скласти тільки загальне уявлення щодо можливостей мікроконтролерів Cygnal. Тим не менш, наведених відомостей цілком для твердження, що мікроконтролери фірми Cygnal зараз є найпотужнішими та перспективними.

## 4.1.2. Особливості використовуваного мікропроцесора C8051F007

Для практичної реалізації виявлювача вистачить процесора з середньою швидкодією, через те що на цикл обробки одного кільця дальності приділяється час не менше за 0,3 мкс, а тривалість ЗІ 0,5 мкс, що при тактовій частоті процесора 100 МГц дає змогу виконати до 30 операцій за секунду. Обираємо за базовий процесор 38051 F007 фірми Cygnal (рис.4.1).

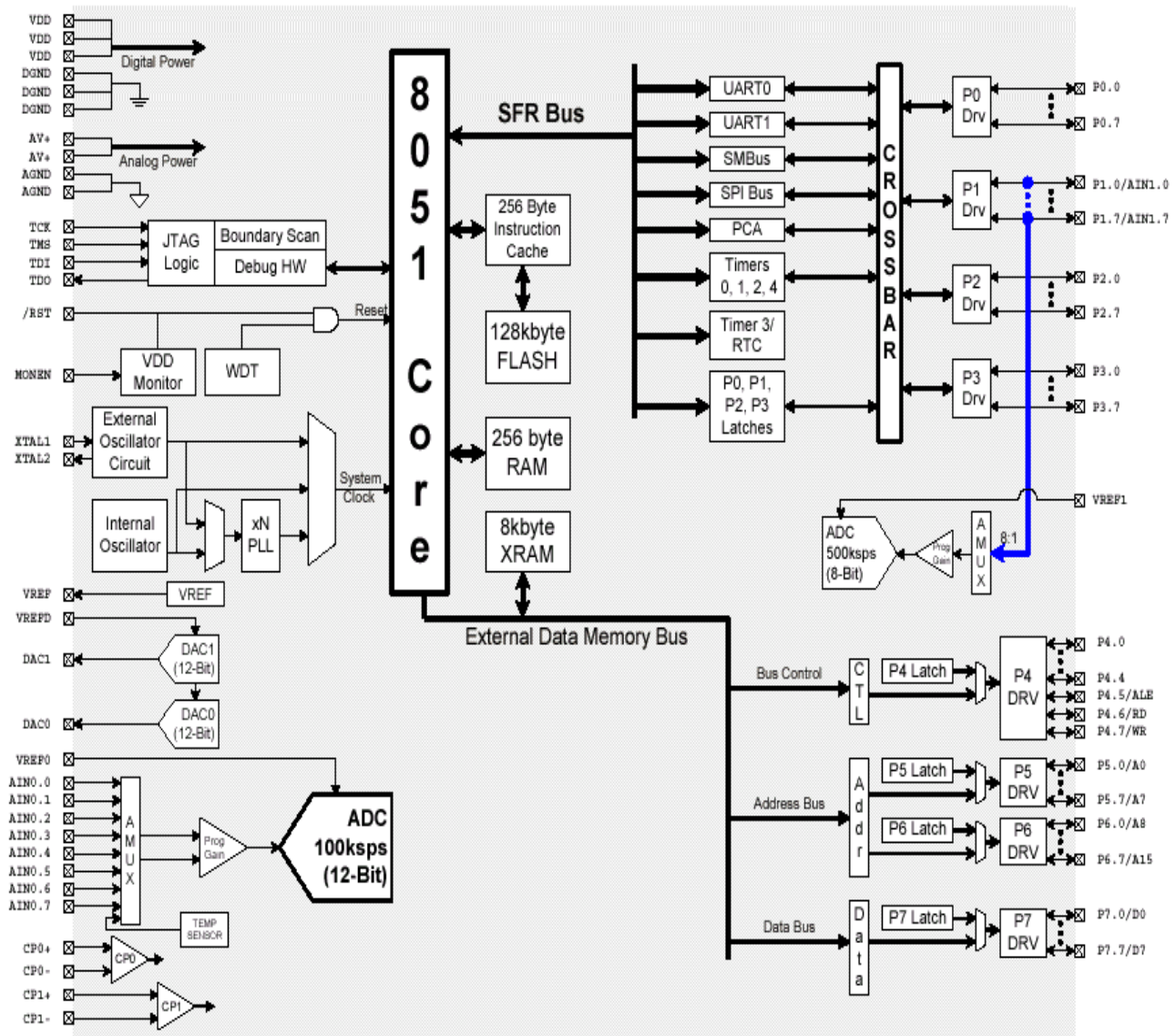


Рис. 4.1. Структурна схема мікроконтролера C8051F007

Він має наступні основні технічні характеристики:

- має налагоджувальний JTAG- інтерфейс
- кількість лічильників-таймерів

– кількість джерел переривань	21
– продуктивність, MIPS	100
– максимальна тактова частота (зовнішній кварц)	100 МГц
– набір апаратно реалізованих стандартних послідовних інтерфейсів, зокрема SPI, I <sup>2</sup> C, UART	
– струм споживання на максимальній частоті МА	12,5
– напруга живлення, В	2,7-3,6
– температурний діапазон °С	-40+85
– тип корпусу	32-pin LQFP

Далі у таблиці 4.1 наведено призначення виводів процесора, виключно обмежене тими, що використані у принциповій схемі. Всі незадіяні виводи є непідключеними. Коректним вважають підключення їх до “землі”.

Таблиця 4.1.

Призначення виводів

Номер виводу	Мнемосхема	Функція
5	V	Живлення
6	GND	Загальний
10,11	XT1, XT2	Тактова генерація
13	TMS	Jtag-Інтерфейс
14	TCK	--- // ---
15	TDI	--- // ---
16	TDO	--- // ---
19-20, 23-28	P.1- P.2 P.3 – P.8	Цифрові порти введення-виводу

Наведемо гранично припустимі параметри обраного мікропроцесору:

- напруга на будь-якому виводі порту вводу/виводу або на виводі /RST відносно GND від -0.3–5.8В;

- напруга на виводі VDD відносно GND в діапазоні -0.3–4.2В;

- гранична робоча температура: від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ ;
- зазначена температура зберігання від  $-65^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальний сумарний струм по виводах VDD і GND 500мА;
- максимальний вихідний струм на будь-якому порту вводу/виводу чи на виводі /RST 100мА.

Тривала експлуатація мікроконтролера при неприпустимих умовах, однозначно негативно впливає на його надійність. Робота мікроконтролера у зазначеному граничному режимі протягом тривалого часу не передбачена. Перевищення цих значень може привести до незворотних пошкоджень мікроконтролера.

## 4.2. Розробка принципової схеми стійкого виявлювача сигналів

### 4.2.1. Цифро-аналоговий перетворювач MAX-5480

У пристрої застосовано ЦАП типу MAX5480: CMOS, 8-бітовий, який просто зв'язується безпосередньо із більшістю мікропроцесорів – інтерфейс циклу подібний до циклу запису РАМ, де CS та WR – це єдині потрібні керуючі входи для цього проекту.

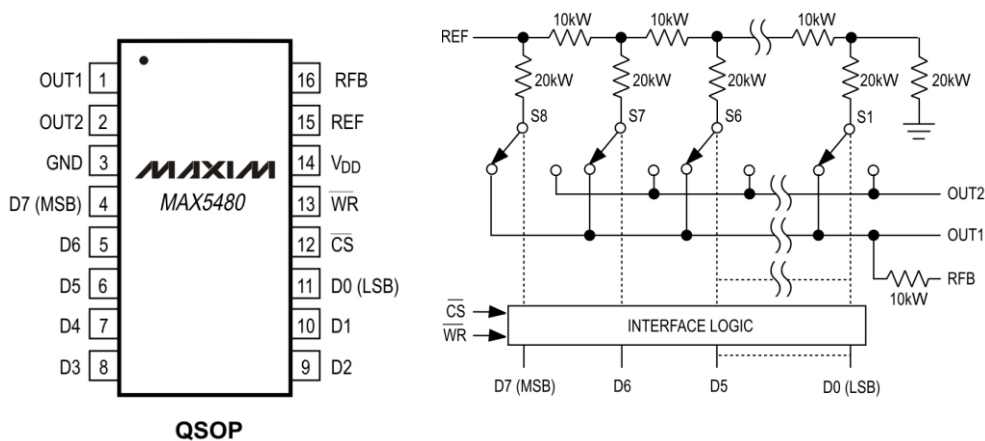


Рис. 4.2. Корпус і структурна схема MAX5480

MAX5480 є 8-бітним перемножувальним ЦАП, що має тонкоплівковий масив резисторів із керуючими струмом CMOS ключами.

Розглянемо граничні параметри MAX-5480



напруга OUT1, OUT2 – GND..... -0.3В на VDD  
 напруга цифрова вхід – GND ..... -0.3В на (VDD+0.3В)  
 напруга VDD – GND.....від -0.3В до +17В  
 напруга REF – GND та RFB – GND.....±25В

Основні електричні характеристики АЦП MAX-5480 наведені далі в табл.4.2, а опис виводів – у табл. 4.3.

Таблиця 4.2

Основні електричні характеристики

Параметри	Умови	Типове	Од. вимірювання
Розрядність		8	Bits
Відносна точність		±1/2	LSB
Помилка приросту	TMIN – MAX	±1	LSB
Температурний коефіцієнт приросту		±2	ppm/°C
Вихідний струм витоку	TA = +25°C	±50	на
Час повного встановлення	TA = +25°C	400	нс
Ємність OUT1, OUT2		120	pf
<b>ЦИФРОВІ входи</b>			
Вхідне високе U		2.4	V
Вхідне низьке U		0.8	V
Вхідний струм	+25°C	±1	µA
Струм споживання	+25°C	100	µA
Напруга живлення	+25°C	+3...5	V
<b>ТИМЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ</b>			
Час Установки	+25°C	35	нс
Час запису в сховище	+25°C	0	нс
Ширина Імпульсу Запису	+25°C	35	нс
Час введення даних	+25°C	55	нс

Зараз він доступний у невеликому 16-піновому корпусі QSOP.

Ланцюгова схема (рис. 4.2) R -2R ділить напругу двійковим способом за допомогою 8-ми керованих ключів.

Таблиця 4.3

Опис виводів

Вивід	Назва	Функція
1	OUT1	Вихід R-2R
2	OUT2	Вихід R-2R, доповнення OUT1
3	GND	Земля
4-11	D7–D0	Дані введення, D7 - найбільш значимий біт.
12	CS	Вхід вибору, активний низький рівень.
13	WR	Керуючий, активний низький рівень
14	VDD	напруга Живлення +5V
15	REF	Вивід напруги посилення
16	RFB	Зв'язок резистора зворотному зв'язка

Нижче розглянемо двійково-кодову таблицю [7], яка використовується у представленій роботі.

Таблиця 4.4

Двійково-кодова таблиця

Цифровий вхід	Аналоговий вихід	Цифровий вхід	Аналоговий вихід
1 1 1 1 1 1 1 1	-VREF( 255/256)	1 0 0 0 0 0 0 0	-VREF(128/256)= - (VREF/2)
1 0 0 0 0 0 0 1	-VREF(129/256)	0 1 1 1 1 1 1 1	-VREF(127/256)
0 0 0 0 0 0 0 1	-VREF(1/256)	0 0 0 0 0 0 0 0	-VREF(0/256)=0

Виводи CS та WR управляють паралельним ЦАП MAX5480, за умови, якщо CS та WR будуть низькими, сам перетворювач MAX5480 – входить у режим запису, а його аналоговий вихід тоді реагує на вхідні дані на шинах ввідів D0...D7. У режимі зберігання, відповідно, зберігаються дані, що були на виводах D0...D7, під

час, коли на виводи CS чи WR не вплине керуючий сигнал високого рівня. Тоді сигнал на аналоговому виході дорівнює величині, яка відповідає значенню на заблокованому цифровому коду.

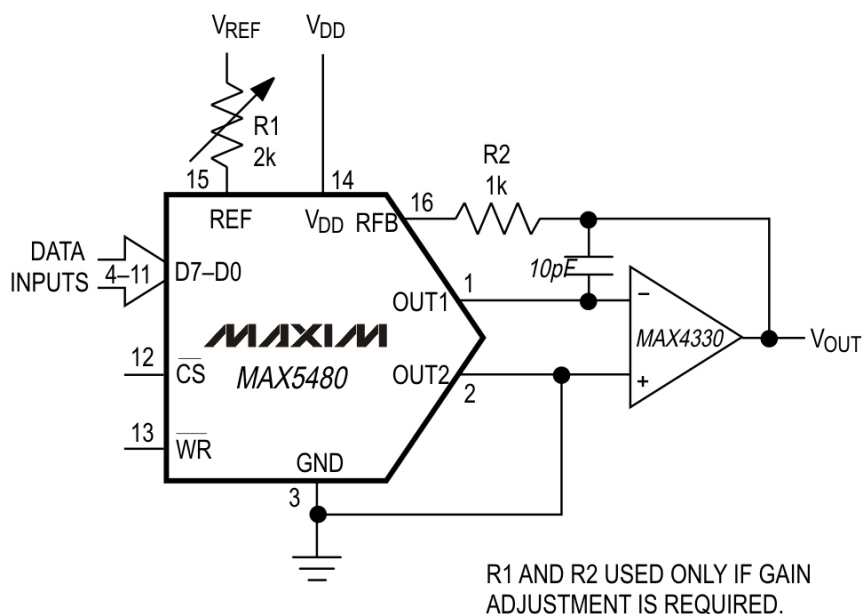


Рис. 4.3. Схема включення ЦАП MAX5480

#### 4.2.2. Оперативний запам'ятовувальний пристрій

Для використання у компенсаторі цілком підходить мікросхема статичної пам'яті 23A640, у якої такі основні характеристики:

- організація пам'яті 8192 × 8-біт (64 Кбіт), по 32-байта на сторінці;
- режими звертання: читання/запис байта чи сторінки (32 байта), а також шини SPI;
- максимальна тактова частота – 16 МГц;
- напруга живлення
 

мікросхеми 23K640	від 1.7 до 1.95 В,
	від 2.7 до 3.6 В;
- мікропотужна Cmos-Технологія, споживаний струм –3 мА при 1 МГц, струм в режимі очікування – 4 мкА при напрузі 3.6 В;
- температурний діапазон: -40°C to +85°C
- 8-вивідні корпуси SOIC, PDIP та TSSOP без батареї backup.

Опис виводів мікросхеми представлено нижче в табл. 4.5.

## Опис виводів

№	Мнемоніка	Функція
1	CS	Вхід вибору мікросхеми (інверсний)
2	SO	Вихід послідовних даних
3	NC	не використовується
4	V <sub>SS</sub>	Земля
5	SI	Вхід послідовних даних
6	SCK	Вхід синхроімпульсів
7	HOLD	Вхід утримання (інверсний)
8	V <sub>CC</sub>	Напруги живлення

**4.2.3. Регістр-перетворювач коду**

Вихідні дані виявлювача для наступної передачі на оброблення у зовнішніми пристроями зручніше представляти в паралельному виді, через те що це на порядок зменшує частотні вимоги до зовнішніх ліній зв'язку. Через те що концептуально було прийнято раніше, то цілковито обмін даними процесор здійснює в послідовному коді, і відповідно на виході компенсатора треба поставити перетворювач послідовного регістру КР1533ІР8.

Ця мікросхема є восьмирозрядним регістром зсувну із послідовним завантаженням та паралельним вивантаженням. Присутність двох входів послідовного завантаження А й В дає змогу використати один з них в якості керуючого завантаження даних, тобто низький рівень напруги хоча б на одному з них за фронтом тактового імпульсу встановлює перший тригер регістру в стан "0", одночасно високий рівень напруги на керуючому вході дозволяє за іншим входом здійснює введення даних у послідовному коді. Низький рівень напруги на вході R буде асинхронно встановлювати всі виходи мікросхеми в положення "0".

Опис виводів регістру-перетворювача кодів та таблиця істинності регістру КР1533ІР8 наведені відповідно у табл. 4.6 та 4.7.

Таблиця 4.6.

## Опис виводів регістру-перетворювача кодів

Номер виводу	Позначення	Призначення
01	A	Вхід інформаційний
02	B	Вхід інформаційний
03	Q1	Вихід
04	Q2	Вихід
05	Q3	Вихід
06	Q4	Вихід
07	OV	Загальний вивід
08	C	Вхід тактовий
09	$\bar{R}$	Вхід скидання
10 – 13	Q5 – Q8	Виходи
14	U	Вивід живлення

Таблиця істинності регістру KP1533IP8

Таблиця 4.7

Входи				Виходи		
1	2	3	4	5	6	7
$\bar{R}$	C	A	B	Q1	Q2...	Q8
0	X	X	X	0	0	0
1	0	X	X	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>80</sub>
1	0/1	1	1	1	Q <sub>10</sub>	Q <sub>70</sub>

#### 4.2.4. Живлення принципової схеми

Для живлення обраної схеми необхідна одна напруга живлення 3.3 В, тому доцільно використати лінійний стабілізатор напруги (LDO) типу MAX822MJA. Він має наступні основні параметри [6]:

– діапазон вхідної напруги, В	4.3-11.5
– напруга стабілізації, В	3.3
– нестабільність живлення	± 5%
– максимальний вихідний струм, мА	200;
– температурний робочий діапазон, °С	-40+85
– максимальна температура без деградації, °С	+150
– максимальна потужність, що розсіюється на корпусі, Вт	1.5

Обрану мікросхему розміщено в корпусі 201.14-1 (SOIC-8.) й за основними електричними параметрами відповідає рівню аналога фірми TI.

#### 4.2.5. Опис принципової схеми

Розглянемо особливості роботи принципової схеми виявлювача, що запропонована на рис. 4.4. На цій схемі, порівняно з розробленою функціональною схемою, наявні процесори, блоки ЦАП, ОЗП та вихідний регістр реалізовані на відповідних окремих мікросхемах, а вже двополярний вихідний сигнал ЦАП перетворюється на уніполярний за допомогою операційного підсилювача (диференціального).

Саме другий процесор DD2 виконує тут загальну синхронізацію роботою схеми. DD2 формує три сигнали: імпульс запуску, імпульси початку кілець дальності та строб за дальністю СРЦ. Зазначені сигнали, перед усім, необхідні задля синхронізації роботи РЛС-компенсатор-виявлювач. Водночас, строб у компенсаторі не використовуємо.

Повний інформаційний обмін між першим DD1 та другим DD2 процесорами DD1, зсувним регістром DD3 та пам'яттю DD4 забезпечується по узагальненій шині (зображено товстою лінією). Лінії цієї шини 2 та 3 зв'язують виключно процесора, при цьому процесор DD1 є, зазвичай, відомим.

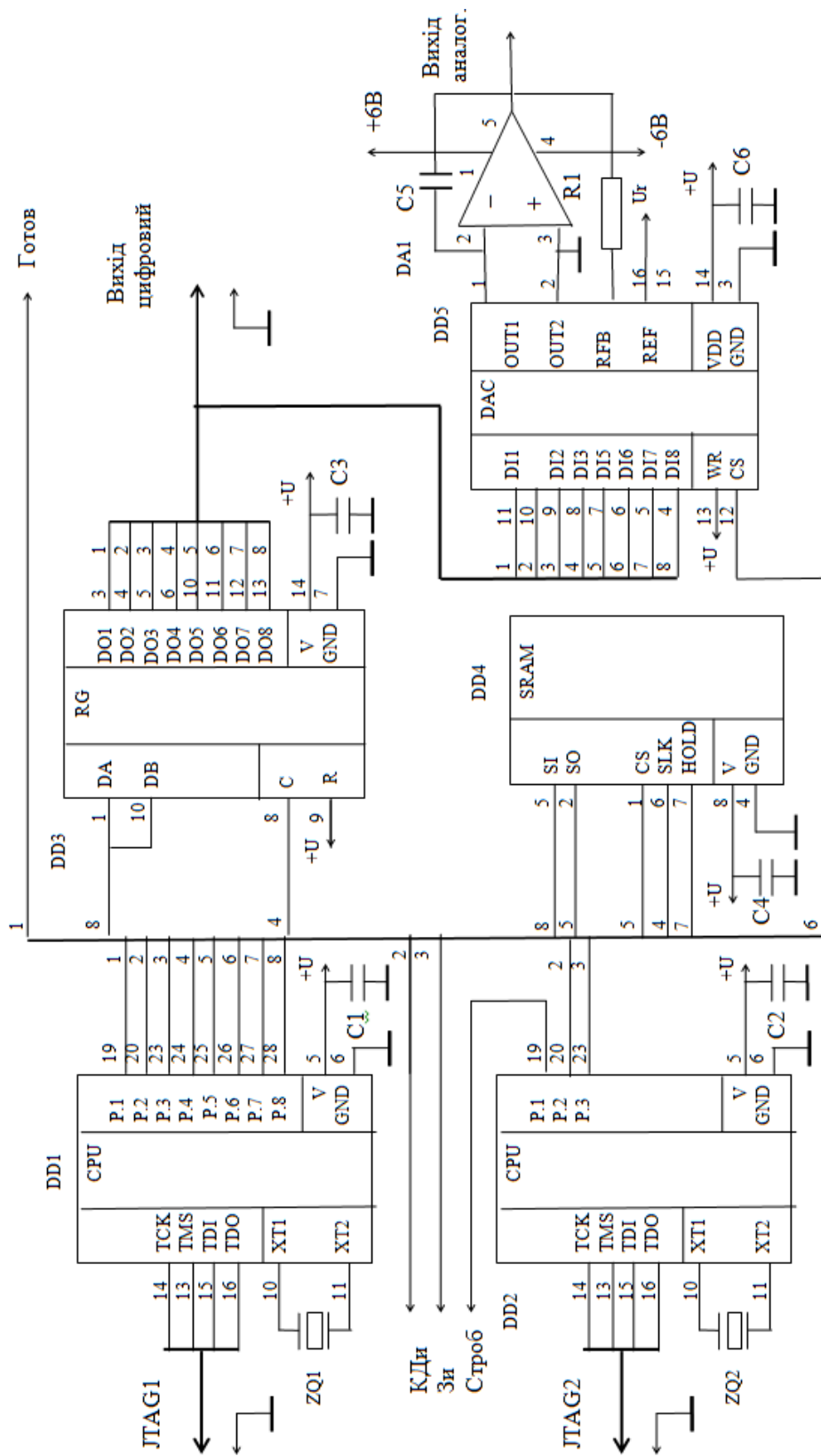


Рис. 4.4 Принципова схема виявлювана

Тим не менш для регістру та пам'яті перший процесор уже виступає як ведучий. Тобто це призводить до того, що управляє сигнал низького рівня CS (лінія 6) (номери ліній шини це не номери виводів мікросхем) для вибору мікросхеми пам'яті, крім того, тактовий сигнал (лінія 4) для послідовного запису даних у регістр зсуву DD1 й тактовий сигнал SLK (лінія 6) для керування послідовним вводом/виводом даних пам'яті DD4 [7].

Використання тут двох різних тактових сигналів C та SLK дозволяє застосувати одну сполучну інформаційну лінію вхідних даних 8 для регістру й пам'яті, через те що записуватися вхідні дані будуть виключно в ту мікросхему, на вхід якої надходять тактові сигнали, а друга мікросхема залишається нечутливою до змін вхідних даних. Саме тому в процесі роботи одночасна поява двох тактових сигналів є категорично неприпустимою.

Більш того, ще раз зауважимо, що для роботи мікросхеми пам'яті – сприйняття даних через лінію 5 чи видача даних на лінію 8 – необхідний низький потенціал на її вході CS [7].

Наявність таких входів вибору пам'яті чи інших мікросхем (відсутні у компенсаторі) дає змогу також поєднувати на одну лінію також і виходи різних мікросхем.

Зокрема, при застосуванні 2 мікросхем пам'яті на цій лінії будуть з'являтися дані тільки від тієї мікросхеми, яка вибрана, через те що вихід необраної мікросхеми має високоімпендансний стан (з вихідним опором більше за 1МОм), що не впливає на сигнал об'єднаної лінії. Саме тому в процесі роботи одночасна поява 2-ох сигналів вибору об'єднаних за виходами мікросхем є категорично неприпустимою.

Відмітимо, що тактовий сигнал лінії 1 одночасно ініціює також і збереження вихідного цифрового коду у ЦАП і є, зазвичай, сигналом готовності цифрового виходу. Крім того він може далі використовуватися у зовнішніх пристроях в якості сигналу готовності аналогового виходу, але обов'язково за умови, що треба враховувати затримку встановлення вихідної напруги ЦАП.

Використовуваний в роботі МП С8051F007, дає змогу не поєднувати ніякі сигнали, через те що має для цього ще достатню кількість вільних портів. В цій



ситуації трохи полегшується розробка програми, бо виводи незалежні, але, тим не менш конструктивно потрібні додаткові сполучні провідники.

Друга 8-розрядна шина даних є, зазвичай, локальною й служить тільки для подачі вихідного коду компенсатора у перетворювач ЦАП.

В роботі тактова частота процесорів задається стабільними кварцями, а входи JTAG служать для внутрісхемного програмування МП.

Блокувальні конденсатори С1-С4 та С6 запобігають появі взаємних перешкод між мікросхемами за живленням.

#### **Висновок за розділом 4**

Для практичної реалізації виявлювана, запропонованого в роботі, вистачає процесора середньої швидкодії, через те що на цикл обробки одного кільця дальності приділяється час не менше ніж 0,3 мкс (при тривалості ЗІ 0,5 мкс), що, як вже було зазначено, при 100 МГц тактової частоти МП дає можливість зробити до 30 операцій. Отже, обираємо процесор 38051 F007 фірми Signal за базовий.

Застосовано два мікропроцесораю. Один здійснює обробку сигналу у режимі реального часу, а други прзначений для загальної синхронізації й формує 3 сигнали: імпульси початку кілець дальності, імпульс запуску та строб по дальності СРЦ.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ

В даній роботі розроблено виявлювач корисних сигналів бортового радіолокатора, що входить до складу приймача й є необхідним для підвищення ефективності виявлення радіолокаційних цілей сучасного оглядового радіолокатора на тлі завад.

Суб'єктом охорони праці є інженер–електронник, а робочим місцем інженера є, зазвичай, лабораторія.

#### 5.1. Організація робочого місця

Обране приміщення для щоденної праці інженера, його розміри, повинні в першу чергу відповідати реальній кількості працівників та розташованому у цій лабораторії серверному встаткуванню. Таким чином, щоб проектувальники не заважали один-іншому, необхідно для кожного з працівників виділити певну частину загальної площі і створити, за можливості, окрему кімнату зі скляними стінами із геометричними розмірами: об'єм 36 м (ширина 3 м; довжина 4 м; висота 3 м).

Креслення обраного типового приміщення, де буде працювати інженер-електронщик зображено нижче на рис. 5.1.

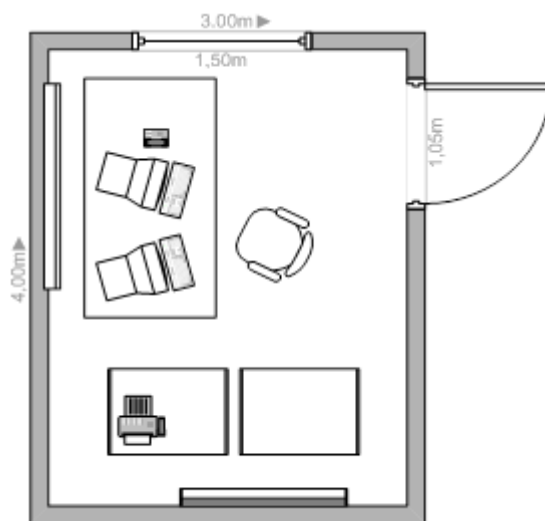


Рис. 6.1. Робоче приміщення інженера-електронщика

Порівняння нормативних та фактичних характеристик робочого приміщення наведені нижче в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Фактичні та нормативні характеристик робочого приміщення

Характеристики	Параметри	
	Фактичні	Нормативні
1. Кількість працівників	1 чіл.	
2. Обсяг приміщення	36 м <sup>3</sup>	45 м <sup>3</sup> (не менше 15 м <sup>3</sup> на чіл.)
3. Площа приміщення	12 м <sup>2</sup>	13,5 м <sup>2</sup> (не менше 4,5 м <sup>2</sup> на чіл.)
4. Габарити дверей	1076 × 2020	1,8x1,1
5. Кількість вікон	1	

Саме тому що, у даному приміщенні розташовані велика ЖКІ- панель, 2 персональні комп'ютери (ПК), телефон та лазерний принтер. Отже аналіз показує, що параметри приміщення задовільні.

Розглянемо перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів, роблять вплив на інженера-конструктора. Зазначимо, що працівник більшу частину робочого часу проводить у комп'ютера в зазначеній лабораторії.

1. Підвищений рівень електромагнітного випромінювання.
2. Підвищений рівень статичної електрики.
3. Підвищена температура повітря робочої зони.
4. Підвищений рівень шуму на робочому місці.
5. Недостатня освітленість робочої зони.
6. Небезпека виникнення пожежі.

## 5.2. Освітленість робочої зони

Освітленість робочої зони лабораторії, яка відповідає вимогам стандарту ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», становить 300-500 лк [14]. У

лабораторії для освітлення застосовано люмінесцентні лампи і вони розміщені в кожному світильнику по дві штуки на висоті 3 м.

Для розрахунків буде потрібно виключно один параметр – світловий потік. Це є своєрідною яскравістю чи інтенсивністю світла, що вимірюється в люменах (Лм). Виробник обов'язково вказує значення світлового потоку на своїй продукції, у тому числі і на світлодіодних лампах. Розрахунок будемо робити, виходячи з умови, що 100 Вт лампа розжарювання світить приблизно на 1200 – 1300 Лм. Зокрема, для заміни такої лампочки на 60 Вт потрібен світлодіодний світильник із світловіддачею в 600 – 700 Лм.

Якщо ж інформації на упаковці недостатньо, можна виконати розрахунки, виходячи з потужності світильника. Найчастіше світлодіодні лампи споживають від 5 Вт до 12 Вт. При цьому приблизний світловий потік на 1 Вт становить 50 – 80 Лм. Може бути і більше, але удем обрати по-мінімуму – 50.

Характеристики офісного світильника із світлодіодними лампами фірми Армстронг с призматичним склом 24 W 220V IP40 EP:

– кількість світлодіодів:	24 (типу Epistar)
– габаритні розміри, mm:	L595 B595 H90
– кут освітлення°:	120
– світловий потік, Lm:	2640
– напруга живлення, V:	220 при потужність 24 W
– вага, kg:	2,7

Це є аналогом люмінесцентної лампи, з потужністю 80-100 W.

Відповідно до стандарту ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» для окреслених в дипломі робіт мінімальна освітленість при одному загальному освітлені мають бути наступними:

- при використанні люмінесцентних ламп – 200 лк;
- при використанні ламп розжарювання – 150 лк.

Наведемо заходи для виключення недоліку недостатньої освітленості:

- оптимальний напрямок випромінюваного наявними освітлювальними приладами світлового потоку;

- відповідність рівня освітленості робочих місць до характеру роботи;
- правильно спроектоване та виконане освітлення;
- рівномірний розподіл яскравості на усіх робочих поверхнях та в навколишньому середовищі.

### 5.3. Підвищена температура повітря робочої зони

Під мікрокліматом виробничого середовища згідно ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень” розуміють об’єднання температури повітря, вологості повітря, швидкості руху повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) випромінювання й температура поверхні.

У обраній лабораторії інженер має переважно сидячу робота, бо більше 80% робочого часу він проводить саме за столом. За існуючою класифікацією ця робота є легкою і відноситься до категорії складності, тобто Іа. Основними джерелами тепла у цьому приміщеннях, коли немає опалення, є: ПК та прилади освітлення.

Нормативні дані щодо мікроклімату запропонованого у роботі приміщення у холодний та теплий періоди року представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

Нормативні дані щодо мікроклімату

Період	Категорія	Температура °С			Отн. вологість	
		Оптим.	Верх. гр.	Ниж. гр.	Оптим.	Допуст.
Холодний	легка Іа	21-23	25	21	40-60	75
Теплий	легка Іа	22-24	28	22	40-60	55 ( при 28°С)

Дане приміщення можна віднести до приміщень із незначним надлишком явного тепла, бо воно містить:

- 2-і секції центрального опалення;
- центральні блоки процесорів;
- монітори.

Після аналізу даних, що наведені в зазначених вище таблицях, можна зробити висновок щодо відповідності мікроклімату даного приміщення сучасним нормативам.

Температура повітря робочої зони становить 22°C, що відповідає нормованим параметрам мікроклімату й іонного складу повітря згідно стандарту ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”. Для забезпечення потрібних умов роботи, тобто температури 22°C повітря, вологості 60%, швидкості руху повітря 0,5 м/с необхідно:

- по-перше, встановити тут систему вентиляції та кондиціонування;
- створити спеціальні зелені куточки.

#### **5.4. Підвищені рівні статичної електрики, електромагнітного випромінювання та шуму на робочому місці**

Причиною виникнення струмів статичної електрики є, зазвичай, доторкання до поверхонь, які мають питомий опір до  $10^5$  Ом·м. Найчастіше це може бути доторкання працівників лабораторії до ПК.

##### **Захист від поразки електричним струмом.**

Для захисту оператора від ураження струмом в результаті пошкодження ізоляції та появи напруги на струмопровідних частинах слід застосувати наступне:

- захисне заземлення струмопровідних частин;
- занулення металевих струмопровідних частин;
- захисне відімкнення чи блокування (зокрема, в ПК використовують блокові схеми).

Відповідно до держстандарту ДСТУ 12.2.007.6-93 опір заземлюючого обладнання повинен бути не більше 4 Ом.

Сучасний комп'ютер можна віднести до малошумної категорії апаратури, яка створює шум в інтервалі припустимих значень (65 дБ) відповідно до стандарту ДСН 3.3.6.037-99 “Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку” [13].

Розглянемо перелік наявних джерел шуму:

1. Вентилятор ПЭВМ типу IBM ATX - 10 шт.

2. Принтер Star NX-1500 - 1 шт.

По характеру шуми, утворені означеними джерелами, класифікуються:

- По характеру спектра – широкосмугові;
- По тимчасових характеристиках – непостійні.

Виникає неіонізуюче випромінювання екранів комп'ютерів внаслідок роботи електронно-променевої трубки ( відсутнє в сучасних ЖК моніторах).

При роботі комп'ютеру рівень іонізації повітря складає 2000 позитивно заряджених іонів на 1см<sup>3</sup> повітря та 1000 негативно заряджених іонів на 1см<sup>3</sup> повітря приміщення, що відповідає затвердженим нормам НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» (Наказ Держгірпромнагляду від 26.03.2010р. № 65) [13].

Очевидно, що сучасні комп'ютери не створює шуму, який перевищує встановлені насьогодні санітарні норми.

Деякі нормативні значення рівнів шуму відповідно до стандарту ДСН 3.3.6.037-99 “Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку” [13].

Таблиця 5.3.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

Робочі місця	Рівні звукового тиску в октавних смугах зі середньо-геометричними частотами, Гц								
	1,5	3	25	50	100	200	400	800	1600
Висококваліфікована робота, вимірювальні й аналітичні роботи в лабораторії	3	9	0	3	8	5	2	0	9

### 5.5. Забезпечення пожежної безпеки

Головними причинами виникнення пожеж у приміщеннях, де працюють оператори комп'ютерів є:

- порушення пожежних правил та норм у процесах виробництва;

- неправильна експлуатація систем опалення чи вентиляції;
- невиконання протипожежних заходів щодо обладнання пожежної сигналізації, незабезпечення потрібними засобами пожежогасіння;
- неналежне знання персоналом протипожежного інструктажу;
- паління у заборонених місцях;
- несправність чи перенавантаження блоків живлення та іншого наявного електричного обладнання.



Рис. 5.1. План евакуації приміщення

Згідно з існуючими вимогами й нормами пожежної безпеки, зокрема НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки в Україні” виробничі приміщення повинні бути обладнані такими первинними засобами пожежогасіння, як в нашому випадку вогнегасник ВВ-5,1шт, також автоматикою для виявлення чи запобігання пожежам, засобами автоматичної системи пожежної сигналізації. Також маємо два датчики ППК-8, призначені для відстеження загорянь чи наявності диму в приміщенні. Такі датчики, зазвичай, кріпляться на стелю, а кожен з них розрахований на площу до 20 м<sup>2</sup>. Світлодіодна індикація блимає кожні 40 секунд.



Так як у лабораторії, яка розглядається у роботі, застосовують виключно негорючі матеріали в холодному стані, то приміщення відносять до категорії “Д”.

При виникненні пожежі використовують вуглекисневі переносні вогнегасники, які повинні розміщуватися шляхом навішування на вертикальні конструкції на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх повного відчинення;

## 5.6. Розрахунок загального освітлення

Розрахуємо загальне освітлення, де буде встановлюватися й експлуатуватися базове серверне встаткування.

Вихідні дані для розрахунків:

- існуюча норма освітленості  $E_H$  - 200 лк;
- висота підвісу над робочою поверхнею складає  $h_p = 3$  м;
- розмір приміщення -  $A = 4$  м,  $B = 3$  м,  $H = 3$  м;
- тип світильника - офісний світильник із світлодіодними лампами Армстронг с призматичним склом IP40 EP (параметри - 220V, 24 W)
- світловий потік одного освітлювача складає 2640 лм;

Знаходимо відповідний показник приміщення  $i$ :

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} = \frac{4 \cdot 3}{3 \cdot (4 + 3)} = 0,571; \quad (5.1)$$

Приймаємо відповідно до перерахованих вище параметрів коефіцієнт використання світлового потоку 0,57; коефіцієнт запасу - 1,5; а поправочний коефіцієнт рівний 1,1.

Необхідну кількість ламп знайдемо за такою формулою

$$n = \frac{E_H \cdot S \cdot K \cdot z}{F_L \cdot \eta}; \quad (5.2)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку;  $z$  – поправочний коефіцієнт;  $S$  – площа робочої поверхні;  $F_L$  – світловий потік однієї лампи;  $E_H$  – норма освітленості;  $K$  – коефіцієнт запасу;  $n$  – кількість ламп.

$$n = \frac{200 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2640 \cdot 0,57} \approx 2,63 \quad (5.3)$$

Відповідно до наведених вище обчислень потрібна кількість освітлювачів становить 3 шт.

### **5.7. Інструкція з охорони праці інженера-конструктора**

Дана інструкція передбачає основні вимоги по організації й проведенню безпечної роботи користувачів комп'ютеру.

1. Перед початком роботи на комп'ютері необхідно:

А. Ознайомитися з інструкцією з експлуатації лабораторії й розташуванням наявних в ній рубильників.

Б. Для включення комп'ютеру необхідно застосувати кабелі електроживлення та зовнішніх обладнань підключити до стандартної мережі з напругою 220 В з частотою 50 Гц.

В. Забороняється підключати кабелі при включених у мережу зовнішніх обладнань задля уникнення ушкодження окремих вузлів комп'ютерів.

2. У процесі експлуатації комп'ютера:

А. Забороняється встановлювати додаткові модулі розширення при включеному блоці електроживлення, як і використовувати саморобні кабелі для блоків розширення чи блоків електроживлення, зайву довжину кабелів потрібно скласти гармошкою.

Б. Установлюються нижчезазначені внутрішні змінні режими роботи та відпочинку при роботі з комп'ютером:

- при 8-годинній робочій зміні на комп'ютері потрібно проводити регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хв. через кожну годину такої роботи за візуальним дисплейним терміналом (ВДТ);

- при 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно вказаним вище, а протягом 4-ох останніх годин роботи щогодини тривалістю 15 хв.

В. У випадках, якщо виробничі обставини не дають змоги застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи із ВДТ не має перевищувати 4 години.

3. При закінченні роботи на комп'ютері необхідно виключити електроживлення системного блоку й усіх зовнішніх обладнань, які входять до складу комп'ютерної системи.

4. Обов'язки працюючих при аварійних ситуаціях:

а. Терміново повідомити в службу 101.

б. У разі пожежі терміново знеструмити все встаткування, перекрити наявні канали вентиляції чи кондиціонування, включити пожежну сигналізацію та вжити заходів для гасіння пожежі індивідуальними засобами, якими обладнана лабораторія (наприклад, вогнегасник вуглекислий ВВ-5).

в. Доповісти керівникові лабораторії щодо аварійної ситуації.

### **Висновки за розділом 5**

1. В цьому розділі розглянуто умови охорони праці для інженера–електроніка, що буде розроблювати визначений в роботі пристрій. Розраховано освітлення робочого приміщення, що дозволить зберегти зір операторам ПК. Наведено практичні рекомендації щодо облаштування робочого приміщення для зменшення шкідливого впливу ПК.

2. Загальна потужність освітлення складає  $2640 \cdot 3 = 7920$  Вт .

3. Потужність освітлення на один кв.м. складає  $\frac{7290}{12} = 660$  Вт .

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### **6.1. Принцип роботи пристрою і його вплив на навколишнє середовище**

Радіолокаційна станція – система для виявлення повітряних, морських та наземних об'єктів, а також для визначення їх дальності, швидкості та геометричних параметрів. Принцип її роботи заснований на випромінюванні радіохвиль і реєстрації їх відбиттів від об'єктів.

В роботі розроблено робастний алгоритм виявлення для виявлювача радіолокаційних сигналів. Він буде далі впроваджуватися в систему обробки сигналів РЛС. Саме тому конструкцію, принцип дії й шкідливий вплив на навколишнє середовище саме РЛС буде досліджуватися в цьому розділі.

В основі конструкції будь-якої РЛС лежать лише три компоненти: передавач, антена та приймач. Передавач є, зазвичай, джерелом електромагнітного сигналу високої потужності. Залежно від конструкції, РЛС може функціонувати або в імпульсному режимі, формуючи спеціальні короткі потужні імпульси, або ж випромінювати неперервний електромагнітний сигнал. Наявна в локаторі антена виконує фокусування сигналу передавача, а також формування діаграми направленості. Крім того вона приймає відбитий від цілі сигнал та передає його на приймач. Залежно від реалізації прийом відбитого сигналу може проводитися тією самою антеною чи іншою, яка часами може розташовуватися на значній відстані від самого передавального пристрою. Приймач виконує підсилення й обробку прийнятих сигналів.

РЛС працюють на частотах 50 МГц-15 ГГц, тим не менш окремі системи можуть функціонувати на частотах до 100 ГГц. Електромагнітний сигнал, що утворюється при роботі РЛС, відрізняється від випромінювання інших джерел принципово. Це пов'язано із періодичним переміщенням у просторі наявної діаграми направленості антени РЛС, що призводить до просторової переривчастості опромінення. Відмітимо, що денний час напрацювання РЛС у різних режимах може тривати від кількох годин до цілої доби. Зокрема, в метеорологічних РЛС, які

працюють в режимі 30 хв. – випромінювання та 30 хв. – пауза, сумарне напрацювання складає 12 год., а РЛС аеропортів в основному працюють цілодобово [14].

Через те що біологічна дія електромагнітних полів (ЕМП) НВЧ діапазону має яскраво виражений тепловий характер, то зазвичай для опису цього діапазону використовують щільність енергії на одиницю площі, Вт/м<sup>2</sup>. Значення цього параметру біля установок СВЧ можуть змінюватися в досить широких межах, що значною мірою залежить від їхньої потужності та конструктивного виконання.

Зростання потужності локаторів різного призначення призводить до збільшення електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону, що, в свою чергу, на місцевості створює зони великої протяжності з високою щільністю потоку енергії. А це негативно впливає на довкілля. У процесі роботи РЛС утворюються потужні електромагнітні поля, які мають негативний вплив на людину, порушують процеси росту рослин та природну міграцію тварин.

Отже, головним чинником негативного впливу на довкілля РЛС є, зазвичай, електромагнітне випромінювання, і саме його вплив на навколишнє середовище далі будемо досліджувати. Серед непрямих факторів роботи РЛС, що спричиняють негативний вплив на екосистему, виділимо велике споживання електроенергії, яка, в основному, продукується на теплових й атомних електростанціях, й утилізацію радіокомпонент після відпрацювання їх ресурсу, в їх склад входить досить велика кількість важких металів.

## **6.2. Вплив електромагнітного випромінювання на навколишнє середовище**

Електромагнітні хвилі є біологічно активними факторами, що негативно впливає на навколишнє середовище, зокрема на людину.

Активність дії ЕМП різних діапазонів частот збільшується із ростом частоти та досить серйозно впливає в НВЧ діапазоні. НВЧ випромінювання розповсюджується в границях прямої видимості. На деяких ділянках діапазону НВЧ хвилі розсіюються молекулами кисню чи атмосферними опадами, що обмежує

дальність їх розповсюдження у середовищі, яке через це нагрівається. В рамках сфокусованого антеною вузького променя інтенсивність ЕМП набагато збільшується, а за його границями стає набагато меншим. Це дозволяє досить чітко визначати зони, які є небезпечними для здоров'я людей.

Енергія ЕМП радіочастот взаємодіє із людиною чи іншими живими системами непрямым та прямим шляхами. Базовим прямим механізмом взаємодії є, зазвичай, вплив струмів, що наводяться в тканинах організмів. Величина та характер впливу залежать від частоти й інтенсивності ЕМП, а також і від параметрів тканин. Зазначимо, що при дії НВЧ полів нервові тканини стають менш чутливими до прямої стимуляції ЕМП, і основним механізмом взаємодії стає виключно термалізації енергії.

Непрямі шляхи взаємодії можуть ставати причиною специфічного взаємодії. Зокрема, у разі знаходження у ЕМП різних металевих об'єктів на них наводяться високочастотні напруги. Контакт тіла людини з такими об'єктами може бути причиною протікання місцевих високочастотних струмів великої щільності, здатних викликати опіки чи удар, як наслідок впливу на периферичну нервову систему. Величина струму залежить від напруженості ЕМП, розміру та форми об'єктів, частоти, площі, через яку відбувається контакт [14].

Поглинання енергії ЕМП в тканинах характеризується головним чином 2-ма процесами: коливанням вільних зарядів та коливанням дипольних моментів з частотою поля. Перший ефект призводить до появи струмів провідності. Він пов'язаний з електричним опором середовища втрат енергії, тоді як другий пов'язаний до втрат енергії за рахунок тертя дипольних молекул у в'язкому середовищі.

Під дією ЕМП в середовищі виникає такі процеси, як зсув зарядів, пов'язаних молекулярною структурою, рух вільних зарядів, зміна орієнтація осі обертання елементарних зарядів різних магнітних матеріалів.

На низьких частотах основний внесок у поглинання енергії електромагнітного випромінювання (ЕМВ) вносять втрати, які пов'язані з іонною провідністю. Остання зростає із збільшенням частоти поля у зв'язку із зменшенням

ємнісного опору мембран та з дедалі більшою участю внутрішньоклітинного середовища в загальній провідності. Це призводить до збільшення поглинання енергії. При подальшому зростанні частоти іонна провідність середовища практично залишається постійною, а поглинання енергії все продовжує зростати через втрати на обертання дипольних молекул середовища, переважно молекул білків та води [14].

Величина енергії, що поглинається біологічним об'єктом, значною мірою залежить від параметрів ЕМП (наприклад, виду модуляції, інтенсивності чи частоти) та характеристик і розмірів, форми чи положення біологічного об'єкта щодо поширюваного ЕМП. У спектрі ЕМВ радіочастот виділяють три області. Для 1-ої області (<30 МГц) характерне швидке зменшення поглинання із зниженням частоти (пропорційно приблизно квадрату частоти). Характерною рисою 2-ої області (>10 ГГц) є, зазвичай, досить швидке загасання енергії ЕМВ при проникненні в середину тканини: фактично вся енергія поглинається у верхніх шарах біоструктур. Для 3-ої (діапазон 30 МГц-10 ГГц), проміжної за частотою області, характерна наявність ряду максимумів поглинання. Поява локальних максимумів поглинання в голові мають місце на частотах 750-2500 МГц, а максимум, обумовлений резонансом із загальним розміром тіла має діапазон 50-300 МГц.

Організм тварин та людей досить чутливий до дії ЕМВ. До критичних органів і систем відносять очі та центральну нервову систему. В результаті дії ЕМП можливі порушення в системах та органах, гострі чи хронічні ураження, функціональні порушення діяльності серцево-судинної, ендокринної, нервової, кровотворної та інших систем. Як правило зміни діяльності в нервовій і серцево-судинній системах є оберненими і, можуть зменшитися чи зникнути при знятті впливу ЕМП. Тим не менш тривалий і інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень чи захворювань.

Для персоналу, що працює в зазначених умовах, характерні хронічні ураження. Вони виявляються, зазвичай, після кількох років роботи з джерелами ЕМВ мікрохвильового діапазону при рівнях впливу, рівних від десятих часток до декількох мВт/см<sup>2</sup>.

При інтенсивності поля приблизно  $20 \text{ мкВт/см}^2$  спостерігається зменшення частоти серцевих скорочень та зниження артеріального тиску. Із зростанням інтенсивності з'являються електрокардіографічні зміни. Отже, при інтенсивності ЕМП  $6 \text{ мВт/см}^2$  помічено зміни в статевих залозах, крові та помутніння кришталика. Далі можуть бути такі симптоми, як розриви капілярів чи крововиливи в легені або печінку. Подальше опромінення помітно впливає на тканини, спричиняючи больові відчуття. Якщо інтенсивність перевищує  $1 \text{ Вт/см}^2$ , то це призведе до швидкої втрати зору. Пошкодження органів зору представляє собою один із серйозних ефектів, які викликають ЕМП НВЧ діапазону [14].

Постійне НВЧ випромінювання при певних параметрах негативно впливає на структурні компоненти екосистем. Наслідками таких дій для екосистем можуть бути пригнічення або ж стимуляція росту рослин, розмноження тварин чи мікроорганізмів, а також і розвиток у них хронічних хвороб чи мутацій.

### **6.3. Методи і способи захисту навколишнього середовища від негативного впливу електромагнітних випромінювань**

До організаційних заходів щодо захисту від дії ЕМП відносять: екранування джерел випромінювання; екранування робочого місця чи обмеження місця та часу перебування в зонах дії ЕМП; вибір режимів роботи випромінюючого обладнання, що забезпечує рівень випромінювання, який не перевищує гранично допустимі рівні; застосування засобів індивідуального захисту.

Для кожної установки, яка випромінює електромагнітну енергію, мають визначатися санітарно-захисні зони де інтенсивність ЕМП перевищує гранично допустиме значення. Границі зон визначаються індивідуально для кожного конкретного випадку розміщення установки при її роботі на максимальній потужності випромінювання та контролюються за допомогою спеціальних приладів [14-16].

Ще на стадії проектування має бути забезпечене таке взаємне розташування опромінюючих й опромінюваних об'єктів, що зводило би до мінімуму інтенсивність такого опромінення. Також потрібно зменшити ймовірність проникнення людей у



зони з високою інтенсивністю ЕМП, скоротити час знаходження під опроміненням. Потужність джерел випромінювання мусить бути мінімально допустимою.

Також важливе значення мають інженерно-технічні методи захисту, зокрема локальний, колективний та індивідуальний. Колективний захист базується на розрахунках поширення радіохвиль за умов конкретного рельєфу місцевості. Економічно доцільним є використання природних екранів, наприклад, це лісонасадження, складки місцевості чи нежитлові будівлі. Встановивши антену нагорі, можна суттєво зменшити інтенсивність поля, яке опромінює населений пункт. При захисті від випромінювання має враховуватись затухання хвилі при проходженні через екран. Для екранування можна використовувати також і рослинність.

Локальний захист досить ефективний і використовується часто. Він ґрунтується на використанні радіозахисних матеріалів, які забезпечують велике поглинання енергії випромінювання у матеріалі й віддзеркалення від його поверхні. Для екранування за рахунок віддзеркалення використовують металеві листи чи сітки з високою провідністю. Захист приміщень від зовнішніх випромінювань також можна здійснити шляхом захисту вікон сітками чи металізованими шторами, обклеювання стін металізованими шпалерами. Таким чином опромінення у такому приміщенні зводиться до мінімуму, але віддзеркалене від екранів випромінювання розповсюджується в просторі й потрапляє на інші об'єкти.

Технічні засоби, що обмежують інтенсивність ЕМП в діапазоні від одиниць Гц до одиниць ГГц, засновані на досить простих принципах. В області низьких частот (за умови, що розміри пристрою чи зони, яку треба захистити, істотно менша довжини хвилі) це принцип індукування електричного заряду чи струму, в області підвищених частот – властивість загасання ЕМП у провідному середовищі.

Стосовно задачі зменшення напруженості електричного поля низької частоти (зокрема, промислової) застосовують принцип електростатичного екранування. Над землею підвішується якась система провідників, які електрично поєднуються із землею. За наявності зовнішнього електричного поля на провідниках індукуються

електричний заряд, знак якого забезпечує знаження напруженості поля під провідниками.

Принцип електромагнітної індукції, відповідно до якого в замкнутому контурі індукується струм, може використовуватися для зниження напруженості магнітного поля в обмеженій області. Напрямок індукованого струму такий, що напруженість магнітного поля у частині простору знижується. Саме такі екрани назвають «пасивними». Завдяки цьому можна в 2-3 рази зменшити напруженість. Наряду із пасивними використовуються й «активні» екрани, де струм створюється спеціальним джерелом.

На низьких частотах як правило застосовуються екрани із матеріалів з великою магнітною проникністю (зокрема, пермалой та електротехнічна сталь). В області високих частот ефективні екрани з міді. Для послаблення щільності потоку потужності НВЧ випромінювання на 20-30 дБ використовують сітчасті металеві екрани. Стички між металічними листами повинні надійно з'єднуватися пайкою чи зваркою по всьому периметру.

Також до інженерно-технічних засобів захисту належать: конструктивна можливість функціонувати на зниженій потужності в процесі налагоджування, як і профілактики; дистанційне керування та робота на еквівалент навантаження.

Для персоналу, який щоденно обслуговує радіозасоби й знаходиться на невеликій відстані, бажано забезпечити надійний захист завдяки екрануванню апаратури. Крім віддзеркалюючих також широко розповсюджені екрани із спеціальних матеріалів, що поглинають випромінювання.

Існують різноманітні радіопоглинальні матеріалів однорідного та композиційного складу, що складаються із різнорідних магнітних чи діелектричних речовин. Для підвищення ефективності поглинача поверхню екрану виготовляють із ребристою, шорсткою або у вигляді шипів.

Радіопоглинальні матеріали також використовують для захисту навколишнього середовища від ЕМП, що генерується джерелом, яке знаходиться в екранованому об'єкті.

Засоби індивідуального захисту використовуються тоді, коли всі інші заходи є недостатньо ефективними, наприклад при переході через зони збільшеної інтенсивності випромінювання, ремонтних чи налагоджувальних роботах у аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю чи при зміні інтенсивності опромінення. Засоби індивідуального захисту застосовують у випадках, коли безпека робіт не може бути забезпечена конструкцією чи розміщенням устаткування, організацією виробничих процесів чи засобами колективного захисту.

Термін «клітка Фарадея» означає замкнуту провідну оболонку. Напруженості поля в клітці (при умові, що всередині оболонки немає електричних зарядів) дорівнює нулю. Практичним прикладом застосування такого екрану є, зазвичай, захисний костюм, який в застосовується при роботах в електричних полях з напруженістю більше 25 кВ/м. Костюм виконується з спеціальної тканини, в яку вплетені тонкі дроти. Металізована тканина складається із бавовняних або ж капронових ниток, спіралью обвитих металевим дротом. В основному, ця тканина, наче металева сітка (при відстані між нитками 0,5 мм) послаблює випромінювання не менш, ніж на 20-30 дБ. При зшиванні деталей захисного одягу бажано забезпечити контакт ізольованих провідників. Саме тому електрогерметизація швів проводиться електропровідними розчинами або ж клеями, які забезпечують гальванічний контакт чи збільшують ємнісний зв'язок проводів, які не контактують [15].

Санітарні норми та правила захисту населення від дії ЕМП, що створюється радіотехнічними засобами, визначають гігієнічні вимоги до телевізійних станцій, РЛС, радіостанцій та інших об'єктів, що випромінюють електромагнітну енергію в навколишнє середовище [15]. Дотримання всіх санітарних норм є, зазвичай, одним з найголовніших методів захисту навколишнього середовища від шкідливої впливу ЕМВ.

#### **6.4. Утилізація й методи зменшення шкідливого впливу на довкілля при виготовленні та роботі радіолокаційних станцій**

При виготовленні сучасних РЛС потрібно проводити комплекс заходів, які направлені на значне зменшення шкідливого впливу їх виробництва на навколишнє середовище, а саме:

- використовувати новітні технології чи конструкції при виготовленні РЛС, що дає змогу зменшити використання матеріалів, які складно піддаються утилізації та є шкідливими для довкілля;
- на стадії проектування новітніх РЛС розробляти рекомендації з утилізації й переробки всіх складових частин РЛС;
- залишки та відходи розчинів після виготовлення друкованих плат необхідно відфільтровувати з подальшою їх утилізацією;
- при монтажі й пайці використовувати фільтри, які запобігають попаданню шкідливих випаровувань, пилу та різних аерозолів у атмосферу.

При роботі РЛС використовується величезна кількість електроенергії. Основну частину електроенергії в Україні, як відомо, продукують теплові (ТЕС) й атомні електростанції (АЕС). Зараз шкідливі викиди від ТЕС складають 2,3 – 2,5 млн. тон за рік. Основними шкідливими речовинами, що викидаються ТЕС, є оксиди сірки й оксиди нітрогену. Натомість АЕС мають потенціальну небезпеку, що пов'язана з можливими аваріями чи техногенними катастрофами, і, звичайно, існує проблема утилізації відпрацьованого ядерного палива [15].

Серед заходів, що можуть зменшити негативний вплив від виробництва електроенергії на навколишнє середовище, можна відмітити, зокрема, проведення модернізації всього устаткування електростанцій для зменшення реальних викидів, збільшення питомої ваги у виробництві електроенергії з відновлюваних джерел, розробка стратегії поводження з відходами ТЕС, також визначення дозволів на концентрацію викидів, які ґрунтуються на передових світових практиках та враховують місцеві особливості.

Сучасні РЛС це системи, що складаються з великої кількості радіокомпонентів. Під їх утилізацією розуміють вилучення із них цінних металів з метою подальшого повторного використання[13].

Найнебезпечнішими важкими металами, які можуть забруднювати довкілля при утилізації сучасної радіоапаратури, є мідь, свинець, кадмій та нікель. Свинець відносять до важких металів, його накопичення в організмі людини або ж тварин може спричинити ураження їх центральної нервової системи, печінки, нирок чи мозку. Накопичення міді в організмі може сприяти розвитку пневмонії чи гепатиту. Кадмій є достатньо отруйною речовиною, його незначні концентрації спричиняють серйозні захворювання кісткових тканин, нервової системи, а вже тривала його дія може спричинити смерть. Нікель належить до числа канцерогенів і може викликати респіраторні захворювання [14].

Важкі метали впливають також на ґрунтові організми, порушуючи існуючу рівновагу між видами через різну їх чутливості до забруднення ґрунту. А різні рослини мають різну стійкість до важких металів. Деякі види можуть накопичувати значні їх кількості, виступаючи в ролі геоіндикаторів. Найстійкішими до важких металів є деякі бактерії й мікроскопічні гриби.

Отже, при утилізації радіокомпонентів потрібно приділяти особливу увагу для запобігання забрудненню навколишнього середовища важкими металами.

## **Висновки за розділом 6**

Розроблений виявлювач радіолокаційних сигналів сам по собі не несе шкідливого впливу навколишньому середовищу, через те що є лише набором операцій, які можуть підвищити ефективність виявлення сигналів при дії негаусівських завад порівняно з існуючими параметричними алгоритмами. Але локатори, в яких передбачається застосування даного алгоритму, безпосередньо є джерелами забруднення довкілля шкідливим ЕМВ, як і важкими металами, які є у складі радіокомпонентів.

В цьому розділі було розглянуто шкідливий вплив ЕМВ, запропоновано методи й способи захисту навколишнього середовища від нього, як і питання

виготовлення, роботи й утилізації РЛС. Також було підкреслено, що використання новітніх технологій і елементної бази при виготовленні РЛС дозволяє набагато зменшити забруднення навколишнього середовища.

Відмітимо, що для зменшення впливу ЕМП на населення й персонал, яке знаходиться в зоні дії радіоелектронних засобів, бажано вжити ряд захисних заходів. Здійснення організаційних чи інженерно-технічних заходів мають покладатися передусім на керівників підприємств чи на органи санітарного нагляду. Підприємствам й установам, які застосовують джерела ЕМП, потрібно проводити поточний санітарний нагляд за об'єктами, здійснювати організаційно-методичну роботу із підготовки спеціалістів, як і інженерно-технічний нагляд [14]. Для покращення захисту від електромагнітного випромінювання бажано створювати систем сигналізації перевищення параметрів ЕМВ понад встановлені норми.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі на першому етапі розглянуто загальний принцип дії бортового радіолокатора, з метою визначення необхідності та місця застосування технологій стійкого виявлення цілей в умовах складних заводових ситуаціях. Доведено, що актуально ця задача стоїть на сьогоднішній день, особливо за умов ведення радіоелектронної боротьби (РЕБ) в процесі військових дій, коли супротивник утворює різноманітні навмисні завади для придушення роботи РЛС, зокрема, бортових.

Показано, що парадигма сучасної РЕБ охоплює широкий спектр проблем, пов'язаних безпосередньо з функціонуванням РЕС, зокрема на літаках, оперативною розвідкою їх діяльності та методами радіоелектронного придушення. Означені основні напрямки радіоелектронного захисту радіолокаторів, які здобуваються, перш за все, на основі стійких технологій обробки сигналів та виявлення цілей.

В умовах РЕБ особливо важливою стає боротьба із навмисно організованими радіолокаційними завадами різних типів. Доведена доцільність застосування технологій, що базуються на принципах селекції завад: просторова та поляризаційна, частотна та фазова, компенсаційна та часова.

В сучасних бортових РЛС передбачені режими обробки відбитих пасивних сигналів від землі та метеоутворень. Але якість виявлення літаків на їх фоні є недостатньо доброю, оскільки вони можуть маскуватися. Тому це питання потребує додаткового вирішення шляхом використання спеціального виявлення, який розроблений у даній кваліфікаційній роботі.

У роботі прийнятий за основу той факт, що стійке виявлення цілей доцільно здійснювати у некогерентному виявлювачі-накопичувачі бінарних сигналів за принципом «ковзного вікна». Виявлювач повинен бути інформаційно синхронізований з РЛС, щоб забезпечити узгоджену одночасну обробку аналогових та цифрових сигналів.

З таких позицій визначені вимоги до стійкого виявлювача цілей, відповідно до яких розроблені структурна та функціональна його схеми, що є придатними для реалізації на мікропроцесорах. Здійснений синтез алгоритмів роботи виявлювача. Для забезпечення достатньо високої ефективності виявлення цілей первинна обробка за дальністю повинна утримувати імовірність хибної тривоги на постійному рівні. А далі вже для виявлення цілей та вимірювання їхніх координат призначений накопичувач, що діє за азимутальним принципом ковзного вікна.

Це дозволило принципову схему стійкого виявлювача, із обґрунтуванням та вибором мікропроцесорів обробки сигналів середньої обчислювальної потужності 38051 F007 фірми Signal. При цьому застосовано два мікропроцесора, один з яких здійснює обробку сигналу у режимі реального часу, а другий забезпечує загальну синхронізацію виявлювача та формує три часові сигнали: запускаючий імпульс, імпульси початку кілець дальності та строб по дальності СРЦ.

Розроблений пристрій може бути застосований в РЛС іншого призначення, які використовуються в цивільній і військовій авіації, наприклад, у наземних радіолокаторах



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.А. Головін, Т.В. Романенко, Радіолокація: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021, 84 с.
2. Д.І. Вельміскін, Теоретичні основи радіолокації: Конспект лекцій, Дніпропетровськ, 2018, 128 с.
3. Яновський Ф. Й. Радіолокаційні системи повітряних суден, Навч. пос., Київ, НАУ, 2017, 688 с.
4. Б.Ф. Бондаренко, В.В. Вишнівський, В.П. Долгушин, Теорія радіолокаційних систем, Київ, 2019, 383с.
5. Прокопенко І.Г. Статистична обробка сигналів: навч. посіб, Київ, НАУ, 2018, 220 с.
6. Г. Д. Братченко, Б. В. Перелигін, О. В. Банзак, Н. Ф. Казакова, Д. В. Григор'єв, Методи та засоби обробки сигналів. Навч. пос., Одеса, 2018, 452 с.
7. І. Пархомей, В. Козловський, С. Гнатюк, М. Рябий; Методи безпечної обробки інформації у багатопозиційних системах радіолокації монографія, Київ, 2018, 230 с.
8. І. В. Лужанський, Досвід та особливості застосування авіації Повітряних Сил Збройних Сил України у ході АТО, інформаційно-методичний посібник, під заг. кер. А.М.Алімпієва, Хмельницький, 2019, 4с.
9. М. О. Черниш, Г. В. Певцов, С. В. Пшеничних, А. Я. Яцуценко, Перспективи розвитку радіоелектронної боротьби з урахуванням досвіду країн НАТО // Зб. наук. праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил, Вип. 1(1), С. 15 – 27.
10. Lockheed-Boeing-General Dynamics F-22 Raptor. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.paralay.com/f22.html>.
11. В. І. Гажаман Електробезпека на виробництві, Київ, 2002, 272 с.
12. ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

13. Довідник з управління охороною праці для керівників підприємств і організацій, Київ, 2019, 308 с.
14. ДСТУ ОHSAS 18002:2015 Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001.
15. НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.
16. ДСТУ EN 50495:2017 Захисні пристрої, потрібні для безпечного функціонування обладнання, з урахуванням ризиків виникнення вибуху.
17. Охорона праці [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/08/Binder21.pdf>.
18. С. В. Лукашук-Федик, Безпека життєдіяльності, навч. посіб., Тернопіль, 2018, 162 с.
19. В. М. Ісаєнко, В. М. Криворотько, Г. М. Франчук, Екологія та охорона навколишнього середовища, навч. посіб., Київ, 2015, 192 с.
20. Б. В. Дзюндзюк, Охорона праці. Збірник задач. Навч. посібник, Харків, 2018, 236 с.