

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи  
(ступінь вищої освіти)

на тему «Дослідження неоднозначності  
визначення частоти сигналу вширокопозволовому  
радіолокаційному приймачі»

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи Ртз-218/а

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
(код і найменування спеціальності)

Освітньої програми Радіотехніка

Циберецько Ю. М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Бузрова Т. І.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Субботін С. О.  
(прізвище та ініціали)

20 19

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІІР, ФРЕТ  
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій  
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) \_\_\_\_\_  
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
 (код / назва)  
 Напрямок підготовки ОПН Радіотехніка  
 (код / назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри РТТ  
Шелора Марія Іванівна С.П.  
 "\_\_\_\_\_" 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

- Нестеренко Юрій Михайловичу  
 (прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема роботи "Дослідження неоднозначності визначення частоти сигналу в ширококутовому приймачі"  
 керівник роботи Бугрова Тетяна Іванівна доцент кафедри РТТ,  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
 затверджені наказом вищого навчального закладу від "24" листопада 2019 року № 366
  - Строк подання студентом роботи 12.12.2019
  - Вихідні дані до роботи Дослідити широкосмуговий ширококутовий приймач матричної ґрунтової зорумовленості висхідного частоти 1,2-го порядку. Своїми чотирма вхідними вхідними рівнями сигналу (-55 дБм; -80 дБм), ймовірності хибних тригів ( $10^{-4}$ ... $10^{-8}$ ) та шумів сигнал/шум (0...15)
  - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) огляд приймачних пристроїв РАС і технологій їх реалізації, дослідження неоднозначності визначення частоти в ширококутових РА приймачах, їх принципі побудови і проєктування, розрахунок і експериментальних параметрів, техніко-економічний розрахунок, охорона праці та безпека в НС
  - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
29 слайдів презентації

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3, 4	Бугрова Т.І. доцент кафедри РІТ	30.09.19	30.11.19
5	Левченко М.В., д. держ. упр., проф.	16.09.19	25.11.19
6	Якімцов Н.В., доц. каф. ОПІНСКІМ	25	25
7	Мороз С.В., доцент каф. РІТ	25	25

7. Дата видачі завдання 30 вересня 2019р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення прізвищ прізвищ РІС і технологій їх реалізації	30.09.19 - 15.10.19	1
2	Визначення координат і вимірювань частот широкополосних РІС приймаючої	12.10.19 - 28.10.19	2
3	Принципи побудови і проектування ЧПТ	24.10.19 - 2.11.19	3
4	Розрахунок параметрів ЧПТ	1.10.19 - 22.11.19	4
5	Техніко-економічне обґрунтування	1.09.19 - 25.11.19	5
6	Оцінка праці та безпеки в НС	10.10.19 - 28.11.19	6
7	Оформлення РЗ та презентації	12.12.19	файл pptx
8	Рецензування	16.12.19	
9	Захист	18.12.19	

Студент

(підпис)

(підпис)

Керівник роботи

Левченко М.В.  
(прізвище та ініціали)Бугрова Т.І.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 101 сторінка, 19 рисунків, 14 таблиць, 38 джерел

Об'єктом дослідження є широкосмуговий приймальний пристрій РЛС.

Метою є зменшення неоднозначності визначення частоти сигналу, підвищення ймовірності вірного приймання, зменшення рівня хибних тривог на фоні перешкод різної інтенсивності.

Методи, які використовувались в дослідженні: методи статистичної радіотехніки, чисельні методи, спектральні методи.

Основні результати: досліджено неоднозначність визначення частоти сигналу в широкосмуговому радіолокаційному приймачі матричного типу, оцінено причини виникнення; оцінено НВЧ, що виникає при попаданні сигналу в суміжну область сусідніх каналів. Отримано результати теоретичного аналізу способу оцінки величини НВЧ-2 на основі значення ймовірності хибної тривоги приймача, уточненої з урахуванням виявлення сигналу за межами частотних каналів приймача, виконано порівняльний аналіз показників ефективності двох способів зниження НВЧ-2: при використанні ПВЧ і при поділі каналів на дві групи. Вибрано структурну схему широкосмугового радіолокаційного приймача матричного типу з урахуванням використання безлічі каналів обробки, засобів зниження НВЧ. Розраховано вартість витрат на проведення дослідно-конструкторської розробки. Розглянуто питання охорони праці.

ШИРОКОСМУГОВИЙ ПРИЙМАЧ, НЕОДНОЗНАЧНІСТЬ  
ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ, РІВЕНЬ ХИБНИХ ТРИВОГ,  
СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ-ШУМ, ПРОМІЖНА ЧАСТОТА, РТС,  
СМУГОВИЙ ФІЛЬТР, ФАЗОВИЙ ДЕТЕКТОР, ЦИФРОВА ОБРОБКА  
СИГНАЛУ, ІНТЕГРАЛ ЙМОВІРНОСТЕЙ, MATLAB

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП .....	9
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ РЛС І ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	12
1.1 Аналіз засобів радіотехнічних систем в умовах складної радіоелектронної обстановки.....	12
1.2 Огляд базових схем приймальних пристроїв і технологій обробки сигналів .....	13
1.3 Порівняльний аналіз базових схем приймальних пристроїв РТС .....	26
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ В ШИРОКОСМУГОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПРИЙМАЧАХ .....	32
2.1 Класифікація неоднозначності визначення частоти в приймачі.....	32
2.2 Математичний опис неоднозначності визначення частоти другого роду.....	35
2.3 Оцінка величини НВЧ-2 по ширині смуги неоднозначності .....	43
2.4 Порівняльний аналіз показників ефективності способів зниження неоднозначності визначення частоти.....	44
3 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ПРОЕКТУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВОГО ПРИЙМАЧА .....	56
3.1 Обґрунтування технічних рішень, що поліпшують показники якості широкосмугового приймача .....	56
3.2 Розробка узагальненої структурної схеми ШПрП.....	58
4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ШИРОКОСМУГОВИХ ПРИЙМАЧІВ .....	67
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	74

	6
5.1 Планування науково-дослідних робіт.....	74
5.2 Розрахунок планових витрат на виконання НДР.....	76
5.3 Розрахунок економічної ефективності НДР.....	82
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>84</b>
6.1 Аналіз потенційних небезпек .....	84
6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки .....	86
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці .....	89
6.4 Заходи з пожежної безпеки .....	93
6.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	94
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>97</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>98</b>

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

DRFM	– (Digital Radio Frequency Memory) цифрова радіочастотна пам'ять
АЧХ	– амплітудно-частотна характеристика
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
БПВ	– багатоканальний пристрій виявлення
ВЧ	– висока частота
ДД	– динамічний діапазон
ДЛЗ	– дисперсійну лінію затримки
ДПВ	– двоканальний пристрій виявлення
ДРВ	– джерело радіовипромінювання
ДРЧ	– діапазон робочих частот
ДПРЧ	– двоканальний перетворювач частоти
ЗП	– захисний пристрій
ЛЗ	– лінія затримки
МСХ	– магнітостатичні хвилі
МІС	– монолітні інтегральні схеми
НВЧ	– неоднозначність визначення частоти
ОГ	– опорний генератор
ОНС	– ознака наявності сигналу
ПАХ	– поверхнево акустичні хвилі
ПВЧ	– пристрій вимірювання частоти
ПКП	– паразитні канали прийому
ПРЧ	– підсилювач радіочастоти
ПО	– підсилювач-обмежувач
ПП	– пороговий пристрій
ПЦО	– пристрій цифрової обробки
ПЧ	– проміжна частота
РЕО	– радіоелектронна обстановка

РЛС	–	радіолокаційна система
РСА	–	РЛС з синтезованою апертурою
РТС	–	радіотехнічна система
СА	–	ступінчастий атенюатор
СФ	–	смуговий фільтр
ФАПЧ	–	фазове автопідстроювання частоти
ФД	–	фазовий детектор
ФКМ	–	фазокодо-маніпульований сигнал
ФНЧ	–	фільтр низької частоти
ХТ	–	хибна тривога
ЧЗП	–	частото-залежний пристрій
ШПрП	–	широкосмуговий приймальний пристрій
ШСС	–	широкосмугові сигнали
ЦАП	–	цифро-аналоговий перетворювач
ЦОМ	–	цифрова обчислювальна машина
ЦОС	–	цифрова обробка сигналів

## ВСТУП

Актуальність роботи. У зростаючої технічної оснащеності сучасного суспільства радіотехнічними засобами важлива роль належить системам радіолокації. У реальних умовах функціонування вони схильні до впливу різних природних і (або) спеціально створених перешкод. Тому в останні десятиліття найбільш важливим при проектуванні сучасних радіолокаційних систем (РЛС) є подальше підвищення їх завадо захисту. Це стосується як систем управління повітряним рухом, так і систем військового призначення. В силу діалектики боротьби і контрзаходів при проектуванні РЛС виникає необхідність враховувати реальні можливості радіоелектронного придушення, які перебувають на міжнародному ринку озброєнь.

Практична користь роботи полягає в наступному. Треба встановити факт наявності сигналу в прийнятому коливанні. Проблема створення широкосмугових приймальних пристроїв (ШПрП) з розширеним динамічним діапазоном традиційно є одним з основних завдань радіоелектроніки надвисоких частот. Основною причиною, що перешкоджає розширенню смуги частот, що приймаються, є побічні (паразитні) канали прийому (ПКП). Вони обмежують реальний динамічний діапазон приймального пристрою а, отже, тактико-технічні характеристики апаратури і області її застосування. Існують кілька шляхів вирішення зазначеної проблеми. Всі вони мають свої переваги і недоліки, пов'язані зі схемо технічними і конструктивними особливостями конкретних пристроїв.

Розробці і дослідженню засобів радіотехнічних систем (РТС) присвячені роботи [28,10], а також роботи [1,15,17,21,28,35]. Питання побудови приймально-аналізуючої апаратури засобів РТС систематизовані і глибоко проаналізовані в роботах [22, 24].

Слід також відмітити роботи зарубіжних авторів Лероя Ван Бранта, Джона Річарда Виганда, Річарда Пойсела [38].

На основі аналізу наведеної літератури можна зробити висновок про те, що основні тактико-технічні характеристики засобів РТС визначаються прийнятною системою. Виходячи з вирішуваних тактичних завдань, приймальна система може включати в себе один або кілька функціональних каналів, кожен з яких містить приймальний пристрій. Розробці і проектуванню приймальних пристроїв також присвячена велика кількість літератури. Найбільш повно питання проектування приймальних пристроїв розглянуті в роботах, написаних у різні роки як різними колективами авторів роботи [12], так і окремими авторами [3,8,36]. Питання шумів радіоприймального тракту і прийому слабких сигналів на тлі шумів досліджені в роботі [13]. Серед зарубіжних робіт найбільшої уваги заслуговують зарубіжні праці [30, 31]. Питанням проектування надвисокочастотних вузлів радіоприймальної апаратури присвячені також роботи [12,32], та ін.

Слід зауважити, що сучасні РЛС працюють в широкому діапазоні частот - від сотень мегагерц до десятків гігагерц [23]. При цьому окремі РЛС працюють на фіксованих частотах, інші – з перебудовою по частоті. Потенційно широкий діапазон робочих частот (ДРЧ) РЛС обумовлює необхідність використання в засобах РТС приймальних пристроїв з широкою миттєвою смугою огляду. Застосування сучасних РЛС широкосмугових сигналів (ШСС) [23] вимагає використання відповідної смуги пропускання аналогової частини приймача. Крім того, в окремих РЛС використовуються короткі імпульси, які можуть викликати труднощі при виявленні і обробці, що також необхідно враховувати при побудові приймача РТС.

Для розпізнавання окремих зразків техніки необхідно передбачити можливість обробки форми імпульсу [37]. В умовах складної радіоелектронної обстановки (РЕО) потоки імпульсних сигналів на вході приймача РЛС збігаються за часом приходу, викликаючи неоднозначність визначення частоти (НВЧ). Для ідентифікації та поділу джерел радіовипромінювання (ДРВ) необхідно достовірне виявлення суміщених за

часом сигналів і їх частотна селекція. Тому виникає необхідність в розробці структури широкопasmового приймального пристрою (ШПрП) засобів РТС, надійного, раціонального з точки зору техніко-економічних показників, що забезпечує виконання заданих технічних вимог і відповідає сучасному рівню розвитку техніки РТС і радіолокаційної техніки.

Структура ШПрП повинна бути науково обґрунтована, досліджена на предмет можливості бути реалізованою з максимально досяжними показниками, побудована на основі на сьогоднішній день останніх досягнень науки і техніки, а також підкріплена методикою проектування. Модульність і уніфікація є одними з основних принципів побудови техніки РТС п'ятого покоління. Тому ШПрП має бути орієнтований на застосування як в існуючих, так і в перспективних засобах РТС, а також має дозволяти виконувати розширення ДРЧ засобів РЛС за рахунок заміни одного модуля ШПрП на інший, або додавання модулів.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування засобів РТС, поліпшення їх техніко-економічних характеристик на основі розробки ШПрП з підвищеною пропускною спроможністю і зниженою НВЧ.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі:

- виходячи з аналізу існуючих приймальних пристроїв дослідити і систематизувати причини виникнення неоднозначності визначення частоти (НВЧ) в приймачі; дослідити розробку і дослідження способів зниження НВЧ;

- дослідити методики кількісної оцінки НВЧ.

- вибрати принцип побудови і проектування ШПрП РТС, що забезпечує прийом ШСС і коротких імпульсів, що володіє зниженою НВЧ;

- виходячи з аналізу існуючих приймачів ШСС, вибрати структурну і функціональну схеми приймача;

- визначити трудомісткість і витрати на проведення науково-дослідної роботи.

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ РЛС І ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

## 1.1 Аналіз засобів радіотехнічних систем в умовах складної радіоелектронної обстановки

Засоби РТС повинні розроблятися на основі аналізу сучасних і перспективних радіоелектронних засобів. Аналіз ведення бойових дій на сучасному етапі показує широке застосування авіації (літаків, вертольотів, крилатих ракет, безпілотних літальних апаратів), як головної розвідувально-ударної сили. Зазначені повітряні об'єкти в сукупності використовують різні випромінювання, основними з яких є: багатофункціональні і оглядові РЛС, радіовисотомір, доплерівські вимірювачі швидкості і кута зносу, РЛС забезпечення польотів на малих висотах, РЛС дальнього радіолокаційного виявлення, РЛС бічного огляду, бортові запитувача та відповідачі систем радіолокаційного впізнання і системи ближньої навігації, станції радіоелектронних перешкод. Для створення радіоелектронних систем різних призначень використовується практично весь діапазон радіохвиль від метрових до міліметрових. Таким чином, застосовується майже весь спектр електромагнітних коливань. При таких умовах на вхід приймача РЛС надходить змішаний потік сигналів з високою щільністю проходження імпульсів. Тому в умовах складної радіоелектронної обстановки (РЕО) виникає завдання виявлення і селекції сигналів різних джерел радіовипромінювання з частото-часовими параметрами, що перекриваються. Вимірювання параметрів прийнятого сигналу (частоти, тривалості імпульсу, часу приходу, напрямки приходу в азимутальній площині, амплітуди і т.п.) виконується в ході первинної обробки. Визначення приналежності до конкретного типу, екземпляру і режиму роботи ДРВ – при вторинній. І саме при вторинній обробці необхідно виявити і розділити імпульсні послідовності.

Основні параметри радіосистем мають імовірнісний (статистичний) характер, що пов'язано з імовірнісним характером радіосигналів, на які під час формування, розповсюдження та обробки впливають численні випадкові фактори. Ця обставина приводить до необхідності статистичного підходу до аналізу і синтезу РТС. До технічних параметрів можна віднести: довжину хвилі, ширину спектра сигналу, його тривалість і період повторення, чутливість приймального пристрою, ширину діаграми спрямованості антени, рівень бічних пелюсток і т.п. [26]. Помилкові виявлення сигналу поряд з невірно обмірюваними при первинній обробці параметрами сигналу не дозволяють виконати завдання вторинної обробки. У зв'язку з цим важливо забезпечити первинну обробку сигналу, виключити помилкові виявлення, невірне вимірювання кількості одночасно прийнятих сигналів і їх несучих. Зазначені завдання в засобах РТС, що стоять на озброєнні, вирішуються лише частково, що призводить до необхідності створення нових засобів РТС, що виконують прийом і обробку сигналів в умовах складної РЕО.

## 1.2 Огляд базових схем приймальних пристроїв і технологій обробки сигналів

Скануючий приймач (рис. 1.1) виконує пошук сигналу і визначення його частоти шляхом перебудови частоти гетеродина і детектування прийнятого сигналу на проміжній частоті (ПЧ). Спільно з гетеродином можуть перебудовуватися і частото-залежні ланцюга (фільтри і підсилювачі високої частоти (ВЧ)). У загальному випадку скануючий приймач може працювати в різних діапазонах частот, в тому числі і з пропуском окремих ділянок. Окремим випадком скануючого приймача є панорамний приймач, що виконує огляд у всьому робочому діапазоні без пропусків.

Перевагою скануючого приймача є малі маса і габарити, забезпечені наявністю єдиного каналу, що перебудовується за частотою. При використанні скануючого приймача можливий пропуск цілі, так як

одночасно аналізується не весь діапазон частот. Імовірність пропуску (залежить від тривалості сигналу) зменшується зі збільшенням швидкості перебудови частоти сканування, однак при цьому погіршується роздільна здатність по частоті і знижується чутливість.

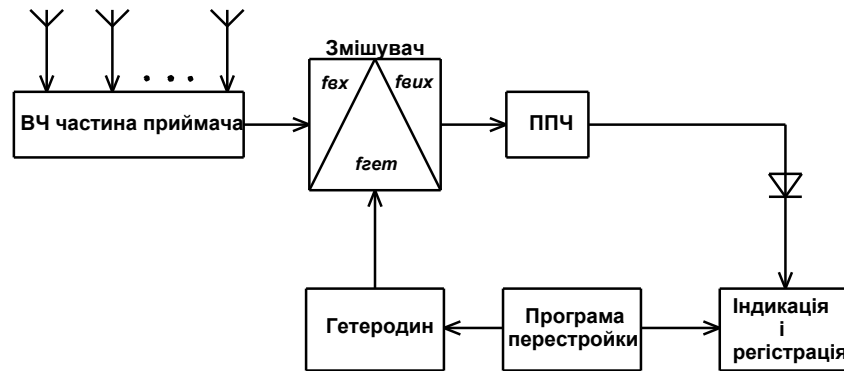


Рисунок 1.1 – Структурна схема скануючого приймача.

Де  $f_{вх}$  – частота прийнятого сигналу;

$f_{гет}$  – частота гетеродинного сигналу;

$f_{вих}$  – частота вихідного сигналу;

ППЧ – підсилювач ПЧ (фільтр)

Важливим завданням приймача є можливість прийому і розрізнення суміщених за часом різночастотних сигналів. З огляду на високу ймовірність пропуску, скануючий приймач рішення даного завдання не забезпечує. З огляду на те, що сучасні РЛС використовують для розвідки складні сигнали, необхідний аналіз структури сигналу, тому в зображеній на рис. 1.1 схемі детектор може бути замінений або доповнений пристроєм обробки. Це дозволяє виявляти, розрізняти і обробляти складні сигнали, а при використанні приймача в системі радіоелектронної безпеки дає можливість постановки імітаційних перешкод.

Вибірковість приймача по частоті в процесі перебудови наочно ілюструється частото-часовою діаграмою (рис. 1.2, а) [12]. Сірим кольором

показана смуга пропускання приймача, що настраюється в діапазоні від  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$  за час  $T_p$ . Сигнали на рис. 1.2, а представлені своїми діаграмами невизначеності. При наявності в цьому діапазоні безперервного сигналу з частотою  $f_{c1}$ , він буде перебувати в межах смуги пропускання протягом часу спостереження в результаті чого на виході приймача виникне імпульс тривалістю  $T_c$  (рис. 1.2, б). Якщо час спостереження  $T_c$  значно перевищує тривалість перехідного процесу в фільтрі  $1 / (2\Delta F_\Phi)$  (тобто  $2T_c\Delta F_\Phi \gg 1$ ), то форма вихідного імпульсу буде відповідати формі амплітудно-частотної характеристики смугового фільтра (СФ), а затримка відносно початку розгорнення пропорційна частоті сигналу.

У разі переривчастого (імпульсного) сигналу можливі пропуски імпульсів або часткове попадання імпульсу в смугу пропускання приймача в процесі його перебудови. Це проілюстровано на рис. 1.3, а, де показана послідовність простих радіоімпульсів на несучій частоті  $f_{c2}$ : перший імпульс пропущений, другий проходить частково і викликає відгук малої амплітуди, третій імпульс дає максимальний відгук.

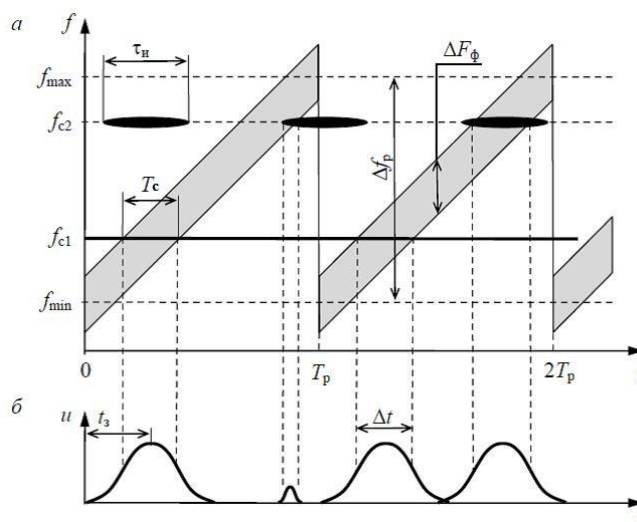


Рисунок 1.2 – Частото-часова діаграма (а) і сигнал на виході амплітудного детектора (б)

Багатоканальний приймач може бути побудований за схемою прямого посилення (рис. 1.3, а) [4] і з перетворенням частоти сигналу (рис. 1.3, б). Багатоканальний приймач забезпечує паралельний огляд всього діапазону робочих частот, реалізуючи безпошукове визначення частоти. Відповідно, зменшується ймовірність пропуску цілі. Час аналізу зменшується за рахунок розбиття діапазону робочих частот (для приймача прямого посилення) або діапазону ПЧ (в приймачі з перетворенням) і детектування сигналів в кожному піддіапазоні окремо. Час сканування багатоканального приймача приблизно відповідає часу встановлення перехідних процесів в фільтрах приймача зі смугою пропускання  $\Delta f$ .

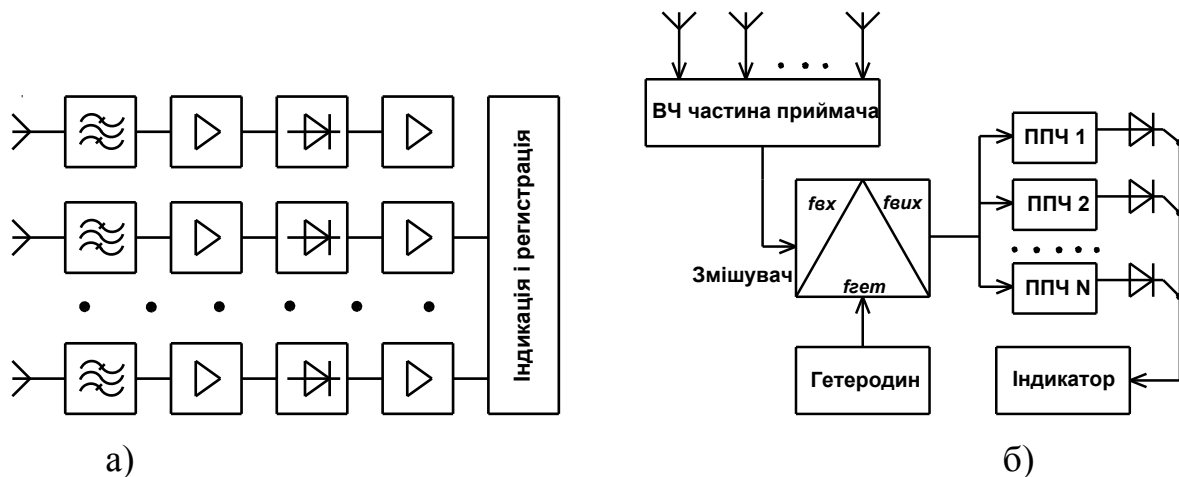


Рисунок 1.3 – Структурна схема багатоканального приймача:

а) прямого підсилення [4]; б) з перетворенням частоти

Перший варіант легше забезпечує роботу в широкому діапазоні частот (через відсутність змішувача), а другий має більш просту побудову (відсутність в кожному каналі вхідних підсилювачів радіочастоти (ПРЧ) значно спрощує і здешевлює схему). Недоліками приймача в обох варіантах виконання є необхідність високої вибірконості каналних фільтрів, а також складність апаратури, що тягне за собою збільшення малогабаритних показників і зменшення надійності [29].

Вимога до високої вибіркової фільтрів обумовлено зниженням чутливості в суміжних областях сусідніх каналів (на стиках). Проблема пов'язана з тим, що для отримання однакової чутливості у всьому ДРЧ приймача необхідно розташовувати канали впритул. Точку перетину амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) каналних фільтрів намагаються витримувати, як правило, на рівні мінус 3 дБ щодо загасання в смузі пропускання. Однак через те, що фільтри не мають прямокутної АЧХ, канали перекриваються. При невеликому відстроюванні за частотою від точки перетину АЧХ двох сусідніх каналів сигнал потрапляє на пологі ділянку АЧХ неосновного каналу, а в основний при цьому відгалужується менше потужності і чутливість знижується. Цей ефект зменшується при відході від межі розділу каналів, причому тим швидше, чим крутіше скати АЧХ каналних фільтрів. Багатоканальний приймач дозволяє розрізнити два і більше суміщених за часом різночастотних сигналів. Однак при цьому сигнали повинні потрапляти в різні канали. Роздільна здатність дорівнює половині ширини смуги пропускання каналу.

Як і в попередній схемі, детектори доцільно замінювати або доповнювати пристроєм обробки. Однак такий пристрій необхідно для кожного каналу, тому обсяг апаратури збільшується ще більше. А з ним ростуть масо габаритні характеристики і вартість. Надійність, відповідно, знижується.

Ще одним засобом безпошукового визначення частоти є різновид багатоканального прийому, що отримав найменування матричного. Найменування такий вимірювач отримав через схожість функціональної схеми з таблицею-матрицею. Такий прийом забезпечується матрицею прийомних елементів, стовпці якої називаються ступенями. Ступені забезпечують послідовне уточнення частоти.

Матричний приймач можна умовно розбити на  $m$  стовпців і  $n$  рядків (рис.1.4) [4, 20]. Кожен елемент приймача складається з фільтра  $\Phi$ , індикатора  $I$ , що відзначає проходження сигналу через даний фільтр,

змішувача і гетеродина  $G$ . Вхідний сигнал надходить одночасно на систему паралельно включених фільтрів першого стовпчика, смуги пропускання яких  $\Delta f_1$  примикають один до одного. Таким чином, діапазон вхідних сигналів  $Df$  утворюється як сума смуг всіх фільтрів першого стовпчика. Далі системою фільтрів першого ступеня  $\Phi_{11}, \Phi_{12}, \dots, \Phi_{1m}$  розділяється по частоті на кілька каналів, а після гетеродинювання перетворюється в єдиний для всіх каналів першого ступеня діапазон ПЧ  $\Delta f_{пч1}$ , що забезпечується вибором частот каналних гетеродинів  $G_{11}, G_{12}, \dots, G_{1m}$ . Канальні фільтри приймача також служать для виключення прийому по дзеркальному каналу. Далі сигнал ПЧ надходить на наступний ступінь, де знову розділяється по частоті і переноситься в другий діапазон ПЧ (єдиний для всіх каналів другого ступеня)  $\Delta f_{пч2}$  і так далі до останнього ступеня.

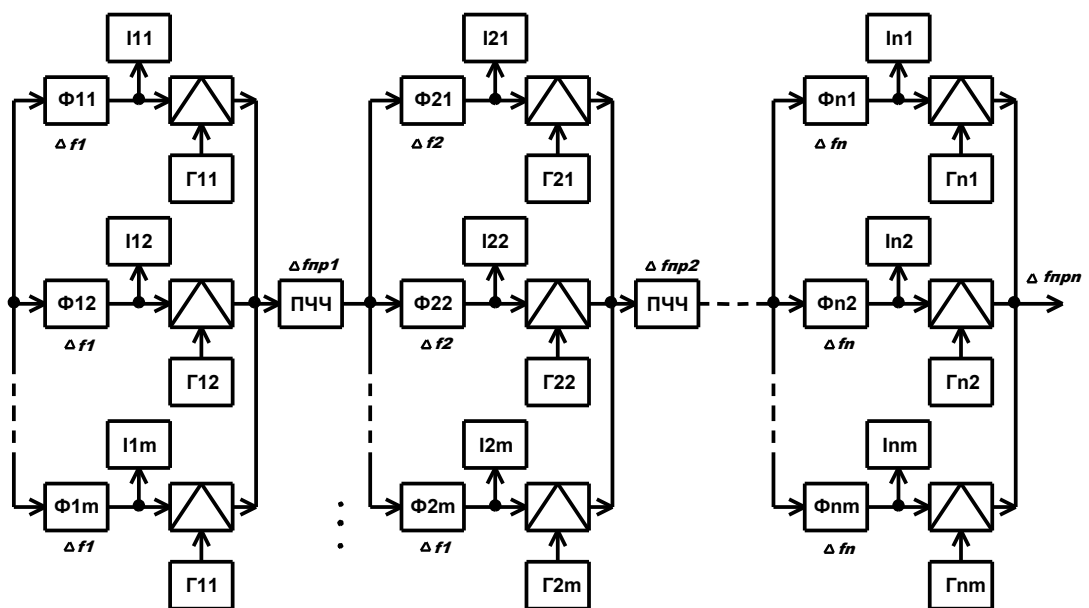


Рисунок 1.4 – Структурна схема матричного приймача [4]

Кожен частотний канал у всіх ступенях забезпечується індикатором ( $I_{11} \dots I_{nm}$ ), що вказує номер каналу, що спрацював. Індикаторами, як правило, служать бінарні пристрої виявлення, що містять послідовно з'єднані

смуговий фільтр, амплітудний детектор і граничний пристрій [4]. По набору індикаторів, що спрацювали, можна визначити частоту прийнятого сигналу.

Матричний приймач виключає пропуск цілі, його маса і габарити менше, ніж у багатоканального приймача, проте в порівнянні з попередньою схемою ще більше посилюються вимоги до виборчих властивостей і взаємної розв'язки фільтрів. Вагомим недоліком схеми є НВЧ, що виникає при попаданні сигналів в суміжні області сусідніх каналів і суміщених за часом різночастотних сигналів. Інший недолік полягає в тому, що частоти гетеродинів, що потрапляють в діапазон робочих частот приймального пристрою, є джерелом внутрішньо системних перешкод.

Приймач із стисненням імпульсів – супергетеродинний приймач, скануючий робочу смугу за час, менший, ніж тривалість самого короткого прийнятого імпульсу [22]. Як гетеродин використовується лінійно-частото-модульований гетеродин. Тому сигнал з виходу змішувача в такому приймачі є лінійно-частото-модульований імпульс і подається на дисперсійну лінію затримки (ДЛЗ), яка володіє лінійною залежністю часу затримки сигналу від його частоти. В результаті на виході імпульс стискається, представляючи собою Фур'є-перетворення прийнятого сигналу, і по часовому положенню максимуму відгуку на виході ДЛЗ визначається середня частота сигналу, а по його тривалості – ширина спектра. За кількістю стислих імпульсів можна визначити тривалість сигналу на вході приймача. Можлива схема такого приймача приведена на рис. 1.5 [22]. Оскільки ДЛЗ повинна бути узгоджена з сигналом гетеродина, гетеродин з швидкою перебудовою частоти може бути виконаний на основі генератора коротких імпульсів, що збуджує ДЛЗ, аналогічну використаній для стиснення сигналу.

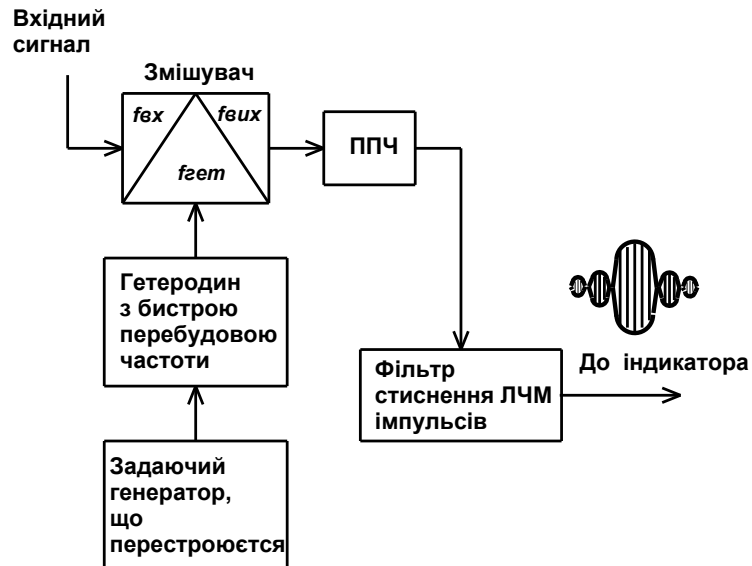


Рисунок 1.5 – Структурна схема приймача із стисненням імпульсів

Приймач із стисненням імпульсів може бути об'єднаний з іншими схемами з використанням різних схем технічних рішень, утворюючи велику кількість модифікацій. Одним з основних недоліків приймача зі стисненням є зниження чутливості при прийомі більш коротких, ніж час сканування, імпульсів. Крім того, при прийомі потужних сигналів бічні пелюстки стисненого сигналу заповнюють весь час обробки, обмежуючи миттєвий динамічний діапазон і збільшуючи ймовірність хибної тривоги. Труднощі виникають і при обробці сигналів з частотною модуляцією, оскільки закон зміни частоти на виході змішувача визначається різницею законів зміни частот сигналу і гетеродина і не узгоджується з фільтром стиснення. Як наслідок, зменшується амплітуда і збільшується тривалість сигналу на виході фільтра, погіршується роздільна здатність. Слід зауважити, що у разі підвищення роздільної здатності по частоті збільшується мінімальна тривалість оброблюваного сигналу, відповідна диференціальній затримки. При обробці сигналу коротше зазначеної тривалості чутливість приймача знижується на величину, рівну квадрату відношення імпульсної характеристики ДЛЗ до тривалості сигналу. Тобто при прийомі імпульсу з

довжиною коротше мінімальної в 10 разів чутливість приймача зі стисненням імпульсів знижується на 20 дБ [22].

Ще одна особливість приймача зі стисненням імпульсу полягає в тому, що час приходу сигналу не може бути виміряна з точністю, що перевищує час перебудови частоти гетеродина. Це ускладнює ідентифікацію сигналу в умовах складної РЕО. Прийом суміщених за часом різночастотних сигналів можливий. При цьому роздільна здатність приймача по частоті визначається параметрами ДЛЗ.

Приймач з миттєвим виміром частоти (МВЧ-приймач) заснований на використанні частото-залежною лінії затримки – пристрої, в якому вхідний сигнал розгалужується і, проходячи різний шлях, аналізується на виході. Різниця фаз двох частин сигналу пропорційна частоті [22]. Для виключення залежності вимірювань від амплітуди сигналу на вході пристрою встановлений підсилювач-обмежувач. При паралельному включенні декількох таких ліній затримки, довжина яких підбирається відповідно за двійковим кодом  $l_1, l_2 = 2l_1, l_3 = 4l_1, \dots, l_n = l_1 2^{n-1}$ , можна протягом імпульсу виміряти частоту несучої і отримати її в цифровому вигляді в режимі часу, близькому до реального. Кожній величині затримки відповідає свій діапазон однозначно вимірюваних частот. Важливою властивістю МВЧ-приймача є можливість роботи на високих частотах, аж до десятків гігагерц. При цьому досягається широка миттєва смуга огляду. Можливо і отримання високої точності вимірювання частоти, однак при цьому габарити і маса зростають. Так, для отримання роздільної здатності 1 МГц в смузі частот 10 ГГц необхідно 15 частото-залежних ліній затримки.

Принциповим недоліком приймача є неможливість виміру частоти при прийомі суміщених за часом сигналів. З огляду на широкосмуговість приймального пристрою воно має невисоку чутливість, що зменшується при розширенні ДРЧ. Зниження чутливості пов'язано і з розгалуженням вхідного тракту на лінії затримки. Наприклад, включення 15 ліній затримки при відсутності компенсації знижує чутливість приблизно на 17 дБ в порівнянні з

приймачем без розгалуження на вході. При прийомі фазокодоманіпульованного (ФКМ) сигналу виникає висока ймовірність неоднозначного визначення частоти. Крім того, модуляція ФКМ-сигналу не визначається. При необхідності виконання спектрального аналізу сигналу, вимірювання тривалості, часу приходу сигналу, аналізу тонкої структури потрібне підключення додаткових засобів вимірювання і аналізу. Але оскільки приймач працює в широкому діапазоні частот, без перенесення на ПЧ і звуження діапазону, виникає складність в їх підключенні.

Існують також приймачі з акустооптичною обробкою сигналу [22], в яких основним елементом обробки є чарунка Брегга. У торці чарунки встановлений п'єзоелектричний перетворювач, що перетворює попередньо перенесений на ПЧ радіосигнал в акустичні коливання, які утворюють в чарунці дифракційну решітку з періодом, обернено пропорційним частоті сигналу. Через оптично прозору чарунку Брегга проходить лазерний промінь, який при потраплянні на решітку відхиляється від напрямку поширення на кут, пропорційний частоті радіосигналу. Акустооптичні пристрої використовуються на частотах від десятків мегагерц до одиниць гігагерц.

Приймачі, побудовані за даною технологією, мають такі основні недоліки [22]:

- вузький динамічний діапазон, який визначається динамічним діапазоном акустооптичного модулятора світла, що становить приблизно від 20 до 30 дБ;
- мала роздільна здатність по частоті, обмежена розбіжністю дифрагованого пучка світла в дальній зоні (мінімальний інтервал частот, який може бути дозволений в режимі безперервної ультразвукової хвилі, що біжить, визначається як інтервал, для якого кут відхилення променя дорівнює його кутовій розбіжності);
- обмеження по діапазону робочих частот, який визначається типом використовуваної дифракції та матеріалом звукопровода (використання дифракції Брегга дозволяє обробляти сигнал до одиниць гігагерц).

Характеристики приймачів, що використовують акустооптичну обробку сигналу, можна поліпшити тільки шляхом значного ускладнення конструкції. Чутливість акустооптичного приймача зважаючи на великий діапазону тривалості вхідних сигналів становить приблизно від 95 до 140 дБ.

Широке поширення в засобах РТС отримала технологія створення і обробки сигналів на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Наприклад, за цією технологією може бути виготовлена дисперсійна лінія затримки в приймачі із стисненням імпульсів. Технологія виготовлення пристроїв на ПАХ добре вивчена і відпрацьована вітчизняною та зарубіжною промисловістю. Однак добре відомі і недоліки цього напрямку: обмежений робочий діапазон частот, мінімальна тривалість оброблюваних сигналів, значні втрати потужності. Знизу діапазон робочих частот обмежений неприйнятним збільшенням габаритів пристроїв на основі ПАХ (приблизно 2 МГц). Верхня межа частот обумовлена труднощами у виготовленні елементів з розмірами від одиниць до десятих часток мікрометра і в залежності від технологічних можливостей становить від 1 до 3 ГГц [22].

Магнітоелектронна технологія обробки сигналів, заснована на використанні явища феромагнітного резонансу, дозволяє працювати з частотами до декількох десятків гігагерц. Резонанс відбувається в феромагнітному зразку при впливі магнітного надвисокочастотного поля перпендикулярно постійному намагнічує полю. При цьому надвисокочастотна енергія поглинається зразком вибірково на певних частотах.

Магнітостатичні хвилі (МСХ), поширюючись в епітаксійних плівках мають відносно малі втрати на надвисоких частотах [22]. Миттєва смуга обробки досягає 1 ГГц. Перебудова резонансної частоти здійснюється підмагнічуючим полем. Відомі фільтри з перебудовою по частоті без погіршення характеристик в октавному діапазоні [22]. Дисперсійні лінії затримки на МСХ служать основними вузлами приймача зі стисненням імпульсів, які працюють в діапазоні до 20 ... 26,5 ГГц без перетворення

частоти. Тобто обробка сигналів здійснюється безпосередньо на високій частоті. Недоліками пристроїв на МСХ є температурна нестабільність і малий динамічний діапазон [22].

Порівняльна оцінка надвисокочастотних пристроїв на МСХ та ПАХ стосовно до вимог техніки РТС показує, що основна увага при виборі між ними необхідно приділяти діапазону робочих частот.

Різновидом магнітоелектронних пристроїв є магнітооптичні пристрої, що працюють за принципами, аналогічним тим, які застосовуються для розглянутих раніше акустооптичних. Технологія заснована на взаємодії оптичних і магнітостатичних хвиль в оптичному хвилеводі. Робочі частоти складають від одиниць до декількох десятків гігагерц. Тим самим магнітооптичні прилади розширюють можливості оптичної обробки сигналів. Правда, існують обмеження по ширині відносної смуги пропускання пристроїв, виконаних за даною технологією (близько 50%), обмеження по тривалості оброблюваних сигналів (приблизно до 20 мкс) і затримки сигналів при обробці [22]. Також для таких пристроїв характерна температурна нестабільність.

З поліпшенням частотних властивостей аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) розширюється застосування пристроїв з цифровою обробкою сигналів (ЦОС). В даний час верхня частота оброблюваних сигналів може досягати 6 ГГц. У тому чи іншому вигляді ЦОС використовується практично у всіх сучасних засобах РТС вітчизняного і зарубіжного виробництва [24]. При прийомі сигналів з несучими в одиниці і десятки гігагерц в цифрових приймачах відбувається перенос прийнятого надвисокочастотного сигналу в діапазон проміжних частот. Для усунення побічних складових в спектрі сигналу ПЧ перенесення може бути неодноразовим. Сигнал ПЧ надходить в блок (або пристрій) цифрової обробки, де за допомогою АЦП перекладається в цифровий вигляд. Далі сигнал необхідним чином обробляється спеціальними сигнальними процесорами або засобами програмованої логіки. У станціях РЛС прийнятий

сигнал піддається виявленню, фільтрації, порівняно з еталонними сигналами, як правило, вимірюються його основні параметри (несуча частота, тривалість імпульсу, ширина спектра та ін.). Цифрова обробка сигналів в засобах РЛС має ряд якостей [22, 1, 17], в тому числі:

- обробка ведеться в масштабі часу, близькому до реального;
- для індивідуального розпізнавання радіоелектронних засобів можливий аналіз тонкої структури сигналу (закон модуляції, фронти імпульсів і ін. особливості сигналу);
- зручність сполучення з цифровими системами управління;
- висока адаптивність до параметрів сигнального простору (гнучкість і оперативність перебудови цифрових фільтрів в залежності від параметрів сигналу; точність і широкий діапазон часу затримки при реалізації цифрових ліній затримки та ін.);
- висока температурна і тимчасова стабільність характеристик;
- висока точність обчислень;
- високі експлуатаційні показники (висока надійність, малі масо габаритні характеристики).

Головним елементом системи цифрової обробки засобів виконавчої РТС, що входять до складу станції перешкод, є пристрій запам'ятовування і відтворення частоти (DRFM – digital radio frequency memory). Принцип роботи DRFM полягає в наступному [10]. Надвисокочастотний сигнал приймається і перетворюється по частоті в сигнал нижчого діапазону за допомогою фіксованого або перебудовується за частотою гетеродина. Отриманий сигнал оцифровується АЦП і запам'ятовується за допомогою швидкодіючого цифрового пристрою. Далі сигнал обробляється за заданим алгоритмом, виводиться з запам'ятовуючого пристрою і перетворюється спочатку в аналогову форму в базовому діапазоні за допомогою цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП), а потім в аналоговій формі підвищується по частоті за допомогою того ж місцевого гетеродина, який використовувався для зниження частоти сигналу. Технологія DRFM дозволяє

відтворювати сигнали з високою точністю, що важливо при створенні перешкод, що відводять по дальності і / або швидкості, а також імітаційних і прицільних маскуючих перешкод з мінімальними енергетичними втратами [24].

Слід зазначити, що при смузі сигналу від 1 до 1,5 ГГц відповідно до теореми Котельникова потрібна частота квантування не нижче 3 ... 3,5 ГГц. Це обумовлює високі вимоги до сучасних засобів цифрової обробки. Оскільки в цілях РТС обробку сигналу необхідно вести в режимі часу, близькому до реального, до шин передачі даних також пред'являються високі вимоги по щільності і швидкості потоку інформації, що передається. З розвитком елементної бази ЦОС набуває все більшого поширення і стає однією з основних технологій обробки сигналів.

### 1.3 Порівняльний аналіз базових схем приймальних пристроїв РТС

Незважаючи на велику кількість робіт, що описують використання типових схем і їх модифікацій, в них відсутня порівняльний аналіз базових схем (скануючої, багатоканальної, матричної, із стисненням імпульсу, з миттєвим виміром частоти). Спроба порівняльного аналізу базових схем, на яких ґрунтується побудова сучасних приймальних пристроїв РЛС, зроблена в таблиці 1.1. Як видно з таблиці 1.1, кожна схема має свої переваги й недоліки.

Слід зазначити, що існують принципово непереборні недоліки, обумовлені структурою приймача.

Так, для скануючого приймача характерна велика ймовірність пропуску сигналу. Зниження ймовірності пропуску може бути досягнуто за рахунок збільшення швидкості сканування, але при цьому неминуче знижується чутливість, а сама ймовірність все одно не знижується до значень, порівнянних з ймовірністю пропуску схем, що працюють в безпошуковому режимі.

Таблиця 1.1 – Якісна оцінка основних характеристик базових схем

Характеристика	Скануючий приймач	Багатоканальний приймач	Матричний приймач	Приймач із стисненням	МВЧ-приймач
1 Імовірність пропуску сигналу	Велика	Мала	Мала	Мала	Мала
2 Динамічний діапазон	Великий	Великий	Великий	Малий	Великий
3 Прийом коротких імпульсів	Можливий, з пропуском	Можливий	Можливий	Зниження чутливості при прийомі імпульсів, коротше часу сканування робочої смуги частот	Можливий
4 Прийом / обробка складних сигналів	Можливий прийом	Можливий прийом	Можливий прийом	Можливі прийом і обробка; для ЛЧМ залежить від швидкості зміни частоти	Неоднозначність визначення частоти при прийомі ФКМ-сигналу
5 Миттєва смуга огляду	Вузька	Широка	Широка	Вузька	Середня
6 Час огляду широкої смуги частот	Тривалий	Малий	Малий	Дуже тривалий	Тривалий
7 Маса і габарити	Малі	Великі	Середні	Середні	Великі
8 Необхідна вибірковість каналних фільтрів	Середня	Висока	Дуже висока	Середня	Середня
9 Неоднозначність визначення частоти при прийомі сигналу на одній частоті	Відсутня	Відсутня	При попаданні сигналу в суміжні області сусідніх частотних каналів	Відсутня	Відсутня

В даний час великого поширення набули широкосмугові сигнали (ШСС). Так, відомі РЛС із синтезованою апертурою (РСА) космічного базування TerraSAR-X, Tandem-X (фірма DLR, Німеччина) з смугою сигналу до 300 МГц в експериментальному і до 150 МГц в штатному режимі роботи, RISAT-1 (Індія) з смугою сигналу 225 МГц, COSMO-SkyMed з шириною спектра в одному з режимів роботи до 400 МГц [23].

Роздільна здатність по дальності використовуваних в даний час РСА наближається до величини 0,3 м, а для перспективних РСА можливо значення 0,1 м. Цим значенням відповідно до виразу для роздільної здатності по дальності з  $\Delta R = c / 2\Delta f$  (де  $\Delta R$  – роздільна здатність,  $c$  – швидкість світла, з  $\Delta f$  – смуга сигналу) [17] відповідає смуга зонduючого сигналу 0,5 ГГц і 1,5 ГГц відповідно. Слід також зазначити, що в більшості сучасних РСА з високою роздільною здатністю застосовується всередині імпульсний ЛЧМ зважаючи на простоту формування та обробки ЛЧМ-сигналів, а також меншою чутливістю до фазових спотворень в порівнянні з ФКМ-сигналом. З огляду на потребу в подальшому збільшенні якості радіолокаційних зображень, очевидно подальше використання ШСС і розширення спектра. Приймач повинен мати достатню для обробки ШСС миттєву смугу огляду. Також повинна забезпечуватися можливість обробки коротких імпульсів тривалістю 0,1 мкс і менше, випромінюваних як наявними, так і перспективними РЛС [23]. Але тоді швидкість перебудови гетеродинів приймача зі стисненням для забезпечення прийнятною чутливістю повинна бути порівнянна з тривалістю імпульсу. Так, при прийомі сигналів з тривалістю 0,1 мкс в типовій для станцій РЛС смузі огляду 500 МГц швидкість перебудови повинна бути 5 ГГц / мкс. В даний час реалізована швидкість перебудови частоти гетеродина становить 0,5 ГГц / мкс [1]. Якщо врахувати, що в зв'язку з необхідністю обробки сигналів зі смугою понад 500 МГц, ширина миттєвої смуги обробки в перспективі повинна бути розширена, то швидкість перебудови повинна бути ще вище. Зменшення смуги огляду неприпустимо, оскільки приймач повинен приймати ШСС.

Таким чином, стає очевидною принципова недосяжність високої чутливості приймача зі стисненням імпульсу при прийомі ШСС і коротких імпульсів.

Багатоканальний приймач позбавлений недоліків, властивих скануючому приймачеві і приймачу із стисненням. Проте, сучасні радіолокаційні засоби в сукупності використовують широкий спектр частот і типів сигналу, і частота зондуючого сигналу, як правило, апіорі невідома. Тому виникає необхідність в побудові широкосмугових приймальних пристроїв, в зв'язку з чим масогабаритні показники багатоканального приймача стають неприйнятними. Крім того, необхідна наявність пристрою обробки для кожного каналу. Це здорожує, ускладнює схему і додатково збільшує габарити приймача. Складний багатоканальний пристрій в загальному випадку має і невисоку надійність.

Далі виконано аналіз недоліків матричної схеми приймального пристрою. Матричний приймач за своїми характеристиками близький до багатоканального, але при цьому масогабаритні показники в ньому поліпшені, що можна оцінити за кількістю смугових фільтрів [4]. Наприклад, для матричного приймача, що забезпечує ту ж точність визначення частоти (яка визначається як половина ширини смуги пропускання каналу останньому ступні  $0,5 \Delta f_n$ ), що й багатоканальний (рис. 1.3, б), при використанні трьох ступенів ( $n = 3$ ) і десяти каналів в кожному ступені ( $\Delta f_p / \Delta f_n = 1000$ , де  $\Delta f_p$  – ДРЧ приймача) виграв в кількості фільтрів складе [4]:

$$\xi = \frac{1}{n \cdot \sqrt[n]{\frac{\Delta f_p}{\Delta f_n}}} = \frac{1}{n} \left( \frac{\Delta f_p}{\Delta f_n} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \frac{1}{3} (1000)^{\frac{3-1}{3}} \approx 33 \quad (1.1)$$

Проте, характеристики 9, 10 таблиці 1.1 говорять про можливу неоднозначність визначення частоти при прийомі як декількох, так і одного сигналу. В останньому випадку неоднозначність виникає при попаданні сигналу в суміжні області сусідніх частотних каналів однієї ступені.

Неоднозначність при прийомі різночастотних суміщених за часом сигналів обумовлена структурою матричного приймального пристрою.

Також можливе виникнення НВЧ в зв'язку з наявністю паразитних смуг пропускання каналних фільтрів і фільтрів ПЧ. Іншою причиною НВЧ є не лінійність підсилювальних і перетворювальних пристроїв, які в режимі великого сигналу (що характерно при прийомі сигналів в широкому динамічному діапазоні) призводять до виникнення гармонік, що потрапляють в ДРЧ (що в свою чергу характерно для широкосмугових пристроїв).

Проблема виникнення НВЧ в матричному приймачі добре відома [4, 5], проте до цих пір відсутня систематизація видів НВЧ, що перешкоджає ретельному аналізу шляхів її зниження. Матричний приймач все ж має досить складну побудову. Кількість каналів в ньому дорівнює  $mn$  (де  $m$  – кількість каналів в кожному ступені, а  $n$  – кількість ступенів), а, значить, і кількість фільтрів, змішувачів, високочастотних генераторів і пристроїв виявлення також рівно  $mn$ . Тому на часі подальше спрощення конструкції і зменшення кількості надвисокочастотних вузлів.

Також в матричному приймачі існують внутрішньо системні перешкоди, викликані просочуванням потужних сигналів гетеродинів в надвисокочастотний тракт приймального пристрою. Такі перешкоди характерні для всіх приймачів з перетворенням частоти сигналу [3]. При попаданні перешкоди в нелінійні ланцюги в них виникають паразитні гармоніки, що призводять до помилкового виявлення, а при попаданні в детекторний ланцюг зменшується рівень корисного сигналу на виході детектора (так званий ефект блокування сигналу) [2, 36].

Велика кількість вузлів (насамперед надвисокочастотних) знижує один з основних технічних показників будь-якої технічної системи – надійність. Іншим недоліком відомих матричних приймачів є втрата для обробки короткого імпульсного сигналу, а також передньої частини довгого імпульсного або безперервного сигналу. Втрата сигналу обумовлена кінцевим часом спрацьовування детектора і відкриття частотного каналу. У зв'язку з цим виникає необхідність виключення втрати для обробки короткого імпульсного сигналу. У наступних розділах роботи досліджені

механізми виникнення неоднозначності визначення частоти різного роду і можливості її зменшення, розглянуті рішення спрощення структури приймача, а зниження рівня внутрішньо системних перешкод, що викликані роботою гетеродинів.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ В ШИРОКОСМУГОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПРИЙМАЧАХ

### 2.1 Класифікація неоднозначності визначення частоти в приймачі

Неоднозначність визначення частоти в радіолокаційних приймачах обумовлена наступними причинами:

- наявністю паразитних смуг пропускання надвисокочастотних фільтрів (далі – неоднозначність першого роду; НВЧ-1);
- малою крутизною АЧХ каналних фільтрів (неоднозначність другого роду; НВЧ-2);
- прийомом суміщених за часом сигналів на двох і більше частотах (неоднозначність третього роду; НВЧ-3);
- виникненням в нелінійних елементах підсилювального і перетворювального трактів гармонік сигналу в робочій смузі частот (неоднозначність четвертого роду; НВЧ-4).

Неоднозначність визначення частоти першого роду. Надвисокочастотні фільтри приймачів в основному виконуються на мікросмужкових лініях. Особливістю такого виконання є наявність паразитних смуг пропускання, які є причиною виникнення неоднозначності першого роду. Центральна частота другої (паразитної) смуги пропускання фільтра в  $N$  разів перевищує центральну частоту основної смуги (для типових структур фільтрів  $N = 2; 3$  [14]). Наявність паразитних смуг пропускання каналних фільтрів призводить до того, що в ШПрП паразитні смуги нижніх за частотою каналів можуть накладатися на основні смуги верхніх частотних каналів, в результаті при прийомі сигналу відбувається одночасне спрацьовування декількох каналів, що призводить до НВЧ. Для виключення неоднозначності для кожного каналного фільтра має виконуватися наближена нерівність  $Nf_0 - 0,5\Delta f > f_s$ , де  $f_0$  – центральна частота основної смуги пропускання фільтра,

$\Delta f$  – ширина смуги пропускання,  $f_e$  – верхня частотна межа смуги пропускання даного ступеня. Однак в широкосмугових приймальних пристроях нерівність може не виконуватися. Наявність паразитних смуг пропускання фільтрів ПЧ також приводить до НВЧ. Це відбувається при прийомі сигналу, який потрапив в паразитну смугу пропускання каналного фільтра і перенесеного в паразитну смугу пропускання фільтра ПЧ. При цьому частота прийнятого сигналу визначається невірно. Також можливе проходження сигналу з одного каналу за внутрішніми ланцюгами приймача. Наприклад, можливий прийом сигналу через паразитну смугу пропускання каналного фільтра і його проходження через паразитну смугу пропускання розділення каналів в сусідній канал.

Неоднозначність визначення частоти другого роду. НВЧ-2 виникає при попаданні сильних сигналів в суміжні області сусідніх каналів, тому що фільтри не мають ідеально прямокутної АЧХ.

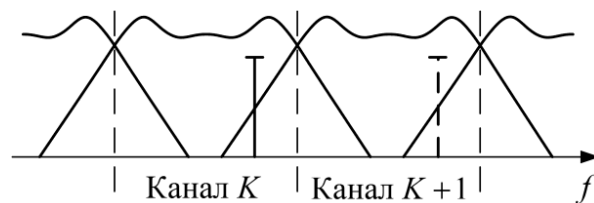


Рисунок 2.1 – Попадання сильного сигналу в суміжну область сусідніх каналів [4]

На рис. 2.1 сигнал знаходиться в смузі каналу  $K$ , але, з огляду на не ідеальність крутизни каналних смугових фільтрів, той же сигнал потрапляє і в канал  $K + 1$ . Якщо сигнал потужний, то спрацьовують детектори в обох каналах, і сигналу ПЧ при спробі визначення справжнього значення частоти присвоюються два значення. Друге, помилкове, значення показано пунктирною лінією в каналі  $K + 1$ .

Неоднозначність визначення частоти третього роду. При прийомі двох і більше суміщених за часом різночастотних сигналів на виході кожного ступеня приймача ці сигнали присутні в єдиному діапазоні ПЧ. Тому треба дещо уточнити приналежність сигналу до того чи іншого каналу ступені. Дану неоднозначність неможливо усунути без використання спеціальних засобів і, що гірше, вона зростає зі збільшенням числа використовуваних ступенів. Виникнення неоднозначності визначення частоти третього роду (НВЧ-3) можливе в умовах складної сигнальної обстановки (при авіа нальоті, створенні перешкод матричним приймачам, одночасному функціонуванні великої кількості близько розташованих радіоелектронних засобів та ін.).

Неоднозначність визначення частоти четвертого роду. Для того, щоб якомога раніше виявити сигнал і визначити його частото-часові параметри, приймачі РЛС повинні приймати слабкі сигнали. Одночасно з цим в бойових умовах робота РЛС поблизу засобів РТС викликає необхідність прийому потужних сигналів. Тому приймач РЛС повинен мати широкий ДД. Однак при прийомі сигналів у верхній частині ДД можливе виникнення гармонік в нелінійних елементах (діодах, транзисторах) підсилюючих і перетворюючих пристроїв. Дані гармоніки становлять загрозу штатному функціонуванню засобів РЛС, особливо в тому випадку, якщо використовується широкосмуговий приймальний пристрій, і гармоніка основного сигналу, що знаходиться в нижній частині ДРЧ, потрапляє у верхню частину ДРЧ. Це призводить до помилкового виявлення, а в разі матричного приймача це призводить до виникнення описаної вище НВЧ-3, і визначаючих частот буде кілька. Далі неоднозначність визначення частоти, пов'язану з виникненням гармонік основного сигналу на нелінійних елементах НВЧ-тракту, що потрапляють в ДРЧ приймача, будемо називати неоднозначністю четвертого роду (НВЧ-4).

## 2.2 Математичний опис неоднозначності визначення частоти другого роду

В даному розділі розглянуто два способи кількісної оцінки НВЧ-2: з урахуванням статистичних параметрів суміші сигналу з шумом і без.

У реальних умовах роботи РЛС виявлення корисних сигналів може відбуватися як в ситуації без перешкод, так і в умовах впливу активних і (або) пасивних перешкод. У першому випадку виявлення корисних сигналів відбувається на тлі власних шумів приймального пристрою, інтенсивність яких змінюється в часі незначно. Тому встановлення порога виявлення не викликає особливих труднощів. У другому випадку інтенсивність перешкод аргіогі невідома і тому застосовують різні алгоритми її оцінки для визначення порогу виявлення сигналу [26]. У засобах РЛС, для яких параметри сигналу (частота, фаза, амплітуда) апріорно невідомі, доцільно використовувати енергетичне виявлення і критерій оптимальності виявлення Неймана-Пірсона [28]. Згідно з критерієм при заданому рівні ймовірності хибної тривоги мінімізується ймовірність пропуску цілі або, що те ж саме, максимізує ймовірність правильного виявлення.

Хибне виявлення сигналу в приймачі виникає при наявності шумів на рівні спрацьовування порогового пристрою і характеризується ймовірністю хибної тривоги. Однак в кожному каналі помилкове виявлення і, відповідно, помилкове визначення частоти може відбуватися внаслідок наявності в інших частотних каналах сигналів з випадковою амплітудою і випадкового характеру коефіцієнтів передачі за межами смуги пропускання каналу. Це призводить до наявності в будь-якій смузі пропускання адитивної суміші шумів і гармонійних коливань з випадковою початковою фазою і амплітудою. Тому в якості міри НВЧ-2 пропонується також використовувати ймовірність хибної тривоги (ПТ), яка, очевидно, пропорційна величині неоднозначності. Імовірність хибної тривоги, обумовлена перекриттям АЧХ сусідніх каналів, в кожному окремо взятому каналі залежить від виявлення

сигналів, які потрапили на ділянки високого коефіцієнта передачі за межами смуги пропускання каналу. Ця ситуація найбільш характерна для суміжних областей сусідніх каналів.

На рис. 2.2 для каналу  $l = \overline{1, L}$ , де  $L$  – кількість каналів у ступені, тоном виділені частотні діапазони за межами смуги пропускання каналу, в яких виникають описані помилкові спрацьовування детектора. Коефіцієнт передачі каналу  $l$  обмежений пороговим значенням  $K_{пор}$ , що обмежує також і область неоднозначності.  $K_{пор}$  визначається внутрішніми шумами приймача  $N_{пр}$ , що обмежують в смузі  $\Delta f_{ш}$  чутливість  $P_0$  при заданому відношенні сигнал-шум  $Q_l / N_0$  і відповідає порогу виявлення  $h$ . При рівні потужності нижче значення  $K_{пор}$  рівень сигналу на вході детектора недостатній для прийняття рішення про наявність сигналу.

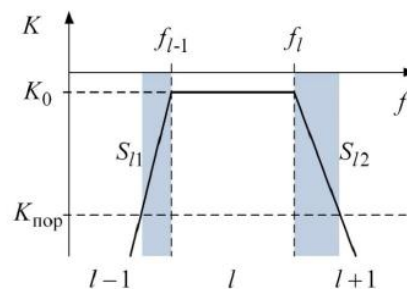


Рисунок 2.2 – Апроксимована АЧХ l-го каналу

Порівнюючи оцінку потужності сигналу в  $l$ -му каналі  $P_l^*$  прийнятого вхідного впливу  $x(t)$  з порогом  $h$ , що визначається обраним критерієм виявлення,  $P_l^* \geq h$ , можна зробити висновок про наявність (при перевищенні порога) або відсутності (якщо поріг не перевищено) корисного сигналу.

Розрахунок ймовірності помилкової тривоги без урахування неоднозначності визначення частоти на стиках каналів.

Ймовірність хибної тривоги в каналі  $l$  без урахування НВЧ визначається як

$$P_{\text{пт}l} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{h - T_c \Delta f_{\text{ш}}}{\sqrt{2T_c \Delta f_{\text{ш}}}} \right) \right], \quad (2.1)$$

де  $-\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  інтеграл ймовірностей,  $h$  – поріг виявлення,  $N_0$  – одностороння спектральна щільність потужності білого шуму,  $T_c$  – час спостереження вхідного процесу,  $\Delta f_{\text{ш}} \approx 1,1 \Delta f_l$  – шумова смуга каналу  $l$  ( $\Delta f_l$  – смуга пропускання каналу за рівнем мінус 3 дБ) [12].

У припущенні, що помилкові виявлення сигналу в каналах одного ступеня є статистично незалежними спільними подіями, можливими в кожному каналі, і кожна подія призводить до хибної тривоги, а також відповідно до теореми додавання ймовірностей для кількох спільних подій [6], ймовірність хибної тривоги для одного ступеня матричного приймача складе

$$\begin{aligned} P_{\text{пт}L\Sigma} = & \\ = & \sum_{i=1}^L P_{\text{пт}i} - \sum_{j=1}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} + \sum_{k=1}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} P_{\text{пт}k} - \\ - & \sum_{n=1}^{L-3} \sum_{k=n+1}^{L-2} \sum_{j=k+1}^{L-1} \sum_{i=j+1}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} P_{\text{пт}k} P_{\text{пт}n} + \dots + \\ + & (-1)^{L-1} \prod_{p=1}^L P_{\text{пт}p} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Далі можна прийняти частотні характеристики кожного каналу однаковими і, відповідно, ймовірності хибної тривоги в кожному каналі одного ступеня рівні. Тоді вираз (2.2) перетвориться до наступного виду:

$$\begin{aligned} P_{\text{пт}L\Sigma} = & LP_{\text{пт}l} - \frac{L!}{2!(L-2)!} P_{\text{пт}l}^2 + \frac{L!}{3!(L-3)!} P_{\text{пт}l}^3 - \\ - & \frac{L!}{4!(L-4)!} P_{\text{пт}l}^4 + \dots + (-1)^{L-1} LP_{\text{пт}l}^L. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Відповідно, ймовірність хибної тривоги  $m$ -ступеневого матричного приймача, що містить  $L$  каналів в кожному ступені, розрахована без урахування перекриття каналів, дорівнює

$$\begin{aligned}
P_{\text{пт пр}} &= \\
&= \sum_{i=1}^M P_{\text{птЛ}\Sigma i} - \sum_{j=1}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P_{\text{птЛ}\Sigma i} P_{\text{птЛ}\Sigma j} + \sum_{k=1}^{M-2} \sum_{j=1+k}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P_{\text{птЛ}\Sigma i} P_{\text{птЛ}\Sigma j} P_{\text{птЛ}\Sigma k} - \\
&\sum_{n=1}^{M-3} \sum_{k=1+n}^{M-2} \sum_{j=1+k}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P_{\text{птЛ}\Sigma i} P_{\text{птЛ}\Sigma j} P_{\text{птЛ}\Sigma k} P_{\text{птЛ}\Sigma n} + \dots + \\
&+ (-1)^{M-1} \prod_{p=1}^M P_{\text{птЛ}\Sigma p}
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Очевидно, що ймовірність хибної тривоги в кожному ступені буде відрізнятися. Тому спростити вираз (2.4), аналогічно (2.3), не можна. Для широко використовуваного двоступеневого матричного приймача вираз (2.4) буде виглядати наступним чином:

$$P_{\text{пт пр}} = P_{\text{лтЛ}\Sigma 1} + P_{\text{птЛ}\Sigma 2} - P_{\text{птЛ}\Sigma 1} P_{\text{птЛ}\Sigma 2}. \tag{2.5}$$

Розрахунок ймовірності хибної тривоги з урахуванням неоднозначності визначення частоти на стиках каналів.

Вираз для корисного сигналу з урахуванням його потрапляння за межі каналу  $l$ :

$$s'_l(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{f_H}^{f_{l-1}} K_l(j\omega) S(\omega) e^{j\omega t} d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{f_l}^{f_B} K_l(j\omega) S(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \tag{2.6}$$

де знак "штрих" означає розгляд характеристик каналу і сигналів за межами каналу,  $f_H, f_B$  – нижня і верхня межі діапазону робочих частот (ДРЧ) ступені,  $f_{l-1}, f_l$  – нижня і верхня межі каналу  $l$ ,  $K_l(j\omega)$  – частотний коефіцієнт передачі каналу  $l$ . Вираз (2.6) описує потужність сигналу з урахуванням АЧХ каналу за межами його смуги пропускання, тобто від нижньої межі діапазону робочих частот ступені  $f_H$  до нижньої граничної частоти каналу  $f_{l-1}$  і від верхньої граничної частоти каналу  $f_l$  до верхньої межі ДРЧ  $f_B$ . Оскільки

наявність сигналу в смузі пропускання  $l$ -го каналу не призводить до хибної тривоги, то в смузі від  $f_{l-1}$  до  $f_l$  значення сигналу прийнято рівним нулю. Вважаємо, що час спостереження  $T_c$  впливу на вході приймача досить велике, і оцінка потужності  $P_l$  \* вхідного процесу набуває нормальний розподіл. Тоді при оптимальному пороговому рівні виявлення ймовірність виявлення сигналу поза смугою каналу  $l$  складе

$$P'_{\text{виявл}l} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\frac{h}{N_0} - T_c \Delta f_{\text{ш}} - \frac{Q'_l}{N_0}}{\sqrt{2 \left( T_c^2 \Delta f_{\text{ш}}^2 + \frac{Q'_l}{N_0} \right)}} \right) \right], \quad (2.7)$$

де  $Q'_l = \int_0^{T_c} S_l^2(t) dt$  – енергія, що виділяється корисним сигналом на виході каналу  $l$  за час  $T_c$ .

Обумовлена виразом (2.1) ймовірність хибної тривоги в каналі  $l$  повинна бути відкоригована на величину  $P'_{\text{виявл}l}$ . У припущенні, що помилкове виявлення сигналу в каналі  $l$  при його відсутності і потрапляння сигналу за межі каналу  $l$  – статистично незалежні спільні події, і можливі обидві події, кожне з яких призводить до хибної тривоги [6]:

$$P'_{\text{пт}l} = P_{\text{пт}l} + P'_{\text{виявл}l} - P_{\text{пт}l} P'_{\text{виявл}l} \quad (2.8)$$

Грунтуючись на властивості компліментарності взаємно протилежних подій, отриманий вираз можна також представити у наступному вигляді:

$$P'_{\text{пт}l} = 1 - P_{\text{нвл}l} P'_{\text{пр}l} \quad (2.9)$$

де  $P_{\text{нвл}l} = 1 - P_{\text{пт}l}$  – ймовірність правильного не виявлення сигналу в каналі  $l$ ,

$P'_{\text{пр}l} = 1 - P'_{\text{виявл}l}$  – ймовірність пропуску сигналу поза смугою каналу  $l$ .

З урахуванням (2.1), (2.7) вираз (2.9) можна представити таким чином:

$$P'_{\text{пт}l} = 1 - \frac{1}{4} \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\frac{h}{N_0} - T_c \Delta f_{\text{ш}}}{\sqrt{2 T_c \Delta f_{\text{ш}}}} \right) \right] \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\frac{h}{N_0} - T_c \Delta f_{\text{ш}} - \frac{Q'_l}{N_0}}{\sqrt{2 \left( T_c^2 \Delta f_{\text{ш}}^2 + \frac{Q'_l}{N_0} \right)}} \right) \right], \quad (2.10)$$

де  $h$  визначається критерієм виявлення.

З огляду на міркування, наведені при виведенні формули (2.2), ймовірність хибної тривоги для однієї  $L$ -канального ступеня матричного приймача складе

$$P'_{\text{пт}L\Sigma} = \sum_{i=1}^L P'_{\text{пт}i} - \sum_{j=1}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P'_{\text{пт}i} P'_{\text{пт}j} + \sum_{k=1}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P'_{\text{пт}i} P'_{\text{пт}j} P'_{\text{пт}k} - \\ - \sum_{n=1}^{L-3} \sum_{k=1+n}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P'_{\text{пт}i} P'_{\text{пт}j} P'_{\text{пт}k} P'_{\text{пт}n} + \dots + (-1)^{L-1} \prod_{p=1}^L P'_{\text{пт}p}. \quad (2.11)$$

Беручи частотні характеристики кожного каналу однаковими, отримаємо:

$$P'_{\text{пт}L\Sigma} = LP'_{\text{пт}l} - \frac{L!}{2!(L-2)!} P_{\text{пт}l}^{2'} + \frac{L!}{3!(L-3)!} P_{\text{пт}l}^{3'} - \frac{L!}{4!(L-4)!} P_{\text{пт}l}^{4'} + \\ + \dots + (-1)^{L-1} LP_{\text{пт}l}^L \quad (2.12)$$

Ймовірність хибної тривоги для  $M$ -ступеневого матричного приймача, що містить  $L_m$  каналів в кожному ступені ( $m = \overline{1, M}$ ), складе

$$P'_{\text{пт пр}} = \sum_{i=1}^M P'_{\text{пт}L\Sigma i} - \sum_{j=1}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P'_{\text{пт}L\Sigma i} P'_{\text{пт}L\Sigma j} + \\ + \sum_{k=1}^{M-2} \sum_{j=1+k}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P'_{\text{пт}L\Sigma i} P'_{\text{пт}L\Sigma j} P'_{\text{пт}L\Sigma k} - \sum_{n=1}^{M-3} \sum_{k=1}^{M-2} \sum_{j=1+k}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P'_{\text{пт}L\Sigma i} P'_{\text{пт}L\Sigma j} P'_{\text{пт}L\Sigma k} P'_{\text{пт}L\Sigma n} + \\ + \dots + (-1)^{L-1} \prod_{p=1}^L P'_{\text{пт}L\Sigma p} \quad (2.13)$$

Для двоступеневого приймача ймовірність хибної тривоги з урахуванням неоднозначності визначення частоти, пов'язаної з попаданням сигналу на стики сусідніх каналів, складе

$$P'_{\text{пт пр}} = P'_{\text{пт}L\Sigma 1} + P'_{\text{пт}L\Sigma 2} - P'_{\text{пт}L\Sigma 1} \quad (2.14)$$

При виведенні виразів (2.11) – (2.14) ймовірність хибної тривоги  $P_{\text{пт}l}'$  була прийнята однаковою для всіх каналів. Це рівнозначно тому, що сигнал, що збільшує  $P_{\text{пт}l}$ , потрапляє в кожен канал. Однак на практиці найбільш імовірним є попадання на вхід приймача за час спостереження  $T_c$  тільки одного сигналу. Тому при розрахунку величини  $P_{\text{пт}L\Sigma}'$  за виразом (2.11)

доцільно прийняти ймовірність хибної тривоги одного каналу (наприклад, першого,  $l = 1$ ) рівною  $P_{\text{пт}l}'$ , яка визначається за виразом (2.10), а для інших каналів ( $l = \overline{2, L}$ ) ймовірність  $P_{\text{пт}l}'$  визначати за виразом (2.1). Аналогічно, якщо потрібно розглянути випадок одночасного потрапляння на вхід приймача двох сигналів (в різні канали), ймовірність хибної тривоги для двох каналів розраховується за виразом (2.10), а для решти – по (2.1). При прийомі одного сигналу вираз (2.11) запишеться у вигляді наступного ряду:

$$\begin{aligned}
P'_{\text{пт}L\Sigma(1)} = & P'_{\text{пт}1} + \sum_{i=2}^L P_{\text{пт}i} - \left( \sum_{j=2}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} + \sum_{i=2}^L P_{\text{пт}i} P'_{\text{пт}1} \right) + \\
& + \left( \sum_{k=2}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} P_{\text{пт}k} + \sum_{j=2}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} P'_{\text{пт}1} \right) - \\
& - \left( \sum_{n=2}^{L-3} \sum_{k=1+n}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} P_{\text{пт}k} P_{\text{пт}n} + \sum_{k=2}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пт}i} P_{\text{пт}j} P_{\text{пт}k} P'_{\text{пт}1} \right) + \\
& + \dots + (-1)^{L-1} P'_{\text{пт}1} \prod_p^L P_{\text{пт}p} \tag{2.15}
\end{aligned}$$

Беручи частотні характеристики кожного каналу однаковими, після перетворення виразу (2.15) маємо:

$$\begin{aligned}
P'_{\text{пт}L\Sigma(1)} = & P'_{\text{пт}1} + (1 - P'_{\text{пт}1}) \left[ \frac{(L-1)!}{1!(L-2)!} P_{\text{пт}l} - \frac{(L-1)!}{2!(L-3)!} P_{\text{пт}l}^2 + \frac{(L-1)!}{3!(L-4)!} P_{\text{пт}l}^3 - \right. \\
& \left. \frac{(L-1)!}{4!(L-5)!} P_{\text{пт}l}^4 + \dots + (-1)^{L-2} \frac{(L-1)!}{(L-2)!1!} P_{\text{пт}l}^{L-2} \right] + (-1)^{L-1} (L-1) P_{\text{пт}l}^{L-1} \tag{2.16}
\end{aligned}$$

Розрахунок ймовірності хибної тривоги в  $M$ -ступеневу матричному приймачі, що містить  $L_m$  каналів в кожному ступені ( $m = \overline{1, M}$ ), буде залежати від того, чи потрапляє сигнал на стики каналів в наступних після першого ступеня. У загальному випадку, якщо сигнал потрапляє на стики каналів в кожному ступені, збільшуючи ймовірність хибної тривоги, вираз для ймовірності хибної тривоги в приймачі має вигляд:

$$P'_{\text{пт} \text{ пр}} = \sum_{i=1}^M P'_{\text{пт}L\Sigma i} - \sum_{j=1}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P'_{\text{пт}L\Sigma i} P'_{\text{пт}L\Sigma j} + \sum_{k=1}^{M-2} \sum_{j=1+k}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P'_{\text{пт}L\Sigma i} P'_{\text{пт}L\Sigma j} P'_{\text{пт}L\Sigma k} - \dots$$

$$- \sum_{n=1}^{M-3} \sum_{k=1+n}^{M-2} \sum_{j=1+k}^{M-1} \sum_{i=1+j}^M P'_{\text{птЛ}\Sigma i} P'_{\text{птЛ}\Sigma j} P'_{\text{птЛ}\Sigma k} P'_{\text{птЛ}\Sigma n} + \dots + (-1)^{L-1} \prod_{p=1}^L P'_{\text{птЛ}\Sigma p} \quad (2.17)$$

Для двоступеневого приймача, в якому в обох ступенях виконується перенос частоти в загальний (для ступеня) діапазон ПЧ, ймовірність хибної тривоги з урахуванням неоднозначності визначення частоти, пов'язаної з попаданням сигналу на стики сусідніх каналів, складе:

$$P'_{\text{пт пр}} = P'_{\text{птЛ}\Sigma 1} + P'_{\text{птЛ}\Sigma 2} - P'_{\text{птЛ}\Sigma 1} P'_{\text{птЛ}\Sigma 2}. \quad (2.18)$$

Якщо в другому ступені перетворення частоти не виконується, і вона побудована за принципом багатоканального приймача, то потрапляння сигналів на стики каналів не призводить до неоднозначності і, відповідно [6],

$$P'_{\text{пт пр}} = P'_{\text{птЛ}\Sigma 1} + P'_{\text{птЛ}\Sigma 2} - P'_{\text{птЛ}\Sigma 1} P'_{\text{птЛ}\Sigma 2} \quad (2.19)$$

Цей же вираз описує ймовірність хибної тривоги в приймачі, якщо в другому ступені використовується перенос частоти, але сигнал не потрапляє на стики каналів (або його вплив настільки малий, що ним можна знехтувати).

Розрахунок ймовірності правильного виявлення сигналу.

Можливість правильного виявлення дозволяє кількісно оцінити надійність виявлення сигналу, яка є однією з основних тактико-технічних характеристик засобів РТС [28].

При попаданні сигналу в область граничної частоти каналу відбувається відгалуження потужності в сусідній канал. Однак відгалуженням можна знехтувати, оскільки надвисокочастотні подільники та відгалужувачі потужності мають розв'язку не менше 20 дБ. Тому можна вважати, що чутливість на стиках каналів через витік потужності в сусідні канали не знижується, і при виведенні виразів для ймовірності правильного виявлення вигомою можна знехтувати.

Можливість правильного виявлення сигналу в каналі  $l$  на тлі адитивного гаусового шуму [21]:

$$P_{\text{пвиявл}l} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\frac{h}{N_0} - T_c \Delta f_{\text{ш}} - \frac{Q_l}{N_0}}{\sqrt{2 \left( T_c^2 \Delta f_{\text{ш}}^2 + \frac{Q_l}{N_0} \right)}} \right) \right], \quad (2.20)$$

де  $Q_l = \int_0^{T_c} S_l^2(t) dt$  – енергія, що виділяється корисним сигналом на виході каналу  $l$  за час  $T_c$ .

За аналогією з виразом (2.2), ймовірність правильного виявлення сигналу ступенем дорівнює:

$$\begin{aligned} P_{\text{пвиявл}L\Sigma} = & \sum_{i=1}^L P_{\text{пви}i} - \sum_{j=1}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пви}i} P_{\text{пв}j} + \sum_{k=1}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пви}i} P_{\text{пв}j} P_{\text{пв}k} - \\ & - \sum_{n=1}^{L-3} \sum_{k=1+n}^{L-2} \sum_{j=1+k}^{L-1} \sum_{i=1+j}^L P_{\text{пви}i} P_{\text{пв}j} P_{\text{пв}k} P_{\text{пв}n} + \dots + (-1)^{L-1} \prod_{p=1}^L P_{\text{пв}p} \end{aligned} \quad (2.21)$$

З огляду на те, що невід'ємною складовою процесу виявлення в РТР є селекція сигналу по частоті, для якої повинні спрацювати пристрої виявлення по всьому шляху проходження сигналу, виявлення сигналу приймачем виконується тільки при спільному виявленні у всіх ступенях. Відповідно, ймовірність правильного виявлення сигналу  $M$ -ступінчастим матричних приймачем складе

$$P_{\text{пв пр}} = \prod_{i=1}^M P_{\text{пв}L\Sigma i} \quad (2.22)$$

### 2.3 Оцінка величини НВЧ-2 по ширині смуги неоднозначності

Для наближеного розрахунку величини НВЧ-2 можна використовувати ширину смуги неоднозначності, в якій при заданих значеннях сигналу  $P_{\text{вх}}$ , ДРЧ  $\Delta f_{\text{рч}}$ , чутливості приймача  $P_0$ , крутизні схилів АЧХ каналів  $S$  і відношенні сигнал-шум  $q$  відбувається помилкове виявлення. Смуга визначається в герцах

$$\Delta f_{\text{НВЧ-2}} = 2(L-1)(P_{\text{вх}} - P_0)/S \quad (2.23)$$

або в процентах

$$\Delta f_{\text{НВЧ-2}} = [2(L - 1)(P_{\text{вх}} - P_0)/S\Delta f_{\text{рч}}] \cdot 100\% \quad (2.24)$$

де  $L$  – кількість каналів першого ступеня.

Вираз (2.24) показує смугу, в якій потужність вхідного сигналу з урахуванням крутизни АЧХ каналних фільтрів перевищує порогове значення чутливості і призводить до помилкового виявлення. Для визначення реальної чутливості вираз (2.24) необхідно записати з урахуванням відносини сигнал-шум  $q$  на виході лінійної частини:

$$\Delta f_{\text{НВЧ-2}} = [2(L - 1)(P_{\text{вх}} - q - P_0)/S\Delta f_{\text{рч}}] \cdot 100\% \quad (2.25)$$

Якщо у виразі (2.25)  $P_{\text{вх}}$  прийняти рівною потужності в верхній точці ДД вхідного сигналу, можна визначити максимально можливу смугу неоднозначності приймача для заданого ДД вхідного сигналу. Оцінка по ширині смуги неоднозначності є менш точною, оскільки в порівнянні з попереднім способом оцінки НВЧ-2 не враховує статистичних параметрів сигналу і шуму. А, крім того, як і в попередньому способі, не враховується реальна форма АЧХ каналів - використовується лінійна апроксимація. Отримані в цьому пункті вираження для обчислення ймовірності хибної тривоги можуть бути використані для кількісної оцінки НВЧ-2, в тому числі при використанні спеціальних засобів зниження неоднозначності.

Вирази для розрахунку ймовірності правильного виявлення дозволяють будувати характеристики виявлення. З огляду на те, що при неправильному визначенні частоти постановка перешкод виконується у вільних від радіолокаційних сигналів частотних діапазонах, оцінка НВЧ-2 в кінцевому підсумку допомагає раціонально розподілити перешкоджаючі ресурси при придушенні РЛС супротивника.

## 2.4 Порівняльний аналіз показників ефективності способів зниження неоднозначності визначення частоти

Неоднозначність визначення частоти першого роду.

Неоднозначність визначення частоти першого роду обумовлена наявністю паразитних смуг пропускання каналних фільтрів в смузі прийому хоча б однієї із ступенів. Для придушення паразитних смуг фільтра використовуються резонатори зі стрибком хвильового опору. За рахунок комбінації відрізків ліній передач з різними хвильовими опорами і електричними довжинами можна отримати значне придушення паразитних смуг.

НВЧ-1 виключається при підключенні детекторних пристроїв виявлення до ланцюгів ПЧ. Якби детектори стояли по ВЧ, то вони б спрацьовували при попаданні сигналу в паразитну смугу пропускання нижнього по частоті каналу і в основну смугу верхнього каналу. При цьому сигнал у верхньому каналі переносився б в смугу ПЧ, і було б незрозуміло, до якого з каналів належить сигнал. Якщо детектори встановлені в тракці ПЧ, помилкових спрацьовувань не відбувається: сигнал, що потрапив в паразитну смугу нижнього по частоті каналу, переноситься за межі ДПЧ, і спрацьовування в каналі відсутня. У схемі з пристроєм виявлення, що встановлений по ПЧ, виникнення НВЧ-1 можливе через наявність паразитних смуг пропускання інших фільтрів. Так, причиною виникнення НВЧ-1 може стати перетворення сигналу, який потрапив в паразитну смугу каналу, в діапазон, відповідний одній з паразитних смуг фільтра ПЧ. Відбудеться виявлення сигналу на виході детектора каналного пристрою виявлення, сигнал оцифровується пристроєм обробки, і на основі цього буде прийнято рішення про наявність сигналу в діапазоні ПЧ. Вилучити НВЧ-1 в цьому випадку можливо за рахунок придушення або зсуву паразитних смуг пропускання фільтрів ПЧ, а також каналних фільтрів.

Також виникнення НВЧ-1 можливе, якщо сигнал гетеродина має в своєму спектрі потужні гармоніки. Тоді при перенесенні частоти сигналу, який потрапив в паразитну смугу пропускання каналного фільтра, можлива поява комбінаційних складових, що потрапляють в діапазон ПЧ. Для

виключення цієї причини виникнення НВЧ-1 необхідно використовувати генератори з високою чистотою спектра.

Після аналізу можливих причин виникнення НВЧ-1 очевидно, що для її виключення на етапі розробки структурної схеми приймача, необхідно встановити оцінювачі сигналу в тракці ПЧ, вибрати гетеродин з чистим вихідним спектром і придушити паразитні смуги пропускання фільтрів ПЧ. При цьому додаткове придушення паразитних смуг пропускання каналних фільтрів не потрібно. Причому придушення паразитних смуг в діапазоні ПЧ більш ефективно в порівнянні з придушенням в діапазоні ВЧ, тому що одночасно виключає просочування гетеродинних сигналів в тракт ПЧ через паразитні смуги, а крім того, не потрібно доопрацювання смугового фільтра в кожному каналі, фільтри ПЧ ідентичні у всіх каналах.

Паразитні смуги пропускання фільтра ПЧ можна усунути шляхом придушення або зсуву. Однак при цьому розміри топології фільтра збільшуються, а також змінюється АЧХ. Для придушення паразитної смуги пропускання фільтра можливе послідовне включення додаткового фільтра низької частоти (ФНЧ) [14]. Також використовуються резонатори зі стрибком хвильового опору. За рахунок комбінації відрізків ліній передачі з різними хвильовими опорами і електричними довжинами можна отримати значне придушення паразитних смуг.

У деяких випадках можливе усунення неоднозначності шляхом невеликого зсуву паразитної смуги пропускання. Тоді можна використовувати метод часткового видалення шару екрану. Суть методу полягає в тому, що за рахунок створення "вікон" в шарі екрану під розташованими з другого боку плати мікросмужковими резонаторами зменшується ємність резонаторів на землю, і, відповідно, збільшується коефіцієнт зв'язку між резонаторами. А це, в свою чергу, зрушує смугу пропускання вниз по частоті. У загальному випадку зрушення частоти є більш ефективним, тому що в порівнянні з придушенням воно повністю

виключає наявність паразитної смуги з центральною частотою  $Nf_0$ . Однак зрушення можливе тільки на невелику величину.

Неоднозначність визначення частоти другого роду.

Як зазначалося вище неоднозначність другого роду виникає при попаданні сильних сигналів в суміжні області сусідніх каналів, тому що смугові фільтри не мають ідеально прямокутної АЧХ.

Для зменшення неоднозначності другого роду можна використовувати пороговий бінарний пристрій виявлення на основі фазового детектора або поділ каналів ПЧ на групи з роздільною обробкою їх вихідного сигналу. Традиційно в каналах широкосмугових приймальних пристроїв використовуються порогові бінарні пристрої виявлення, що містять послідовно з'єднані смуговий фільтр, амплітудний детектор і граничний пристрій [4]. Граничний бінарний пристрій виявлення на основі фазового детектора (рис. 2.3, а) знижує неоднозначність визначення частоти на стиках каналів [18]. Досягається це за рахунок використання фазового детектора (ФД), на один вхід якого через каналний смуговий фільтр з граничними частотами  $f_1, f_2$  подається сигнал в заданому діапазоні частот каналу, а на другий - той же сигнал, але пропущений через два послідовно з'єднаних вузько смугових режекторних фільтрів. Сигнал з виходу детектора надходить на пороговий пристрій (ПП), який формує ознаку наявності сигналу (ОНС) в каналі. Центральні частоти  $f_1, f_2$  смуг загородження фільтрів обрані на межах каналу, чим забезпечується необхідний фазовий зсув в цих областях. Напряга на виході ФД визначається виразом [7]:

$$V = K \cdot V_0 \cdot V_B \cdot \cos (F_B - F_0), \quad (2.26)$$

де  $K$  – крутизна фазових характеристик ФД,  $V_0$  – напряга сигналу на виході опорного плеча, з'єднаного з виходом смугового фільтра,  $V_B$  – напряга сигналу на виході вимірювального плеча, з'єднаного з виходом режекторного фільтра,  $F_B, F_0$  – фазові зрушення сигналу на виходах вимірювального і опорного плечей відповідно. В результаті складання АЧХ смугового і режекторного фільтрів частотна залежність напруги на виході детектора має

вигляд, показаний на рис. 2.3, б. Як видно, при виході частоти за межі каналу напруга змінює свій знак на негативний.

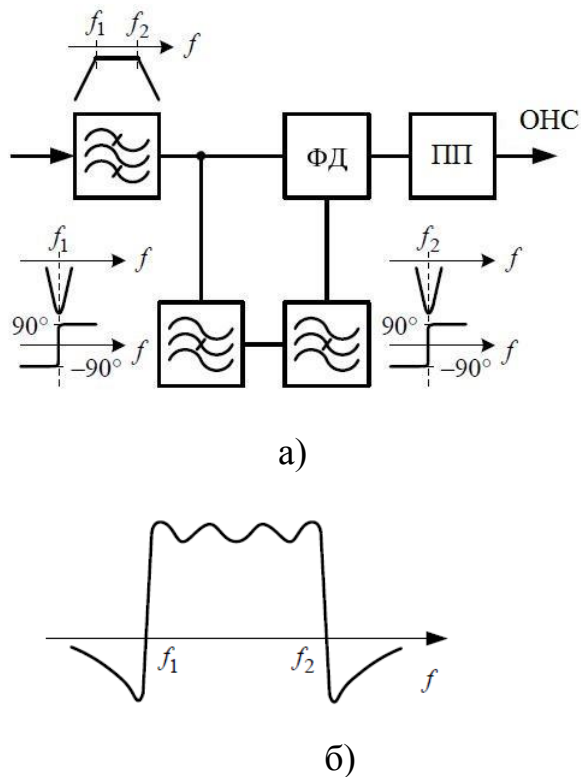


Рисунок 2.3 – Граничний бінарний пристрій виявлення на основі фазового детектора: а – схема; б – частотна залежність вихідної напруги

Недоліками використання такого детектора є ускладнення схеми і зниження надійності приймача в цілому через використання додаткових активних елементів (фазових детекторів). Також варто відзначити необхідність наявності обробки сигналів з пристроїв виявлення.

Розглянемо два способи зниження НВЧ-2. Перший полягає в поділі каналів ПЧ на групи з роздільною обробкою їх вихідного сигналу. Другий спосіб передбачає додаткові виміри частоти на стиках частотних каналів. Розглянемо показники ефективності першого способу, який полягає в поділі каналів ПЧ на групи так, щоб канали однієї групи не були сусідніми. Сигнали з виходів каналів різних груп підсумовуються і обробляються окремо. Окремим випадком такого підходу є поділ каналів на дві групи: парні і

непарні, що, як правило, і використовується на практиці [25]. Двох груп досить для реалізації принципу, а подальше збільшення їх кількості для вирішення даного завдання економічно недоцільно. В результаті поділу каналів ПЧ при попаданні сильного сигналу в суміжну область сусідніх каналів спрацьовують два детектора, але в каналі  $K$  визначається потужний сигнал, а в каналі  $K + 1$  він відсутній (рис. 2.1). Така ситуація обробляється програмою за логікою, яка спрацьовування каналу  $K + 1$  визнає помилковим. Якщо ступенів кілька, і сигнал з виходу будь-якого  $i$ -го ступеня окремо не подається на обробку, то в кожному ступені повинна бути схема обробки сигналів суматорів.

Поділ каналів більше ніж на дві групи, про який говорилося вище, може знадобитися, при необхідності збільшення пропускної спроможності і для обробки широкосмугових сигналів, спектр яких потрапляє в три і більше каналів одного ступеня.

Недоліком поділу каналів ПЧ на парні і непарні є ускладнення схеми за рахунок введення суматорів і схем обробки їх сигналів в кожному ступені. Також потрібна наявність додаткового пристрою обробки, функцією якого є визначення частоти прийнятого сигналу по набору індикаторів, що спрацювали.

При поділі каналів на групи НВЧ-2 зберігається у вузькій смузі  $\Delta f_{\text{НВЧ-2}}$ , в якій потужність вхідного сигналу з урахуванням крутизни АЧХ каналних фільтрів перевищує порогове значення чутливості і призводить до помилкового виявлення. Смуга неоднозначності може бути оцінена за виразом (2.25). Однак при детектуванні і цифровій обробці сигналу для оцінки НВЧ-2 доцільно використовувати смугу, яка визначається за виразом

$$\Delta f_{\text{НВЧ-2}} = \Delta_{\text{АЦП}} / S_1, \quad (2.27)$$

де  $\Delta_{\text{АЦП}} = \frac{10 \lg(P_{\text{вх дет max}} / P_{\text{вх дет min}})}{2^N}$  – роздільна здатність АЦП, встановленого на виході каналу після детектора ( $P_{\text{вх дет max}}$  – максимальна потужність на

вході детектора,  $P_{\text{вх дет min}}$  – мінімальна потужність на вході детектора,  $N$  – розрядність АЦП),  $S_1$ - крутизна схилу АЧХ каналу.

У цій смузі при спрацьовуванні пристроїв виявлення сусідніх каналів роздільної здатності АЦП недостатньо для визначення каналу з найбільшою потужністю на виході. Для оцінки ефективності поділу каналів на групи в натуральному вираженні (2.6) для  $S_i'(t)$  необхідно змінити межі інтегрування:

– замість  $[f_{\text{н}}, f_{l-1}]$  має бути  $[f_{l-1} - \Delta f_{\text{НВЧ-2}}, f_{l-1}]$ ;

– замість  $[f_l, f_{\text{в}}]$  має бути  $[f_l, f_l + \Delta f_{\text{НВЧ-2}}]$ .

З огляду на високі технічні характеристики при відносно низькій вартості, в якості логарифмічного детектора можна використати мікросхему ADL5513 фірми Analog Device. Динамічний діапазон сигналу на вході мікросхеми ADL5513 становить 70 дБ [33]. А при виборі 12-розрядного АЦП роздільна здатність буде дорівнює:  $\Delta_{\text{АЦП}} = 0,017$  дБ. За смугою  $\Delta f_{\text{НВЧ-2}}$  також можна оцінити ефективність способу.

Другий спосіб заснований на використанні пристрою вимірювання частоти (ПВЧ). Пристрій вимірювання частоти підключається до входу кожного ступеня приймача, за винятком останньої, і дозволяє уточнити визначені приймачем частоти. В основу пристрою покладено використання ланцюгів з яскраво вираженою частотною залежністю коефіцієнта передачі. На рис. 2.4 сигнал зі входу ПВЧ, пройшовши через підсилювач-обмежувач (ПО), розгалужується на  $K$  каналів. Кожен канал містить послідовно включені смуговий фільтр, який формує смугу пропускання каналу  $\Delta f_i$ , фільтр, який має в смузі  $\Delta f_i$  нахил АЧХ, і детектор. ПО підсилює сигнали до одного рівня. Далі в кожному каналі, в залежності від частоти, сигнал набуває відповідну амплітуду, детектується і надходить в пристрій цифрової обробки (ПЦО). ПЦО включає в себе АЦП і виконує вимірювання амплітуди сигналу в кожному каналі, співвідношення цієї амплітуди з таблицею частот для кожного каналу і видає виміряне з заданою точністю значення частоти сигналу. Кількість каналів ПВЧ  $K$  на один більше кількості каналів ступені,

до якої підключено пристрій, а смуга робочих частот ПВЧ перекриває смугу робочих частот ступені. Відповідно, серединам каналів ПВЧ відповідають межі каналів приймача і навпаки.

Спосіб зниження НВЧ-2, заснований на використанні частото-залежного пристрою (ЧЗП) також передбачає наявність смуги неоднозначності, яка визначається роздільною здатністю АЦП і крутизною АЧХ ЧЗП. Оскільки ПВЧ по суті є додатковим приймачем, підключеним до основного, його чутливість повинна бути, по можливості, не гірше чутливості основного приймача.

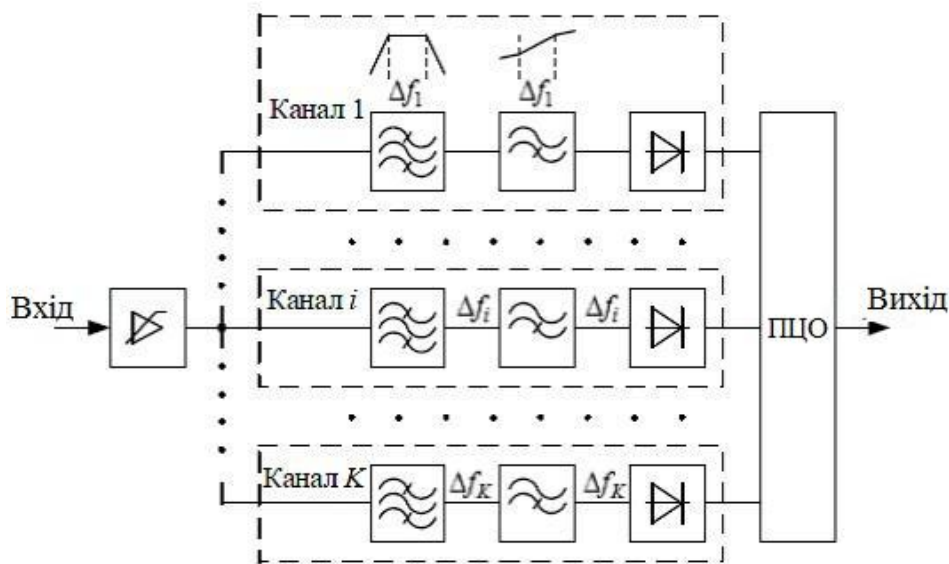


Рисунок 2.4 – Пристрій вимірювання частоти

Однак наявність частото-залежного пристрою неминує знижує чутливість, тому крутизна АЧХ ЧЗП не повинна бути високою. У той же час для підвищення роздільної здатності крутизна повинна бути якомога вище. Аналогічно першому способу, НВЧ-2 зберігається у вузькій смузі  $\Delta f_{\text{НВЧ-2}}$ , яка визначається роздільною здатністю АЦП з пристроєм цифрової обробки ПВЧ,  $\Delta_{\text{АЦП}}$  і крутизною АЧХ частото-залежних пристроїв в смузі  $i$ -го каналу ПВЧ  $S_{\text{ЧЗП}}$ . Для оцінки ефективності використання пристрою вимірювання частоти за методикою оцінки НВЧ-2 в вираженні (2.6) для  $S_l'(t)$  необхідно змінити межі інтегралів [100]:

– замість  $[f_H, f_{l-1}]$  має бути  $[f_{l-1} - \Delta f_{\text{НВЧ-2}}, f_{l-1}]$ ;

– замість  $[f_l, f_V]$  має бути  $[f_l, f_l + \Delta f_{\text{НВЧ-2}}]$ ,

де  $\Delta f_{\text{НВЧ-2}} = \Delta_{\text{АЦП}}/S_{\text{ЧЗП}}$ .

При використанні ПВЧ смуга неоднозначності приблизно в 23 рази ширша, ніж при поділі каналів на групи. Використання ПВЧ дає менший внесок в зниження НВЧ-2.

При віддаленні несучої сигналу від межі каналу обидва способи зниження НВЧ-2 зменшують ймовірність хибної тривоги приймача. При цьому  $P_{\text{пт пр}}$  найефективніше знижується при деякому відстроюванні сигналу, що заважає, від межі каналу. Подальше його віддалення від межі каналу показує зниження ефективності. При відстроюванні на 100 МГц ефект від використання обох засобів зниження НВЧ-2 мінімальний. При відстроюванні до середини каналу (250 МГц) ефект від використання засобів зниження НВЧ-2 практично відсутній. Це пояснюється високим загасанням сигналу при великому відстроюванні, а також віддаленістю спектра сигналу від межі каналу. Тому можна зробити висновок, що засоби зниження НВЧ-2 ефективні при попаданні сигналу в смугу до 70 ... 100 МГц від межі каналу. При попаданні сигналу далі від межі каналу його вплив на зростання  $P_{\text{пт пр}}$  незначне і порівняне з впливом шумів [25].

Іншим показником ефективності засобів зниження НВЧ-2 є вираш у відношенні сигнал-шум. Слід зауважити, що при мінімальному відстроюванні частоти сигналу, що заважає, від межі каналу поділ каналів на групи є більш ефективним. Для фіксованої  $P_{\text{пт пр}}$  відношення потужності сигналу, що заважає до потужності шуму  $q$  при відстроюванні, що прагне до нуля ( $\Delta f \rightarrow 0$ ) для методу розподілу каналів на групи може бути на 2 дБ вище в порівнянні з методом, що використовує ПВЧ. При збільшенні відстроювання частоти сигналу, що заважає від межі каналу ефект від використання обох засобів зниження НВЧ-2 практично ідентичний.

Розглянуті способи зниження неоднозначності визначення частоти другого роду мають однаковий недолік – складність виконання, а точність

характеристик багато в чому залежать від застосовуваної електронної компонентної бази: для першого способу важлива висока добротність режекторного фільтрів, а для другого – розрядність АЦП і динамічний діапазон детектора.

В цілому розглянуті засоби мають приблизно однакову ефективність. (Рисунок 2.5). Тому при виборі конкретних засобів зниження НВЧ-2 слід віддавати перевагу іншим характеристикам. Так, поділ каналів на групи дозволяє підключати на вихід приймача кілька пристроїв обробки, підвищуючи таким чином пропускну здатність і підвищуючи якість обробки ШПС. Використання ПВЧ дозволяє зменшувати НВЧ-3.

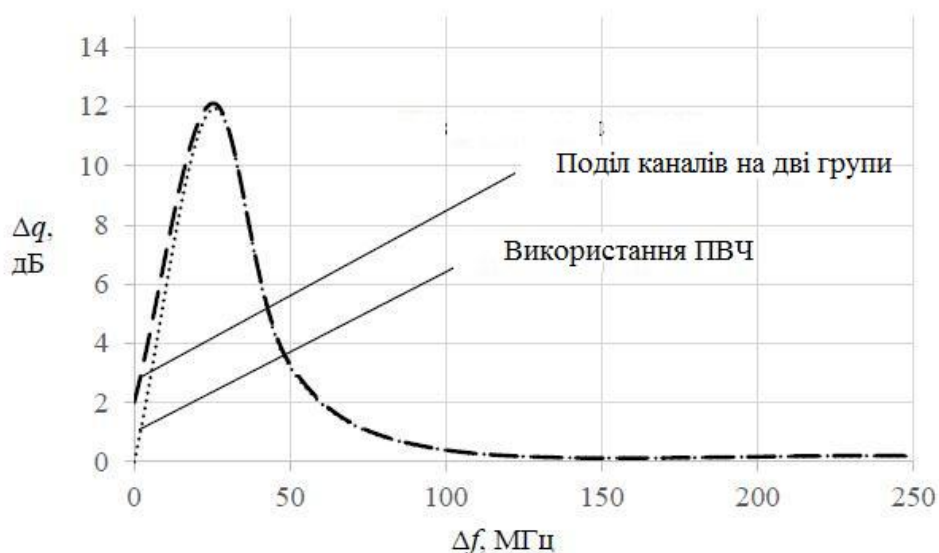


Рисунок 2.5 – Залежність виграшу у відношенні сигнал-шум від віддалення несучої сигналу від межі каналу при використанні засобів зниження НВЧ-2 [25].

При необхідності вирішення обох завдань технічні рішення доцільно комбінувати. У цьому випадку загальна ефективність їх роботи буде визначатися засобом з найменшою смугою неоднозначності. Очевидно також, що повністю виключити неоднозначність не дозволяють обидва способи.

Неоднозначність визначення частоти третього роду.

В роботі [20] запропоновано заснована на матричному принципі побудова приймача, в якому неоднозначність третього роду усувається тільки для першого ступеня і тільки при прийомі двох сигналів. Однак описаний там принцип можна поширити на всі ступені і на більшу кількість сигналів. З метою зниження НВЧ-З запропоновано першу ступінь матричного приймача доповнити функціональним вузлом, що дозволяє при виявленні одночасного потрапляння сигналів в два канали першого ступеня виключити визначення помилкових значень частоти за рахунок затримки сигналу на виході одного частотного каналу першого ступеня щодо іншого. Сигнал, що проходить без затримки, обробляється першим, а затриманий сигнал – другим. Схема містить комбінаційний логічний пристрій, який при необхідності підключає в кожному каналі лінію затримки (ЛЗ) з фіксованою величиною затримки. Якщо доповнити другий і наступні ступені аналогічними вузлами і змінивши логіку роботи так, щоб оброблялася ситуація з безліччю сигналів, тоді НВЧ-З буде повністю усунена. Однак таке рішення вимагає ускладнення схеми, крім того з'являється нова проблема – ймовірність пропуску сигналу за час роботи ЛЗ. ЛЗ має фіксовану величину затримки, тому, якщо тривалість сигналів набагато менше часу затримки, неефективно витрачається часовий ресурс – обробка сигналів виконується значно пізніше їх закінчення. Це збільшує час до прийняття відповідних дій, що має велике значення для РЛС.

Тому для виключення НВЧ-З в кожному ступені матричного приймача з частотним перетворенням, крім останнього, необхідно додатково використовувати пристрій вимірювання частоти, принцип дії якого описаний вище. ПВЧ підключається до  $j$ -го ступеня приймача. Тоді при роздільній здатності ПВЧ по частоті не менше ширини смуги пропускання каналу  $j$ -го ступеня приймача усувається неоднозначність вимірювання в  $(j + 1)$ -му ступені. Якщо можливо отримати роздільну здатність по частоті, що дорівнює або перевищує ширину каналу останнього ступеня, то досить використовувати схему тільки в першому ступені.

Підвищення ймовірності однозначного визначення частоти в умовах прийому суміщених за часом різночастотних сигналів в  $M$ -ступеневу матричному приймачі виконується за рахунок уточнення приналежності кожного сигналу до того чи іншого каналу  $j$ -го ступеня матричного приймача. Для цього грубо вимірюють частоти сигналів в діапазоні робочих частот  $j$ -го ступеня приймача, що має  $L_j$  каналів, і зіставляють номери індикаторів каналів ступеня, що спрацювали з виміряними значеннями частоти.

Максимально можливу кількість одночасно оброблюваних сигналів, для яких знижується неоднозначність, відповідає кількості каналів ПВЧ. Затримка сигналу визначається інерційністю використовуваних пристроїв і для вирішуваних завдань нею можна знехтувати. Пропуск сигналу, зважаючи на паралельного огляду і відсутності ліній затримки, виключений. Відсутність затримки сигналу забезпечує мінімальний час до прийняття відповідних дій.

Неоднозначність визначення частоти четвертого роду. Для зниження неоднозначності четвертого роду доцільно використовувати пристрої, лінійні в заданому динамічному діапазоні. Крім того, розширення ДД можливо за рахунок використання швидкодіючого атенюатора.

### **3 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ПРОЕКТУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВОГО ПРИЙМАЧА**

3.1 Обґрунтування технічних рішень, що поліпшують показники якості широкосмугового приймача

Однією з основних завдань, сформульованих у розділі 1, є зниження неоднозначності визначення частоти різного роду. У розділі 2 виконано порівняльний аналіз різних способів зниження НВЧ, тому нижче з короткими поясненнями будуть обрані найбільш ефективні з них.

Для зниження НВЧ-1 доцільно встановити пристрої виявлення сигналу в тракті ПЧ, а також виконати придушення паразитних смуг пропускання фільтрів ПЧ. Установка детектора в тракт ПЧ (на відміну від варіанту його установки в тракт ВЧ) виключає помилкове виявлення при попаданні сигналу в паразитні смуги частотних каналів ШПрП. Можливість попадання в паразитну смугу фільтра ПЧ виключається придушенням паразитних смуг фільтра ПЧ шляхом використання режекторних фільтрів.

Зменшення величини НВЧ-2 доцільно виконати шляхом поділення каналів на групи.

Для зниження НВЧ-3 пропонується використовувати розглянутий в розділі 2.4 пристрій вимірювання частоти.

Для зниження НВЧ-4 необхідно використовувати ПРЧ, лінійний в заданому ДД вхідного сигналу. При неможливості виконання даної вимоги доцільно використовувати атенюатор.

Іншим завданням є зниження рівня викликаних роботою гетеродинів внутрішньосистемних перешкод. Вирішити це завдання можна шляхом використання резистивних змішувачів. Для їх роботи потрібно частота гетеродина, зменшена в порівнянні з необхідною для негармонійного змішувача. При цьому частоти гетеродинів не потрапляють в ДРЧ ШПрП.

З метою спрощення схемо-конструктивної побудови приймального пристрою пропонується одночасне використання двох відомих технічних рішень: робота одного гетеродина на два змішувача; зменшення кількості каналів ВЧ і гетеродинів за рахунок додаткового розбиття на канали в діапазоні ПЧ.

Для розв'язки паралельних каналів, підключених до одного гетеродина, пропонується введення вузькосмугових фільтрів, налаштованих на частоту гетеродина  $f_r$ , а також введення в тракт ПЧ додаткових режекторних ланцюгів на частоті паразитної смуги пропускання фільтра ПЧ для виключення помилкового визначення частоти при проходженні в тракт ПЧ сигналу гетеродина і сигналів, перенесених в паразитні смуги ПЧ з паразитних смуг каналів.

Значне збільшення чутливості приймача може бути досягнуто шляхом закривання частотних каналів приймача в початковому стані. При перевищенні сигналом заданого порогу канал відкривається і сигнал надходить в ПЦО для обробки. Таке рішення реалізовано в приймальному станції РЛС, призначеному для роботи в пошуковому по частоті і без пошуковому режимах роботи [19].

Ще одним завданням, розв'язуваної перспективними засобами РТС, є прийом і обробка коротких імпульсів тривалістю 0,1 мкс і менше. За час спрацьовування детектора і відкриття спочатку замкненого каналу короткий імпульс не надходить на вихід аналогової частини і втрачається для обробки [19]. Для обробки коротких імпульсів і виключення втрати фронту довгого імпульсу пропонується введення в пристрій виявлення лінії затримки. Величина затримки підбирається рівній часу спрацьовування детектора і відкривання каналу.

В якості обробника сигналу проміжної частоти приймача можна прийняти пристрій цифрової обробки сигналу, що не виключає використання технології стиснення для підвищення чутливості або технології миттєвого

вимірювання частоти, що забезпечує мінімальний час до прийняття відповідних дій, та інших технологій.

На вході приймача доцільно використання захисних пристроїв, що виключають перевищення заданої максимальної потужності. Для діапазону частот до 18 ГГц доцільно застосування монолітних інтегральних схем (МІС), виконаних на основі GaAs монолітної технології. Вхідний каскад таких МІС виконаний на основі рiп-діодів, що дозволяє забезпечити високу вхідну потужність і мале загасання. Вихідний каскад виконаний на основі діодів Шостки, що забезпечують малу потужність просочування. Отже, такі МІС, виконані на основі GaAs монолітної технології, можуть бути рекомендовані для використання в якості вхідних захисних пристроїв.

### 3.2 Розробка узагальненої структурної схеми ШПрП

Розглянуті в розділі 3.1 технічні рішення об'єднані в рамках узагальненої схеми приймача матричного типу, представленої на рис. 3.1. За основу взята матрична схема, вихід якої розділений на групи паралельно включених каналів, на виході кожної з яких сигнал може бути оброблений окремо. Пропонований приймач (рис. 3.1) структурно складається з підсилювача радіочастоти (ПРЧ) на вході, ступенів матричного приймача, G-канального пристрою обробки сигналу ПЧ (ПОС), пристрою управління (ПУ), пристрою вимірювання частоти (ПВЧ) і опорного генератора (ОГ). Дані з виходів цифрових пристроїв передаються для обробки і управління на цифрову обчислювальну машину (ЦОМ).



Для опису роботи схеми розглянемо варіант реалізації з двоканальним ПОС ( $G = 2$ ) (рис. 3.2). Кількість виходів ПЧ також дорівнює двом, а багатоканальний пристрій виявлення (БПВ) стає двоканальним (ДПВ). Відповідний двоканальній схемі частотний план наведено на рис. 3.3.

Вхідний сигнал в діапазоні робочих частот від  $f_n$  до  $f_b$  надходить на вхід ПРЧ. Після посилення частина сигналу відгалужується на ПВЧ, а інша частина надходить безпосередньо в приймач. У приймачі сигнал ділиться по потужності розподільником на  $N/2$  частин. Кожна частина подається на вхід двоканального перетворювача частоти (ДПРЧ). У ДПРЧ сигнал ділиться навпіл і направляється в канали ДПРЧ, причому один канал налаштований на нижню, а другий на верхню бічну смугу перетворювача. На вході кожного каналу смуговим фільтром задається частотний діапазон каналу шириною  $\Delta f$ . Діапазон першого каналу ДПРЧ 1 позначений  $\Delta f_1$ , другого каналу ДПРЧ 1 –  $\Delta f_{(N/2 + 1)}$ , першого каналу ДПРЧ 2 –  $\Delta f_2$ , другого каналу ДПРЧ 2 –  $f_{(N/2 + 2)}$  і т.п. В останньому ДПРЧ  $N/2$  маємо діапазони  $f_{N/2}$  і  $f_N$ . Смуги каналів визначаються таким чином, що  $N/2$  низькочастотних каналів формуються верхніми за схемою каналами ДПРЧ, а  $N/2$  високочастотних каналів – нижніми.

Після фільтрації в ДПРЧ сигнал надходить на змішувач, яким переноситься в ДПВ  $\Delta f_{ПЧ}$ . Для спрощення приймача кожен гетеродин обслуговує два змішувача. Частоти гетеродинів установлені так, що після перетворення сигнали на виходах всіх ДПРЧ займають одну і ту ж смугу частот  $\Delta f_{ПЧ}$ . При цьому спектри сигналів, що потрапляють у верхню половину діапазону приймача і оброблюваних нижніми каналами ДПРЧ, інвертуються (рис. 3.3). Ця особливість враховується при подальшій ЦОС.

Фільтри на виході гетеродина налаштовані на частоту його сигналу і збільшують розв'язку між каналами ДРПЧ, запобігаючи паразитному проникненню сигналів між каналами.

У широкосмугових приймачах і приймачах, що мають великий ДД важливим завданням є зниження перешкод з боку гетеродинів, що потрапляють в сигнальну смугу частот.

Потужність гетеродинів встановлюється приблизно в 10 разів вище потужності сигналу, що знаходиться на верхній межі ДД [32, 12]. Це дозволяє перевести змішувачі в необхідний режим роботи і домогтися мінімальних втрат перетворення. Нижню межу ДД визначає потужність перешкод, що проникають в сигнал ПЧ. Тому необхідно зниження гетеродинних перешкод, яке в схемі досягається використанням резистивних змішувачів з субгармонійним накачуванням. При цьому частоти гетеродинів не перевищують нижньої межі ДРЧ приймача:  $f_{\Gamma i} < f_H$ ,  $i = \overline{1, N}$ , а змішувачі працюють на другій гармоніці цих частот (рис. 3.3). Тоді можна сформулювати систему рівнянь, що визначає частотний план ШПрП:

$$\left. \begin{aligned} & \{f_{\text{ПЧ}} = \pm(f_{ck} - 2f_{\Gamma i});\} \\ & \{0 \leq f_{\text{ПЧ}} < f_{\Gamma i} < f_H\} \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де  $f_{\text{ПЧ}}$  – проміжна частота,  $f_{ck}$  – частота вхідного сигналу, що обробляється в  $k$ -му каналі ДПРЧ ( $k = \overline{1, N}$ ),  $f_{\Gamma i}$  – частота гетеродина  $i$ -го ДПРЧ ( $i = \overline{1, N/2}$ ),  $f_H$  – нижня межа ДРЧ приймального пристрою.

Тут перший вираз визначає відомий закон перетворення частоти, що відрізняється лише частотою сигналу гетеродина, яка взята в два рази меншою, з огляду на використання змішувачів з накачуванням на половинній частоті. Перші два знаки в другому вираженні є умовами фізичної можливості бути реалізованим. Третій знак формулює умову відсутності потужних гетеродинних сигналів в діапазоні робочих частот, тобто нижче  $f_H$ . Всі ДПРЧ виконані за однаковою схемою і відрізняються лише частотними діапазонами оброблюваного сигналу і, відповідно, робочими частотами гетеродинів і смугових фільтрів. Виходами ДПРЧ є виходи змішувачів. З виходів ДПРЧ сигнал надходить на входи двоканальних пристроїв виявлення (ДПВ).

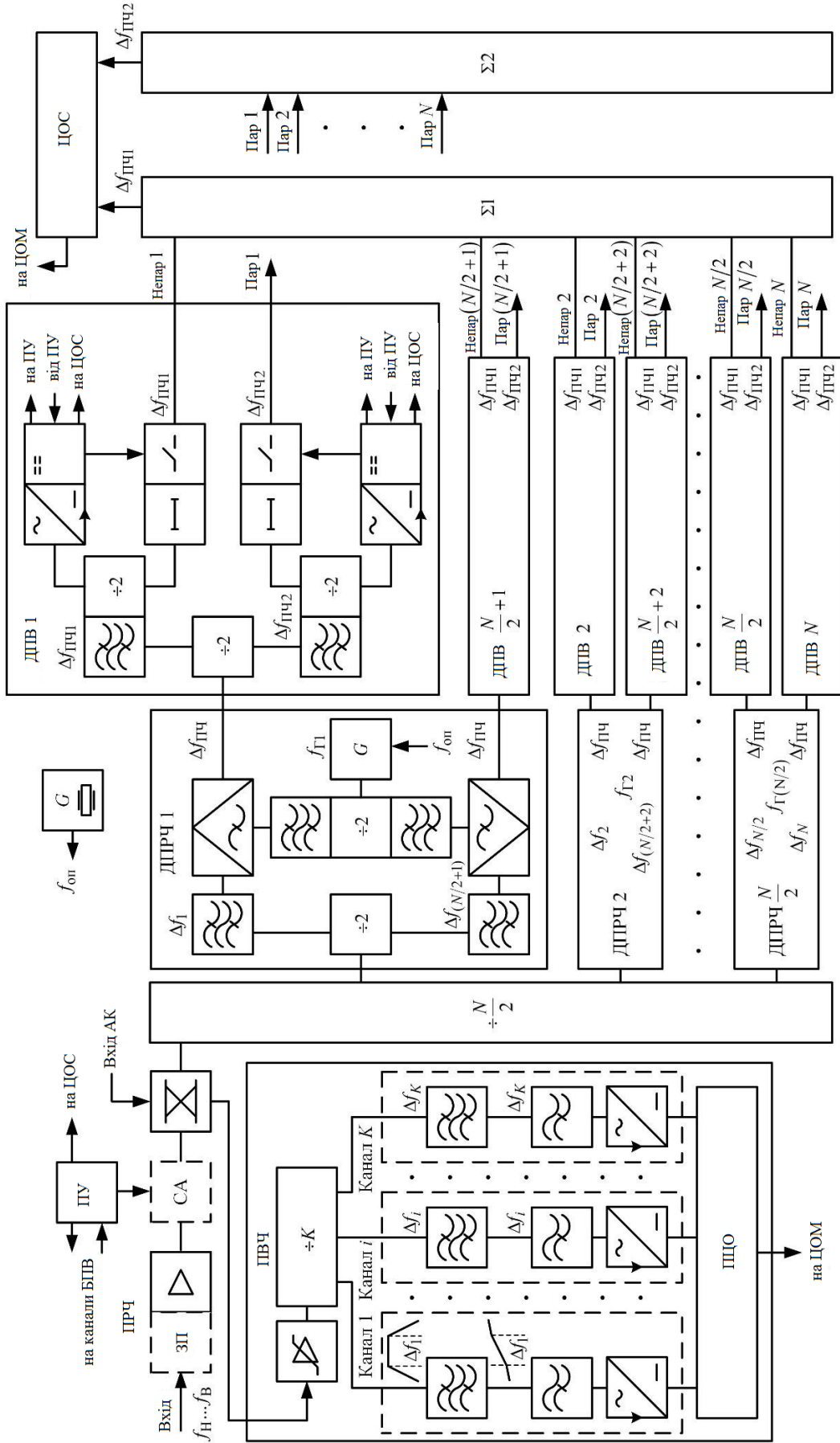


Рисунок 3.2 – Схема структурна приймального пристрою матричного типу з розділенням на дві групи каналів і модулем цифрової обробки сигналів ПЧ

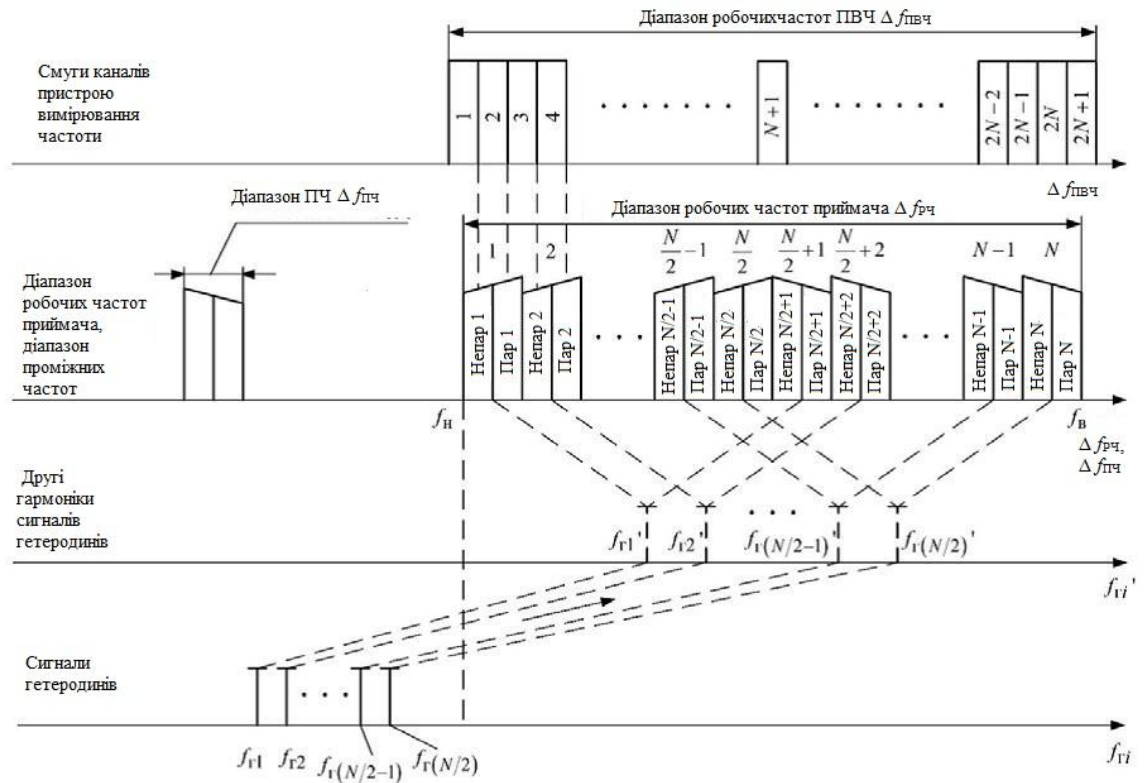


Рисунок 3.3 – Частотний план двоканального матричного приймального пристрою

Кількість ДПВ дорівнює подвоєному кількості ДПРЧ. На вході ДПВ сигнал розділяється навпіл і надходить в два ідентичних канали ПЧ, в яких виконується визначення. На вході кожного каналу смуговим фільтром для подальшої обробки виділяється половина діапазону ПЧ. Відповідно,  $\Delta f_{ПЧ1}$  для першого і  $\Delta f_{ПЧ2}$  для другого каналу. Розбиття діапазону ПЧ дозволяє зменшити смугу, що подається на цифрову обробку сигналу при збереженні кількості ВЧ-каналів.

Канали ДПВ за відсутності сигналу примусово закриті. При попаданні сигналу в канал ДПВ, частина його за допомогою дільника відгалужується на детектор. Продетектований сигнал надходить на компаратор, де порівнюється з порогом  $h$ , що задається пристроєм управління (ПУ). Друга частина відгалуженого дільником сигналу надходить через ЛЗ на керований ключ. Ключ відкривається компаратором при перевищенні продетектованим сигналом заданого порогу  $h$ , після чого сигнал через ключ надходить на вихід

ДПВ. При виявленні сигналу компаратор формує ознака наявності сигналу і подає його на ПУ.

Для виключення втрати короткого імпульсу за час спрацювання компаратора і відкривання ключа в підканалах ПЧ встановлені ЛЗ.

З виходів ДПВ сигнали виходять в двох частотних діапазонах, відповідних нижній і верхній половинам діапазону ПЧ:  $\Delta f_{ПЧ1}$  і  $\Delta f_{ПЧ2}$ . Для виключення НВЧ-2 сигнали непарних і парних каналів підсумовуються на виходах окремо. Відповідно,  $N$  ДПВ мають в цілому  $N$  непарних і  $N$  парних каналів. Номери каналів на схемі (рис. 3.2) відповідають номерам каналів на частотному плані (рис. 3.3). З виходів непарних каналів ДПВ сигнал надходить на суматор  $\Sigma_1$ , з виходів парних каналів – на суматор  $\Sigma_2$ .

З виходів суматорів сигнали надходять в пристрій обробки сигналів (ПОС). Туди ж передаються і номери каналів, що спрацювали. З виходу ПОС інформація про виявлений сигнал направляється в цифрову обчислювальну машину (ЦОМ).

На ПВЧ сигнал надходить через відгалужувач з виходу ПРЧ приймача. Принцип роботи ПВЧ описаний в розділі 2. З виходу ПВЧ код частоти передається на ЦОМ. Після обробки частот, визначених пристроєм визначення ШПрП, і даних ПВЧ, частоти прийнятих сигналів уточнюються, в результаті чого знижується НВЧ-3.

Всі гетеродини синхронізовані одним генератором опорної частоти  $f_{оп}$ , що виключає взаємні відхилення частот гетеродинів, що пов'язані з часовою і температурною нестабільністю.

До складу приймача при необхідності можуть включатися ступінчастий атенюатор (СА) і захисний пристрій (ЗП). СА може бути закладений до складу приймача при необхідності розширення ДД. Використання ЗП дозволяє захистити чутливі елементи вхідного надвисокочастотного тракту від потужного впливу.

Описана схема передбачає наявність двох обмежень. Перше: сигнали гетеродинів не повинні знаходитися в частотному діапазоні сигналів. Це

дозволяє спростити вимоги до якості екранування перетворювачів частоти і гетеродинів, забезпечити широкий динамічний діапазон приймача. Друге: реалізація широкосмугових надвисокочастотних пристроїв в нижній частині ДРЧ. Дана трудність виникає при розширенні смуги оброблюваних сигналів в область нижніх частот з одночасним збереженням ширини каналу обробки. Оскільки ширина смуги ПЧ залишається фіксованою, відносна смуга пропускання каналних фільтрів розширюється, і виникають труднощі в забезпеченні високої крутизни спаду АЧХ фільтру при збереженні низької нерівномірності характеристики в смузі пропускання в умовах обмеженого обсягу. Аналогічно, ускладнюється реалізація змішувачів і інших смугових пристроїв.

Оцінка показників якості широкосмугового приймача матричного типу. Показники якості приймача оцінюються за сукупністю наступних параметрів [12]: 1) діапазон робочих частот  $\Delta f_{\text{рч}}$ ; 2) час перебудови і миттєва смуга огляду; 3) чутливість  $P_0$  і коефіцієнт шуму  $N_0$ ; 4) види прийнятих і оброблюваних сигналів; 5) роздільна здатність по частоті; 6) динамічний діапазон; 7) фазові шуми і стабільність синтезатора; 8) маса і габаритні розміри; 9) надійність; 10) технологічність виготовлення та експлуатації; 11) вартість.

Широкосмуговий матричний приймач дозволяє приймати сигнали в широкому ДРЧ, забезпечуючи також можливість їх подальшої обробки. Миттєва смуга огляду відповідає смузі робочих частот приймача, тому перебудова не потрібно. За рахунок вузької смуги обробки ШПрП має високу чутливість і малий коефіцієнт шуму. Приймач дозволяє виконувати виявлення всіх видів сигналів, за винятком надширокосмугових, оскільки енергетичне виявлення, що використовується, для них є неефективним. На обробку сигнал передається в діапазоні ПЧ, без спотворень інформаційних параметрів.

У традиційній матричній схемі (рисунок 1.4) точність визначення частоти становить половину смуги пропускання каналу останньому ступені.

У запропонованій схемі точність аналогової частини визначається половиною смуги на виході суматора (або чвертю смуги ПЧ  $\Delta f_{\text{ПЧ}}/4$ ). Для підвищення точності до виходів ПЧ приймача може підключатися модуль цифрової обробки. Точність частоти при прийомі двох і більше суміщених за часом і різних за частотою сигналів завдяки використанню ПВЧ відповідає точності в односигнальному режимі при роздільній здатності не більше одного сигналу в смузі  $\Delta f_{\text{ПЧ}}/4$ . Максимальна кількість одночасно сигналів, що розрізняються, при зазначених умовах дорівнює  $2N$ .

При прийомі близьких по частоті сигналів, що потрапляють в один частотний канал ШПрП і, відповідно, не розрізняються по частоті, може бути поставлена загороджувальна шумова перешкод в смузі каналу.

ДД знизу обмежений чутливістю. Верхня межа ДД визначається максимально допустимою потужністю, при якій відбувається пробій напівпровідникових компонентів. Згідно зі схемою найбільш імовірний вихід з ладу ПРЧ і змішувачів. Верхня межа ДД визначається рівнями гармонік, що виникають в нелінійних пристроях в режимі великого сигналу. Для значного розширення ДД приймача з метою загального зниження рівня гармонік може бути використаний вхідний атенюатор.

Висока стабільність гетеродинних вузлів може бути забезпечена використанням системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) [12]. При цьому відхилення частоти залежить від застосовуваного опорного генератора (ОГ).

Підвищена надійність забезпечується зменшенням кількості надвисокочастотних вузлів, що мають низьку надійність (змішувачів, гетеродинів). Якщо порівнювати запропоновану структуру з традиційним матричним приймачем (рисунок. 1.4), кількість високочастотних каналів (фільтри, змішувачі, дільники, підсилювачі) зменшується в чотири рази. При цьому кількість пристроїв виявлення зберігається. Одночасно з цим структура приймача ускладнюється введенням ПВЧ, який представляє собою ще один більш простий, надійний і компактний приймач.

#### 4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ШИРОКОСМУГОВИХ ПРИЙМАЧІВ

Для кількісної оцінки ймовірнісних характеристик матричного цифрового приймача виконано чисельне моделювання в програмному середовищі MATLAB за наступними даними:

- 1) Імовірність хибної тривоги приймача  $P_{пт пр} = 10^{-4} \dots 10^{-8}$ .
- 2) Спектральна щільність потужності шуму  $N_0 = 10^{-20}$  Вт/ Гц.
- 3) Час спостереження  $T_n = 500$  мкс.
- 4) Смуга пропускання каналом сигналу за рівнем мінус 3 дБ  $\Delta f_i = 500$  МГц.
- 5) Шумова смуга каналу  $\Delta f_{ш} \approx 1,1 \Delta f_i$ .
- 6) Рівень потужності сигналу  $P_{c1} = -80$  дБм,  $P_{c2} = -55$  дБм.

При використанні критерію оптимальності Неймана–Пірсона для виявлення сигналу ( $P_{пт} = \text{const}$ ,  $P_{пвиявл} = \text{max}$ ) по заданій ймовірності хибної тривоги визначається значення порогу. Потім визначається поріг ймовірності правильного виявлення. Таким чином, для заданих значень  $P_{пт пр}$  були отримані характеристики виявлення. Визначення порогу виявлення здійснюється за формулами (2.7), (2.10), (2.12) та (2.20), які наведено у розділі 2. Відповідно до прийнятих параметрів отримано дані розрахунків, які наведено в таблицях 4.1, 4.2. Інтерпретація цих розрахунків показана на рисунках 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1 – Характеристики виявлення сигналу приймачем при різних значеннях  $P_{пт пр}$  ( $P_{c1} = -80$  дБм)

q	$P_{пт пр}$				
	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
1	0,05	0,011	0,0001	0,00005	$4,64 \cdot 10^{-6}$
2	0,122	0,0253	0,001	0,0006	0,0215

Продовження таблиці 4.1

q	$P_{пт пр}$				
	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
3	0,297	0,1	0,021	0,0053	0,0351
4	0,65	0,309	0,134	0,041	0,012
5	0,982	0,806	0,501	0,23	0,122
6	0,9997	0,995	0,952	0,724	0,501
7					0,982

За результатами отриманих розрахунків побудовані графіки, які представлені на рисунку 4.1.

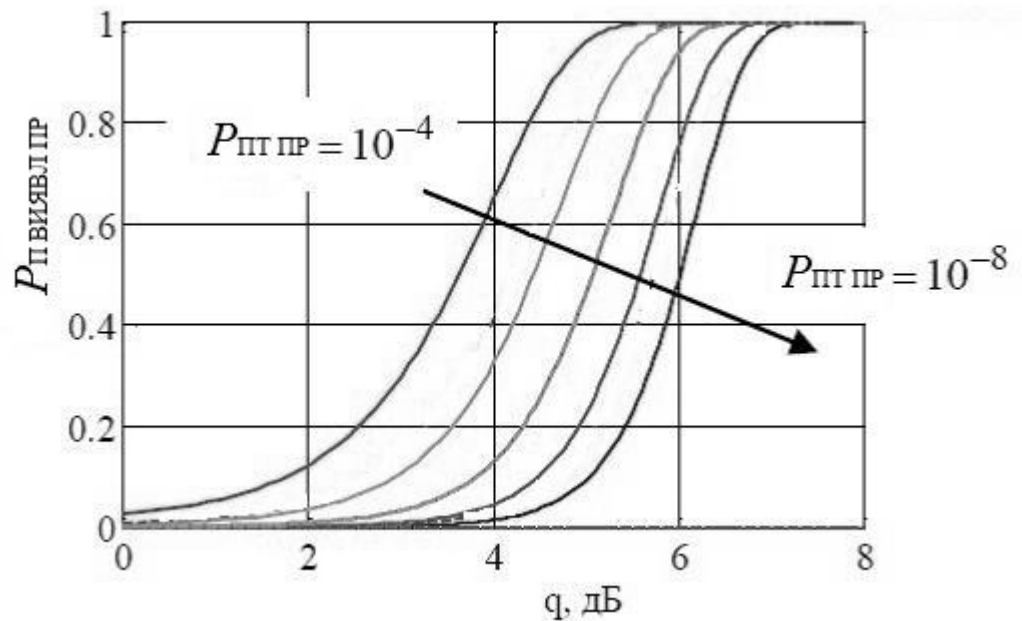


Рисунок 4.1 – Характеристики виявлення при сигналі  $P_{с1} = -80$  дБм

На рис. 4.1, 4.2 видно, що як і зазвичай, ймовірність правильного виявлення частоти сигналу на фоні шуму зростає зі збільшенням співвідношення сигнал-шум  $q$ , так само, як зменшується і ймовірність хибної

тривоги. Для матричних цифрових багатоканальних приймачів характерно, що майже стовідсоткова правильна інтерпретація частотної інформації, яка міститься в сигналі, спостерігається при співвідношеннях сигнал–шум порядку 5–7.

Таблиця 4.2 – Характеристики виявлення сигналу приймачем при різних значеннях  $P_{\text{пт пр}}$  і значенні  $P_{\text{с1}} = -55$  дБм

q	$P_{\text{пт пр}}$				
	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
1	0,002	0,004	0,0001	0,00002	$4,64 \cdot 10^{-6}$
2	0,05	0,022	0,01	0,0046	0,0215
3	0,187	0,1	0,081	0,0534	0,0351
4	0,36	0,218	0,215	0,1668	0,129
5	0,58	0,426	0,359	0,303	0,2555
6	0,616	0,55	0,615	0,428	0,3792

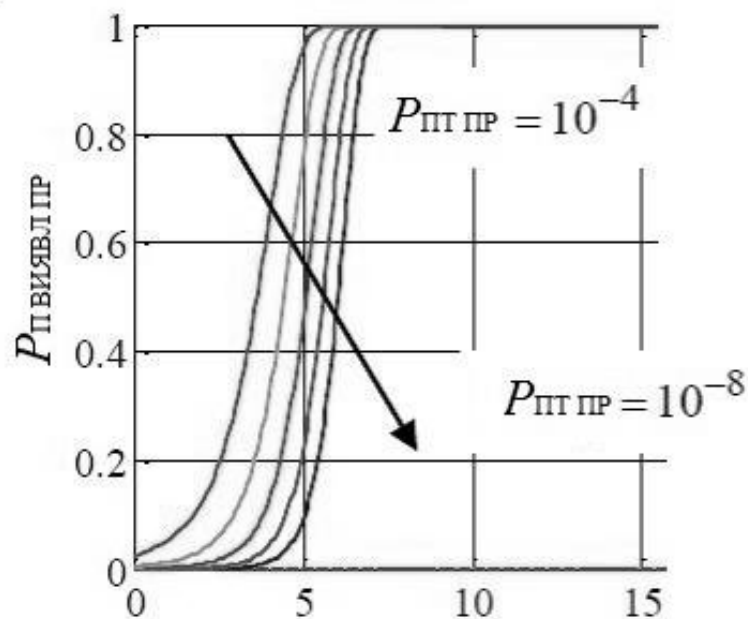


Рисунок 4.2 – Характеристики виявлення при сигналі  $P_{\text{с2}} = -55$  дБм

При співмірних сигналі та шумі для отримання таких результатів треба використовувати більш складні алгоритми правильного визначення частоти сигналу на фоні шумів.

Криві виявлення характеризують потенційні можливості по виявленню сигналу (завадостійкість оптимального детектора). Показники якості виявлення не залежать від виду використовуваного сигналу, а визначаються тільки відношенням сигнал / шум на виході узгодженого фільтра (тобто енергією сигналу і спектральною інтенсивністю шуму)

Оскільки задане значення ймовірності хибної тривоги приймача без урахування неоднозначності (тобто за відсутності сигналу) рівне  $P_{пт пр} = 10^{-8}$ , визначимо поріг прийняття рішення, виходячи з (2.3), (2.5), (2.7) за формулою

$$h = \frac{N_0 \cdot Q_l}{2} \Phi^{-1} \cdot (1 - P_{пт}) \quad (4.1)$$

Підставляючи значення, знаходимо значення порога виявлення  $h$  для заданої ймовірності хибної тривоги:

$$h = 1,66 \cdot 10^{-14} \text{ (Дж)}$$

Визначимо величину НВЧ-2 приймача на основі ширини смуги неоднозначності. Вважаємо, що середня крутизна схилів АЧХ каналів першого ступеня приймача становить 300 дБ/ГГц. Тоді при потужності сигналу  $P_{вх} = -55$  дБ (що становить приблизно 50 дБ щодо рівня чутливості) відповідно до виразів (2.23), (2.24) смуга неоднозначності дорівнює 6,2 ГГц. З розрахунків випливає, що облік неоднозначності визначення частоти призводить до істотного відхилення ймовірності хибної тривоги від заданої при розрахунках величини. При спробі зменшити неоднозначність шляхом підвищення порога виявлення знижуються ймовірність правильного виявлення сигналу і чутливість приймача. У тих випадках, коли правильне визначення частоти важливіше високої чутливості, можливе підвищення порога виявлення відповідно до рівня вхідного сигналу.

На основі отриманих в даній роботі виразів в середовищі MATLAB зроблено розрахунок, відповідно до прийнятих параметрів, залежності ймовірності помилкових тривог приймача від потужності сигналу  $P_{\text{пт пр}}'(P_c)$  при віддаленні несучої сигналу від межі каналу  $\Delta f_{l-1}$  (рисунок 4.3), за виразами (2.10), (2.12), (2.14), (2.16), (2.19), які занесені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Залежність ймовірності помилкових тривог приймача від потужності сигналу  $P_{\text{пт пр}}'(P_c)$  при віддаленні несучої сигналу від межі каналу

$P_c$ , дБ	$P_{\text{пт пр}}$				
	$f+0$ МГц	$f+25$ МГц	$f+50$ МГц	$f+100$ МГц	$f+250$ МГц
-100	0	0	0	0	0
-99	0,021	0	0	0	0
-98	0,0498	0	0	0	0
-97	0,263	0	0	0	0
-96	0,786	0	0	0	0
-95	0,99	0	0	0	0
-94	1	0	0	0	0
-86	1	0	0	0	0
-85	1	0,001	0	0	0
-84	1	0,0015	0	0	0
-83	1	0,01	0	0	0
-82	1	0,175	0	0	0
-81	1	0,587	0	0	0
-80	1	0,982	0	0	0
-79	1	1	0	0	0
-73	1	1	0	0	0

Продовження таблиці 4.3

$P_c$ , дБ	$P_{пт пр}$				
	$f+0$ МГц	$f+25$ МГц	$f+50$ МГц	$f+100$ МГц	$f+250$ МГц
-72	1	1	0,001	0	0
-71	1	1	0,024	0	0
-70	1	1	0,32	0	0
-69	1	1	0,721	0	0
-68	1	1	0,998	0	0
-67	1	1	1	0	0
-66	1	1	1	0,01	0
-65	1	1	1	0,02	0
-64	1	1	1	0,11	0
-63	1	1	1	0,38	0
-62	1	1	1	0,995	0
-61	1	1	1	1	0,005
-60	1	1	1	1	0,02
-59	1	1	1	1	0,04
-58	1	1	1	1	0,1
-57	1	1	1	1	0,38
-56	1	1	1	1	0,92
-55	1	1	1	1	1

За даними розрахунків побудовані характеристики залежності ймовірності помилкових тривог приймача від потужності сигналу  $P_{пт пр}$  ( $P_c$ ) при віддаленні несучої сигналу від межі каналу.

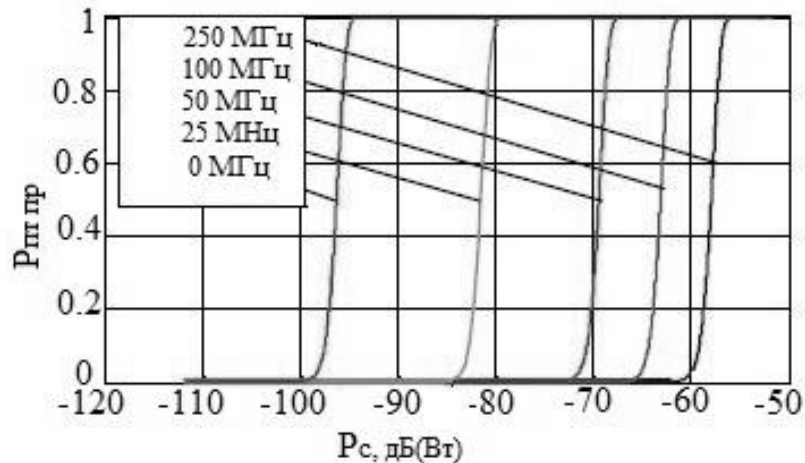


Рисунок 4.3 – Залежність ймовірності хибної тривоги матричного приймача від потужності сигналу при віддаленні несучої сигналу від межі каналу при потраплянні в один канал першого ступеня

Отримані в результаті чисельного моделювання характеристики виявлення дозволяють оцінити залежність ймовірності хибної тривоги від зміни потужності корисного сигналу на вході приймача і віддаленні по частоті від межі частотного каналу. Згідно рис. 4.3 наближено врахована НВЧ-2 для розглянутого приймача дає істотне збільшення ймовірності хибної тривоги. Згідно розрахунків та характеристик (рисунок 4.3) при віддаленні по частоті від межі каналу на 100 МГц для отримання ймовірності хибної тривоги  $P_{пт пр} = 1$  і, відповідно, помилкового спрацьовування детектора досить рівня вхідного сигналу  $P_c = -61,5$  дБ (Вт), а при відстроюванні на 50 МГц він зменшується до  $P_c = -68$  дБ (Вт).

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 5.1 Планування науково-дослідних робіт

Основна умова раціонального планування науково-дослідної роботи (НДР) – скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних і грошових ресурсів.

Для цього необхідно вирішити наступні питання з планування НДР: визначення трудомісткості і тривалості; складання календарного графіка виконання робіт; визначення витрат на проведення.

Метою економічного розрахунку в даному розділі є визначення величини витрат на проведення НДР та ефективності дослідної роботи.

Весь комплекс науково-дослідних робіт можна поділити на типові стадії. На кожній стадії вказуються виконавці і тривалість виконання робіт.

Трудомісткість НДР розраховується в людино-днях витрат робочого часу основних виконавців і залежить від складності розробки та ступеня її новизни, кваліфікації виконавців, наявності у них навичок дослідницької роботи, від використовуваних матеріалів, вимог надійності, технічних умов комплектуючих, схем і так далі. В роботі брали участь інженер-дослідник і консультант. Планування розробки і калькуляція кошторисної вартості роботи по проведенню дослідження приведено нижче.

Розрахуємо тривалість етапів:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R} \quad (5.1)$$

де  $T_{\text{ц}}$  – тривалість циклу, дні

$Q$  – трудомісткість робіт, люд.-дні

$R$  – кількість виконавців, чол.

В результаті отримуємо, що тривалість всього процесу НДР займає 56 днів. Результати розрахунків зводять в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Тривалість дослідницьких робіт та її результати

№ етапу	Назва роботи	Трудомісткість		Виконавці	Кільк. людей	Тривалість, днів
		Люд. - дні	% підсумку			
1	Аналіз предметної області	6	9,84	Інженер, консультант	2	3
2	Підбір необхідної	14	22,95	Інженер	1	14
3	Виконання теоретичних розробок по темі	25	40,98	Інженер	1	25
4	Проведення розрахунків	12	19,67	Інженер	1	12
5	Обробка отриманих результатів і висновки	4	6,56	Інженер, консультант	2	2
	Разом	61	100		2	56

У ряді випадків дуже важко встановити загальну трудомісткість проведеної НДР. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. У таких випадках використовують дві або три ймовірні оцінки часу, даються відповідальним виконавцям по кожному етапу робіт. За даними таблиці 5.1 складається підсумковий стрічковий графік. Даний графік приведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Зведений стрічковий графік планування НДР

Назва роботи	Календарний період, дні											
	02.09. – 06.09.19	09.10. – 13.09.19	16.0. – 20.10.19	23.09. – 27.09.19	30.09. – 04.10.19	07.10. – 11.10.19	14.10. – 18.10.19	21.10. – 25.10.19	28.10. – 01.11.19	04.11. – 08.11.19	11.11. – 15.11.19	18.11. – 22.11.19
Аналіз предметної області	■											
Підбір необхідної літератури аналогів	■	■	■	■								
Виконання теоретичних розробок по темі				■	■	■	■	■				
Проведення розрахунків									■	■	■	
Обробка отриманих результатів і висновки											■	■
	■											
	Консультант				■				Інженер			

## 5.2 Розрахунок планових витрат на виконання НДР

Розрахунок планової собівартості для проведення досліджень.

Розрахунок використаних матеріалів та ресурсів для проведення НДР дозволяє визначити планову кошторисну собівартість даної роботи. Собівартість НДР розраховувалася відповідно до наступних калькуляційних статей витрат:

- заробітна плата науково-технічного персоналу;
- єдиний соціальний внесок;

- вартість матеріалів, необхідних для НДР;
- вартість спеціального обладнання для проведення експериментів;
- службові відрядження;
- вартість робіт і послуг інших організацій;
- інші непрямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

У вартість матеріалів включаються витрати на матеріали для проведення дослідження (наприклад папір), а також для виготовлення дослідних зразків.

Розрахуємо вартість основних матеріалів  $M_0$  за формулою:

$$M_0 = (1 + K_{ТЗ}) \cdot \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i - C_{i0} \cdot N_{i0}), \quad (5.2)$$

де  $K_{ТЗ}$  – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати (Транспортно-заготівельні витрати складають 10 % від вартості використаних матеріалів);

$C_i$  – ціна  $i$ -го найменування матеріалу, грн;

$N_i$  – необхідна потреба в матеріалі  $i$ -го найменування;

$C_{i0}$  – вартість зворотних відходів  $i$ -го найменування матеріалу, грн;

$N_{i0}$  – кількість зворотних відходів  $i$ -го найменування матеріалу;

$n$  – кількість найменувань матеріалів.

Вихідні дані і розрахунки вартості матеріалів занесемо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на матеріали

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Папір формату А4	500 аркушів	1	130,00	130,00
Папір формату А1	шт.	5	6,00	30,00
Картридж для принтера	шт.	1	300,00	300,00
Ручка	шт.	3	2,00	6,00
Разом				566,00
Транспортно-			56,60	522,60

заготівельні витрати				
----------------------	--	--	--	--

Для розрахунку витрат на електроенергію використовуємо формулу:

$$E = P_y \Phi_{\text{эф}} K_v C_e KКД, \quad (5.3)$$

де  $P_y$  – установлена потужність енергетичних струмоприймачів обладнання, кВт;

$\Phi_{\text{эф}}$  – ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, год;

$K_v$  – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу ( $K_v = 0,8$ );

$C_e$  – ціна 1 кВт·год електроенергії. Згідно з Постановою НКРЕКП від 11.12.2018 № 1833, для ПАТ «Запоріжжяобленерго» з 01.01.2019 встановлені наступні тарифи на послуги з розподілу електроенергії для юридичних осіб: другий клас напруги (напругою менше 27,5 кВ ) – 229,29 коп/кВтгод (без ПДВ)[27];

$$ККД = 0,8.$$

Таблиця 5.4 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Найменування	Вид енергоресурсів	Встановлена потужність, кВт	Тривалість, годин	Тариф за кВт час, грн	Вартість, грн
Комп'ютер	Електроенергія	0,2	400	2,2929	183,43
Принтер	Електроенергія	1,5	10		34,39
Разом					217,82

До спеціального обладнання відноситься таке обладнання, яке використовується тільки для проведення окремої дослідницької роботи. Результати розрахунку занесені в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок вартості спеціального обладнання

Устаткування	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Ноутбук	Asus F5	1	11000,00	11000,00
Принтер	Xerox MP350	1	3200,00	3200,00
Разом				14200,00

Розрахуємо суму амортизаційних відрахувань. Для розрахунку амортизації використаємо строки корисного використання (експлуатації) об'єкта основних засобів (комп'ютера і принтера), встановлені правилами бухгалтерського обліку. Мінімумально допустимі строки амортизації основних засобів та інших необоротних активів для електронно-обчислювальних машин, інших машин для автоматичного оброблення інформації – становить 2 роки (встановлено пп.138.3.3 п.138.3 ст.138 Податкового кодексу). Річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Отже, річну суму амортизації ( $A_p$ ) можна визначити за такою формулою:

$$A_p = V_a : C_{\text{кв}}, \quad (5.4)$$

де  $V_a = V_{\text{п}} - V_{\text{л}}$  – вартість комп'ютера і принтера, яка амортизується;

$V_{\text{п}}$  – первісна вартість;

$V_{\text{л}}$  – ліквідаційна вартість;

$C_{\text{кв}}$  – строк корисного використання (2 роки).

Місячна сума амортизації ( $A_m$ ) визначається за такою формулою:

$$A_m = A_p : 12, \quad (5.5)$$

де  $A_p$  – річна сума амортизації;

12 – кількість календарних місяців у одному році корисного використання.

Результати розрахунку суми амортизаційних відрахувань за період роботи занесені у таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Найменування	Балансова вартість, грн	Ліквідаційна вартість, грн	Річна сума амортизації, грн	Місячна сума амортизації, грн	Сума, грн
Комп'ютер	11000	0	5500	458,33	916,67
Принтер	3200	0	1600	133,33	266,66
Всього					1183,33

Розрахуємо заробітну плату всіх категорій працівників, безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів НДР. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу. Результати розрахунку занесені в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Заробітна плата

Посада	Місячний оклад, грн	Кількість виконавців	Зайнятість НДР, міс	Зарплата, грн
Інженер	8000,00	1	2,5	20000,00
Консультант	9000,00	1	0,25	2250,00
Всього	–	2	-	22250,00

Сума з основної заробітної плати становить 22250,00 грн. Додаткова плата приймається 10% від основної заробітної плати, становить 2225,00 грн. Підсумкова сума заробітної плати становить 22225,00 грн.

До статті "єдиний соціальний внесок" належать виплати, які здійснюються у загальнодержавні фонди: 33,2 % – у Пенсійний фонд; 1,4 % – у Фонд соціального страхування на випадок тимчасової втрати працездатності; 1,6 % – у Фонд загальнообов'язкового державного соціального страхування на випадок безробіття; 1,0,% – у Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань. Відрахування на єдиний соціальний внесок на загальнообов'язкове державне соціальне страхування (ЄСВ) – 37,2%.

Накладні витрати проектних організацій включають три групи видатків: витрати на управління, загальногосподарські витрати, невиробничі витрати. Вони розраховуються за встановленими відсотками до витрат на оплату праці. Середньостатистичний відсоток накладних витрат в організації складає 150%.

Складемо кошторис усіх витрат і занесемо розрахунки в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат на виконання НДР

Вид витрат	Сума витрат, грн	Відсоток витрат, %
Основні матеріали	522,60	0,76
Амортизаційні відрахування	1183,33	1,72
Енергоносії	217,82	0,32
Основна заробітна плата	22250,00	32,32
Додаткова заробітна плата	2225,00	3,23
Відрахування на ЄСВ	9104,70	13,22
Накладні витрати	33337,50	48,43
Всього	68840,95	100
ПДВ (20%)	13768,19	20
Всього	82609,14	120

В результаті отримали, що сума всіх витрат, необхідних для проведення НДР, становить 82609,14 грн.

### 5.3 Розрахунок економічної ефективності НДР

Економічна оцінка фундаментальних і пошукових НДР у вартісному вимірі, як правило, неможлива, бо ймовірність доведення результатів таких досліджень до конкретного практичного застосування невелика. Для таких досліджень рекомендується визначати науковий та науково-технічний ефект, який враховує результати наукових досліджень. Науковий та науково-технічний ефект рекомендується оцінювати коефіцієнтом науково-технічної ефективності  $E_{НТ}$  за допомогою формули [16]

$$E_{НТ} = \frac{\sum V_i \cdot B_{ij}}{\sum V_i \cdot B_{ij}^{max}}, \quad (5.6)$$

де  $V_i$  – нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності [16];

$B_{ij}$  – середнє значення балу, який виставляється експертами  $i$ -му фактору;

$B_{ij}^{max}$  – максимально можливе значення балу [16];

$i$  – порядковий номер фактору;

$j$  – відповідна характеристика  $i$ -го фактору.

Кількісна оцінка факторів науково-технічної ефективності НДР здійснюються експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне. Отримані результати зводять у таблицю 5.9.

Таблиця 5.9 – Результати розрахунків науково-технічної ефективності НДР

Фактори науково-технічної ефективності	Характеристика фактору	Розрахунок $B_{ij}$		$B_{ij}^{max}$
		$B_i$	$B_j$	
1 Новизна одержаних або передбачуваних результатів	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	0,25	7	10
2 Глибина наукового опрацювання	Проведена недостатня кількість експериментів, виконані прості теоретичні розрахунки без експериментальної перевірки	0,16	6	10
3 Ступінь ймовірності успіху	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	0,09	6	10
4 Масштаб використання результатів	Результати будуть використані при проведенні наступних НДР, при розробці нових технічних рішень	0,25	5	10
5 Ступінь реалізації результатів	Строк впровадження до 4 років	0,15	7	10
6 Завершення одержаних результатів	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	0,1	6	10

$$E_{HT} = (0,25 \cdot 7 + 0,16 \cdot 6 + 0,09 \cdot 6 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 7 + 0,1 \cdot 6) / 10 = 0,615$$

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності при розрахованому значенні  $E_{HT}$  визначаємо по таблиці додатка 4[16]. Загальна оцінка науково-технічної ефективності при  $E_{HT} = 0,61 - 0,75$  – добре.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Охорона праці має важливі соціальне та економічне значення. Соціальне значення охорони праці полягає у сприянні зростанню ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного удосконалення і поліпшення умов праці, підвищення її безпеки, зниження виробничого травматизму й захворюваності.

### **6.1 Аналіз потенційних небезпек**

У процесі виробничої діяльності на людину можуть діяти небезпечні й шкідливі виробничі фактори. Тема дипломного проекту "Дослідження неоднозначності визначення частоти сигналу в широкосмуговому радіолокаційному приймачі" передбачає проведення робіт в приміщенні конструкторського бюро, обладнаному персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами. У зв'язку з цим виконані заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці та пожежної безпеки для приміщення з персональними комп'ютерами.

Робоче місце радіоінженера для виконання даного проекту є набором різної комп'ютерної техніки з візуальними дисплейними терміналами і периферією. Потенційна небезпека в ході робіт полягає при використанні джерел живлення, підключенні і відключенні приладів за допомогою вилок, розеток, перехідних пристроїв, подовжувачів.

Основні небезпечні виробничі фактори фізичного характеру з якими можуть стикатися працівники:

– ураження електричним струмом через підвищений значення напруги в електричному ланцюзі або пробую ізоляції, замикання якого може відбутися через тіло людини і привести до травми або смерті;

- вплив електричного поля через підвищеної напруженості електричних полів, внаслідок чого порушуються фізіологічні функції: ритм серцевих скорочень, рівень кров'яного тиску, активність мозку, хід обмінних процесів і імунна активність;
- проходження електричного розряду через підвищення рівня статичної електрики і провокування рефлекторного руху людини, що в ряді випадків може привести до травми.

Небезпека психофізіологічного характеру з якою можуть стикатися працівники при роботі з комп'ютерами:

- розумове перенапруження;
- монотонність праці;
- перенапруження аналізаторів і емоційні перевантаження через недотримання режиму роботи за персональними комп'ютерами, що призводить до підвищення стомлюваності, зниження уваги і, як наслідок, підвищується ймовірність травмування працівника на робочому місці;

Санітарно-гігієнічні небезпечні виробничі фактори, пов'язані з роботою:

- погіршення самопочуття людини через підвищену або знижену температуру повітря робочої зони, внаслідок порушення обмінних процесів в організмі і виникнення різних гострих і хронічних простудних захворювань відповідно;
- потрапляння в легені і на слизові оболонки пилу, через підвищеної запиленості повітря робочої зони і провокування алергічних захворювань органів зору та дихання;
- зорове стомлення і біль в очах, через недостатню освітленість робочої зони, які призводять до зниження уваги і можливості травмування.

Ризиком для здоров'я персоналу може бути:

- недотримання правил протипожежної безпеки, що може призвести до травм, смерті і матеріальних втрат;

– отримання травм і матеріальних втрат через неправильне поводження персоналу при надзвичайних ситуаціях.

## 6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Техніка безпеки – система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають вплив небезпечних виробничих факторів. При роботі з персональними комп'ютерами і периферійними пристроями, головним небезпечним фактором є електрика. Ураження електричним струмом може призвести до смерті або втрати працездатності.

Основні причини нещасних випадків від дії електричного струму:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- поява напруги дотику на конструктивних металевих частинах електрообладнання в результаті пошкодження ізоляції;
- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки.

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, так як в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок (струмоведучі провідники, устаткування, яке під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції) в тому, що вони не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку.

Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" та ПУЕ "Правил улаштування електроустановок" приміщення, в якому знаходяться пристрої, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним

струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більше 35 ° С, а також відсутні хімічно агресивні середовища.

Запобігти небезпеці під час експлуатації електрообладнання можна за допомогою комплексу заходів, які поділяють на три класи:

1 Технічні захисні заходи, які унеможливають дотик людини до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.

2 Технічні захисні заходи, які знижують ступінь ураження людини в разі дотику до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.

3 Організаційні захисні заходи.

Технічними захисними заходами, що знижують ступінь ураження людини в разі дотику до струмопровідних частин, є: використання малих напруг, захисне занулення, захисне заземлення, захисне відключення, застосування електрозахисних засобів та запобіжних пристроїв.

Сучасні персональні комп'ютери включаються в розетку за допомогою триполюсною вилки, один з полюсів якої служить для заземлення. З ним електрично з'єднані металеві неструмоведучі частини обладнання, які можуть опинитися під напругою. У конструкторському бюро використовуються тільки триполюсні розетки, у яких відповідний полюс з'єднаний з шиною заземлення. Відповідно до розділу 1.7 ПУЕ "Правила улаштування електроустановок", опір заземлювального пристрою, до якого приєднано нейтраль джерела живлення у будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом для напруги 220 В джерела однофазного струму. Оскільки комп'ютери та інші пристрої мають напругу живлення 220 В, то опір заземлення, яке використовується в приміщенні не більше 4 Ом. Електрична мережа вмикається і вимикається за допомогою рубильника.

Для забезпечення потрібних характеристик повітряного середовища передбачена вентиляція і очищення повітря. Шнури живлення персональних комп'ютерів виконані з проводів в подвійній ізоляції. Для відключення електричної мережі, при виникненні короткого замикання, приміщення обладнане пристроями захисного відключення.

Розрядні струми статичної електрики частіше за все виникають при дотику до будь-якого з елементів комп'ютера, електроустановок. Для зниження величини виникаючих зарядів статичної електрики в приміщенні використовується покриття технологічних підлог з антистатичного лінолеуму. До загальних заходів захисту від статичної електрики в приміщенні також відноситься загальне і місцеве періодичне зволоження повітря.

Відповідно до ДСТУ 7237: 2011. "Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту" для забезпечення безпеки робіт були виконані організаційні заходи:

- призначення осіб, відповідальних за організацію і проведення робіт;
- проведення навчання з правил електробезпеки;
- інструктаж з техніки безпеки під час виконання робіт.

Площа, на якій розташовується одне робоче місце з візуальними дисплейними терміналами, відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин" повинна становити не менше 6,0 м<sup>2</sup>. Оскільки площа приміщення 30 м<sup>2</sup>, то в даному приміщенні можна розмістити п'ять комп'ютеризованих робочих місць. Перевіримо, чи відповідає це число нормативу щодо мінімального об'єму приміщення на одне робоче місце з комп'ютером, відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 ( $V_{p.m.min} = 20 \text{ м}^3$ ). Висота приміщення 3 м. Об'єм приміщення становить 90 м<sup>3</sup>.

$$K = 90/20 = 4,5 \text{ (р. м.)}$$

За нормативом щодо об'єму приміщення на одне робоче місце з комп'ютером в даному приміщенні розміщено чотири комп'ютеризованих робочих місць. Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з комп'ютером розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;

- відстань між бічними поверхнями комп'ютера має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного комп'ютера та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Робоче місце радіоінженера і взаємне розташування всіх його елементів відповідає антропометричним, фізичним і психологічним вимогам.

### 6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Регламентування умов праці у всіх галузях промисловості здійснюється санітарними нормами. Цими нормами передбачені конкретні вимоги організації робочих місць, експлуатації машин і механізмів.

Людина в процесі роботи на персональному комп'ютері може піддаватися впливу шкідливих виробничих факторів. Довгий час, проведений за роботою з персональним комп'ютером, може викликати розумове перенапруження, а також значне навантаження на зоровий апарат працівника. Дуже важливо правильно організувати робоче місце, щоб знизити до мінімуму вплив шкідливих факторів.

Заходи з оздоровлення повітряного середовища проведено відповідно до значень оптимальних метеорологічних параметрів, встановлених ГОСТ 12.1.005-88 (1991) "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" і санітарними нормами СН512-72 "Інструкція з проектування будинків і приміщень для електронно-обчислювальних машин" (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Оптимальні значення метеорологічних параметрів

Назва параметра	Оптимальні значення
Температура	20 – 22 ° С в холодний період, 20 – 24 ° С в теплий період
Відносна вологість	40 – 60%
Швидкість руху повітря	не більше 0,2 м / с в холодний період, не більше 0,3 м / с в теплий період

Для забезпечення цих значень метеорологічних параметрів і чистоти повітря відповідно до ДБН Д.2.6-3-2000 Збірник №3 "Системи вентиляції і кондиціонування повітря" в приміщенні передбачається вентиляція. Передбачається очистка повітря, використововуваного для вентиляції. Очищення необхідно для запобігання негативного впливу пилу на здоров'я працюючих, і тому, що пил, може потрапляти всередину корпусу персонального комп'ютера через вентиляційні отвори і осідати на мікросхемах комп'ютера. Це може привести до виходу з ладу окремих компонентів і зменшення ремонтпридатності. Вентиляція, охолодження і очищення повітря здійснюються побутовими кондиціонерами. З метою забезпечення потрібної температури в холодну пору року передбачено опалення приміщення і нагрівання повітря.

Освітлення – один із суттєвих чинників виробничого середовища. Рациональне освітлення робочих місць і приміщень попереджує зорову і загальну втому, сприяє високопродуктивній праці. Недостатня освітленість робочих місць може бути непрямою причиною нещасних випадків на виробництві [34]. Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

Освітлення повинно бути рівномірним і достатнім для швидкого й легкого розрізнення об'єктів. Джерело світла не повинно засліплювати людину і створювати відблисків на об'єкті, що розглядається.

Згідно ДБН.В. 2.5-28-2018 "Природне та штучне освітлення" в приміщенні застосували систему комбінованого освітлення. Комбіноване освітлення – освітлення, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним. Дотримується вимога до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість складає 300 лк [9].

Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 30 м<sup>2</sup>, ширина якої 5 м, довжина – 6 м, висота – 3 м. Скористаємося методом світлового потоку. Для визначення кількості світильників визначимо світловий потік, падаючий на поверхню за формулою:

$$F = (E \cdot K \cdot S \cdot Z) / n, \quad (6.1)$$

де  $F$  – розрахований світловий потік, лм;

$E$  – нормована мінімальна освітленість, лк (визначається по таблиці). Роботу радіотехніка, відповідно до цієї таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде  $E = 300$  лк;

$S$  – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку  $S = 30$  м<sup>2</sup>);

$Z$  – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1 ... 1,2, вибираємо  $Z = 1,1$ );

$K$  – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників у процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру проведених в ньому робіт і в нашому випадку  $K = 1,5$ );

$n$  – коефіцієнт використання, (виражається відношенням світлового потоку, падаючого на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в частках одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, що характеризуються

коефіцієнтами відбивання стін ( $P_C$ ) і стелі ( $P_{\Pi}$ ), значення коефіцієнтів відбивання стін повинен бути не менше 40 %, стелі – не менше 50 % [9]:

$P_C = 40\%$ ,  $P_{\Pi} = 60\%$ . Значення  $n$  визначимо по таблиці коефіцієнтів використання різних світильників.

Для цього обчислимо індекс приміщення по формулі:

$$I = S / (h \cdot (A + B)), \quad (6.2)$$

де  $S$  – площа приміщення,  $S = 30 \text{ м}^2$ ;

$h$  – розрахована висота покрівлі над умовною робочою поверхнею,  $h = 2,2 \text{ м}$ ;

$A$  – ширина приміщення,  $A = 5 \text{ м}$ ;

$B$  – довжина приміщення,  $B = 6 \text{ м}$ .

Підставивши значення отримаємо:

$$I = 30 / (2,2 \cdot (5 + 6)) = 1,23$$

Знаючи індекс приміщення  $I$ , знаходимо  $n = 0,22$

Підставами все значення в формулу для визначення світлового потоку  $F$ :

$$F = (300 \cdot 1,5 \cdot 30 \cdot 1,1) / 0,22 = 67500 \text{ (лм)}$$

Для освітлення вибираємо люмінесцентні лампи типу ЛБ40-1, світловий потік яких  $F = 4300 \text{ лк}$ .

Розрахуємо необхідну кількість ламп по формулі:

$$N = F / F_{\text{л}}$$

$N$  – необхідна кількість ламп;

$F$  – світловий потік,  $F = 67500 \text{ лм}$ ;

$F_{\text{л}}$  – світловий потік лампи,  $F_{\text{л}} = 4300 \text{ лм}$ .

$$N = 67500 / 4300 = 15,69$$

Отже, для приміщення потрібно 16 ламп. Обираємо світильники кожен з яких комплектується двома лампами, які розташовуватися над робочими поверхнями.

Робота з персональними комп'ютерами пов'язана з перевантаженнями, які пов'язані з розумовою перенапруженням, перенапруженням аналізаторів (особливо зорових), монотонністю праці, емоційними перевантаженнями.

Для зменшення впливів цих факторів передбачаються п'ятнадцяти хвилинні перерви через кожну годину роботи, відповідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин".

#### 6.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки спрямовані на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, створення умов для успішного гасіння пожежі.

Даний тип приміщення за пожежною небезпекою залежно від характеристик речовин, що знаходяться в них відноситься до категорії "Д" відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 "Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою". Відповідно до ДБН В.1.1.7-2016 ступінь вогнестійкості споруди, в якій знаходиться конструкторське бюро, не нижче III.

Джерелом пожежонебезпеки є електронно-обчислювальні машини і периферійне устаткування. Вони характеризуються високою щільністю розміщення електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, комутаційні кабелі. При протіканні струму можливий їх перегрів, плавлення ізоляції і, як наслідок, коротке замикання. При короткому замиканні величина струму в провідниках і струмопровідних частинах електричних апаратів та машин досягає дуже великих значень, внаслідок чого можливий не тільки перегрів, але і займання ізоляції, розплавлення струмопровідних частин, жил кабелів та проводів. Причиною пожежі може також стати великий перехідний опір, який виникає в місцях з'єднання проводів та в електричних контактах електрообладнання.

Для ліквідації невеликих осередків пожеж, а також для гасіння пожеж у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння – вогнегасники. Згідно з рекомендаціями по

оснащенню приміщень переносними вогнегасниками для приміщень споруд не нижче III і пожеж, пов'язаних з горінням електроустановок встановлено два вуглекислотних вогнегасники ВВК-1.4 (3.5) місткістю 5 л. У приміщенні встановили автоматичний сповіщувач автоматичної пожежної сигналізації. З огляду на високу вартість обладнання, наявність розгалужених систем кондиціонування і вентиляції повітря, великого числа прихованих комунікацій, а також специфіку загоряння апаратури, обраний димовий сповіщувач ІП-212-41М згідно НАПБ А.01.003-2009 "Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах" та ДБН В.2.5-13-98 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд". Оскільки площа приміщення складає 30 кв. м, встановлено 1 датчик - сповіщувач.

Захист людей у разі пожежі є найважливішим завданням всієї системи протипожежного захисту. Для забезпечення організованого руху під час евакуації та попередження паніки технічні рішення повинні бути доповнені організаційними заходами, до яких, передусім, відносяться інструктаж та навчання персоналу.

### 6.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Практика показує, що завчасна підготовка людей і матеріально-технічних засобів до дій при виникненні надзвичайних ситуацій в значній мірі знижує ймовірність загибелі людей і втрати матеріальних засобів.

Важливе значення у вирішенні завдань зниження втрат і загрози життю і здоров'ю людей при виникненні надзвичайних ситуацій набуває евакуація, укриття в захисних спорудах, наприклад у бомбосховищах, використання засобів індивідуального захисту і медичної профілактики. Велике значення для забезпечення безпеки життєдіяльності населення у надзвичайних ситуаціях має завчасне здійснення заходів, адекватних виниклої ситуації. Для цього необхідно навчити робітників діям у

надзвичайних ситуаціях, організувати своєчасне оповіщення про загрозу виникнення надзвичайних ситуацій. Для зменшення негативних наслідків аварії на підприємстві важливим є порядок оповіщення. При аварії, масштаби якої не виходять за межі санітарно-захисної зони об'єкту сповіщаються чергові зміни аварійних служб, невоєнізована охорона, цехи, відділи, керівництво підприємства. Оповіщення про надзвичайну ситуацію (аварія, пожежа і тощо) проводиться черговим диспетчером по об'єктовій системі оповіщення з використанням гучномовців та електросирен. Черговий диспетчер повинен доповісти черговому по відділу з надзвичайних ситуацій підприємства. Отримавши інформацію про евакуацію працівники закривають вікна, відключають електрику, беруть особисті речі і персонал виводиться за межі об'єкта.

Усі працівники підприємства, незалежно від займаних посад, повинні знати та суворо виконувати вимоги Типової інструкції щодо дій персоналу підприємства при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій.

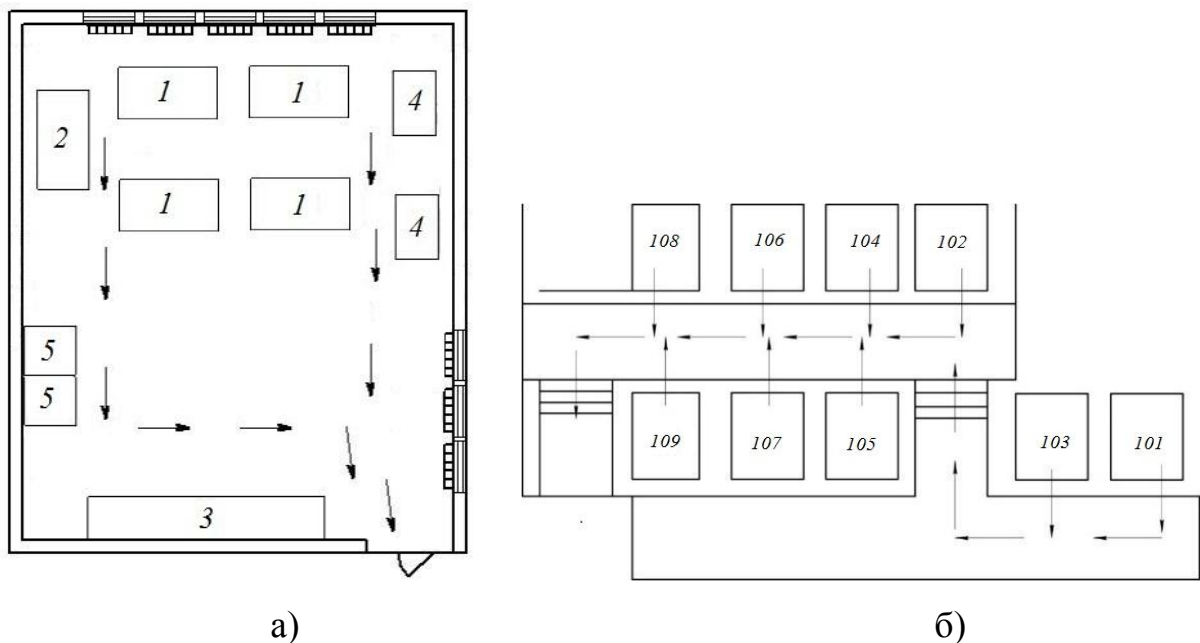


Рисунок 6.1 – План евакуації з приміщення при виникненні небезпечної надзвичайної ситуації: а) відділ (1 – комп'ютеризовані робочі місця; 2 – ксерокс; 3 – лабораторне місце; 4 – принтери; 4 – шафа);

## б) поверх корпусу.

Інструкція розробляється та підписується посадовою особою підприємства з питань цивільного захисту, затверджується керівником підприємства та доводиться до всіх працівників під підпис. Крім Інструкції, на підприємстві розробляється План евакуації при пожежі або загрозі вибуху. План евакуації являє собою план приміщення, на який нанесено пронумеровані евакуаційні шляхи і виходи з маршрутами руху (Рисунок 6.1). План евакуації вивішується на видному місці.

В даному розділі були виявлені і проаналізовані небезпечні виробничі фактори, які впливають на робітника при використанні електронно-обчислювальних машин. Використовується захисне заземлення опором 4 Ом. У приміщенні забезпечується потрібна температура 20 – 22 ° С в холодний період, 20 – 24 ° С в теплий період, що відповідає ДБН 3.3.6-042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень". Відповідно до ДБН.В. 2.5-28-2006 "Природне та штучне освітлення" в приміщенні застосували систему комбінованого освітлення. Загальна освітленість складає 300 лк. У приміщенні встановлено автоматичний сповіщувач автоматичної пожежної сигналізації з димовим сповіщувачем ІП-212-41М згідно НАПБ А.01.003-2009 "Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей з будинків та споруд" та ДБН В.2.5-13-98 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд".

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі проведено дослідження неоднозначності визначення частоти сигналу в широкосмуговому радіолокаційному приймачі. В результаті проектування виконані наступні задачі:

- 1) Проведено аналізу існуючих прийомних пристроїв ШПС.
- 2) Проведено порівняльний аналіз базових схем, на яких ґрунтується побудова сучасних приймальних пристроїв РЛС.
- 3) Проведено класифікацію неоднозначності визначення частоти з причин її виникнення; теоретичну цінність представляють: класифікація НВЧ в широкосмуговому радіолокаційному приймачі матричного типу з причин виникнення; оцінка НВЧ, що виникає при попаданні сигналу в суміжну область сусідніх каналів.
- 4) Отримано результати теоретичного аналізу способу оцінки величини НВЧ-2 на основі значення ймовірності хибної тривоги приймача, уточненої з урахуванням виявлення сигналу за межами частотних каналів приймача, виконано порівняльний аналіз показників ефективності двох способів зниження НВЧ-2: при використанні ПВЧ і при поділі каналів на дві групи; показано, що для заданої ширини смуги РЧ існує оптимальне співвідношення між шириною і граничними частотами смуги ПЧ.
- 5) Виходячи з аналізу існуючих приймальних пристроїв ШПС, вибрано структурну схему широкосмугового радіолокаційного приймача матричного типу з урахуванням використання безлічі каналів обробки, засобів зниження НВЧ.
- 6) Розраховано вартість витрат на проведення дослідно-конструкторської розробки.
- 7) Розглянуто питання охорони праці.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

- 1 Багдасарян С.Т. Радіолокаційна системотехніка: навч. посібник / С.Т. Багдасарян, Ю.В. Кулявець, С.І. Шипіцин. – Х: ХВУ, 2002. – 243 с.
- 2 Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 1988. – 448 с.
- 3 Буга Н.Н. Радиоприемные устройства: учебник для вузов / Н.Н. Буга, А.И. Фалько, Н.И. Чистяков; под ред. Н. И. Чистякова. – М.: Радио и связь, 1986. – 320 с.
- 4 Вакин С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С.А. Вакин, Л. Н. Шустов. – М.: Советское радио, 1968. – 448 с.
- 5 Вакин С.А. Основы радиоэлектронной борьбы. Учебное пособие. Часть 1 / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1998. – 434 с.
- 6 Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
- 7 Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учеб. для вузов / И.С. Гоноровский. – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.
- 8 Давыдов Ю.Т. Радиоприемные устройства: Учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов / Ю.Т. Давыдов, Ю.С. Данич, А.П. Жуковский и др.; Под ред. А.П. Жуковского. – М.: Высш. шк., 1989. – 342 с.
- 9 ДБНУ ДБНВ.2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення"; Чинні з 28.02.2019 р. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 137 с.
- 10 Добыкин В.Д. Радиоэлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных волн / В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев, Л.Н. Шустов; под общ. ред. А.И. Куприянова. – М.: Вузовская книга, 2009. – 360 с.
- 11 ЗУ "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <http://www.zakon3.rada.gov.ua>.

12 Клич С.М Проектирование радиоприемных устройств: учеб. пособие для вузов / С.М. Клич, А.С. Кривенко, Г.Н. Носикова [и др.]; под ред. А.П. Сиверса. – М.: Сов. радио, 1976. – 487 с.

13 Крейнгель Н. С. Шумовые параметры радиоприемных устройств / Н.С. Крейнгель. – Л.: Энергия, 1969. – 168 с.

14 Маттей Д.Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи, Т.2 / Д.Л. Маттей, Л. Янг, Е.М.Т. Джонс. – М.: Связь, 1972. – 495 с.

15 Мельников Ю.П. Радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности местоопределения источников излучения / Ю.П. Мельников, С.В. Попов. – М.: Радиотехника, 2008. – 432 с.

16 Методичні вказівки до виконання економічного обґрунтування дипломних проектів студентами технічних спеціальностей / уклад. І.Є. Хаустова – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – 22 с.

17 Основы побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору : конспект лекцій / К.С. Васюта, О.В. Тесленко, В.М. Купрій, О.А. Малишев. – Х. : ХУПС, 2013. – 212 с.

18 Пат. 2185638 Российская Федерация, МПК7 G 01 S 7/292. Пороговый бинарный обнаружитель / Скрипкин А.А., Олейникова Л.В.; патентообладатель Государственное конструкторское бюро аппаратно-программных систем "Связь" Всероссийского НИИ "Градиент". – № 2000117893/09; заявл. 05.07.2000; опубл. 20.07.2002. – 11 с.

19 Пат. 2390946 РФ, МПК H04K 3/00. Широкополосная станция радиотехнической разведки с высокой чувствительностью / Вернигора В.Н., Лопатько Н.П., Перунов Ю.М., Ступин В.Е., Стуров А.Г.; патентообладатель ФГУП "ВНИИ "Градиент". – № 2008115818/09; заявл. 21.04.2008; опубл. 27.05.2010. – 12 с.

20 Пат. 2422845 РФ, МПК G 01 S 7/285. Матричный приемник / Анохин В.Д., Анохин Е.В., Кильдюшевская В.Г., Симохаммед Фаузи; патентообладатель ФГОУ ВПО "ВАИУ" (г. Воронеж) МО РФ. – № 2009131254/09; заявл. 17.08.2009; опубл. 27.02.2011, Бюл. № 18. – 11 с.

21 Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем : уч. пособие / А.И. Перов. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.

22 Перунов Ю.М. Зарубежные радиоэлектронные средства. В 4-х книгах. Кн. 2: Системы радиоэлектронной борьбы / Ю.М. Перунов, В.В. Мацукевич, А.А. Васильев; под ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2010. – 352 с.

23 Перунов Ю.М. Зарубежные радиоэлектронные средства. В 4-х книгах. Кн. 1: Радиолокационные системы / Ю.М. Перунов, В.В. Мацукевич, А.А. Васильев; под ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2010. – 336 с.

24 Перунов Ю.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Ю.М. Перунов, К.И. Фомичев, Л.М. Юдин; под ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2008. – 416 с.

25 Подстригаев А.С. Снижение неоднозначности определения частоты матричным приемником станции РТР в условиях сложной сигнальной обстановки / А.С. Подстригаев // 19-й Международный молодежный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". Сб. материалов форума. Т.3. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – С. 40 – 41.

26 Проектирование радиолокационных систем [Электронный ресурс]: монография / Д.М. Пиза, Д.С. Семенов, Т.И. Бугрова; под. общ. ред. Д.М. Пизы. – Электрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM).

27 Постанова НКРЕКП № 1833 від 11.12.2018 "Про встановлення тарифів на послуги з розподілу електричної енергії ПАТ "Запоріжжяобленерго"// Урядовий кур'єр. – 18.12.2018. – №239.

28 Радиоэлектронні системи : навч. посіб. для вузів / П.Ю. Баранов, В.П. Лавриненко, О.М. Мелешкевич, В.С. Дмитренко. – Одеса, 2012. – 232 с.

29 Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник / под ред. Я.Д. Ширмана. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

- 30 Ред Э.Т. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике: Схемы, блоки, 50-омная техника: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 256 с.
- 31 Ред Э.Т. Схемотехника радиоприемников. Практическое пособие. Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 152 с.
- 32 Смогилев К.А. Радиоприемники СВЧ / К.А. Смогилев, И.В. Вознесенский, Л.А. Филиппов. М.: Воениздат, 1967. – 556 с.
- 33 Техническое описание микросхемы ADL5513 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADL5513.pdf>
- 34 Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін. Основи охорони праці: підручник. – 2-е вид., допов. і перероб. – К.: Основа, 2006. – 444 с.
- 35 Трухачев А.А. Анализ процедур и алгоритмов обнаружения сигналов / А.А. Трухачев. – М.: Радио и связь, 2003. – 248 с.
- 36 Фомин Н.Н. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин [и др.]; под ред. Н. Н. Фомина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 520 с.
- 37 Чумаков В.І. Приймання та оброблення сигналів: навчальний посібник / В.І. Чумаков, В.О. Посошенко, О.І. Харченко. – Харків, 2005.
- 38 Poisel, R. Modem Communications Jamming. Principles and Techniques [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ua.b-ok2.org/book/>.