

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

АНДРУСЕВИЧ ВОЛОДИМИР АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 621.396.96

ДИСЕРТАЦІЯ
**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ
СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ**

Спеціальність: 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Андрусевич В.А.

Науковий керівник: Стрельницький Олексій Олександрович,
кандидат технічних наук, доцент

Ідентичність всіх примірників дисертації засвідчую:

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.М. Безрук

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Андрусевич В.А. Методи підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, – Харків, 2019 р.

Дисертаційна робота присвячена теоретичному узагальненню і новому рішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору. Вказане завдання вирішене шляхом розробки методів підвищення завадостійкості первинних та вторинних радіолокаційних систем на основі мережевої побудови радіолокаційних систем спостереження з централізованою обробкою інформації, що дозволяє проведення сумісної оптимізації як виявлення, так і вимірювання координат повітряних об'єктів та виключити з обслуговування літаковими відповідачами вторинних радіолокаційних систем навмисні корельовані завади. Синтезовані, оптимальні за критерієм Неймана-Пірсона, структури виявлення сигналів та повітряних об'єктів в мережі радіолокаційних систем спостереження повітряного простору. Показано, що такі структури обробки даних дозволяють здійснити спільну оптимізацію як виявлення, так і виміру координат повітряних об'єктів.

Ключові слова: системи первинної та вторинної радіолокації, завадостійкість, завадозахищеність, навмисні корельовані завади, захист від завад, система контролю повітряного простору, обробка інформації, інформаційне забезпечення.

ABSTRACT

Andrusevich V.A. Methods to improve the noise immunity of radar surveillance of airspace. – Qualification research work as a manuscript.

The thesis for a candidate degree (Ph.D.) in major 05.12.17 – Radiotechnical and television systems. – Kharkiv National University of Radio Electronics. – Kharkiv, 2019.

The dissertation work is devoted to theoretical generalization and the new decision of actual scientific and technical problem of increasing the noise immunity of radar surveillance of airspace. This problem is solved by developing methods for improving noise immunity surveillance systems based on a network of building the structure of surveillance systems with distributed information processing. Synthesized signal detection structures and overhead objects in implementing a distributed data processing stages for signal processing and primary information processing. It is shown that such structures allow to carry out data processing as a joint optimization of the detection and measurement of air objects coordinates. Methods for improving noise immunity interrogation surveillance systems based on network construction as the secondary radar systems and primary radar systems.

Keywords: the system of primary and secondary radar, noise immunity, immunity, control of airspace, automatic data processing, information technology, surveillance systems, information models.

Список публікацій здобувача:

1. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.:ХНУРЕ, 2015. – 270 с.
2. Обод І.І. Структура та показники якості обробки інформації систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 8(115). – Х.: ХУПС. –2013. – С. 80-83.
3. Андрусевич В.А. Оптимізація структури обробки сигналів відповіді запитальних систем спостереження повітряного простору /В.А. Андрусевич // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Вип. 1(38). – Х.: ХУПС. –2014. – С. 64-66.
4. Обод І.І. Порівняльний аналіз двох методів обробки сигналів відповіді запитальних систем спостереження / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 1(117). – Х.: ХУПС. –2014. – С. 41-43
5. Обод І.І. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 4(120). – Х.: ХУПС. –2014. – С. 53-56
6. Обод І.І. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Вип. 4(41). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 8-11
7. Стрельницький О.О. Розподілена обробка інформації у мережах систем спостереження повітряного простору / О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 2(118). – Х.: ХУПС. –2014. – С. 69-71.

8. Стрельницький О.О. Якість інформаційного забезпечення споживачів на основі сумісної обробки інформації систем спостереження повітряного простору / О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 5(121). – Х.: ХУПС. –2014. – С. 94-96.
9. Заволодько Г.Е. Інформаційна модель спостереження ПП / Г.Е. Заволодько, А.І. Обод, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 12(137). – Х.: ХУПС. –2015. – С. 23-26.
10. Стрельницький О.О. Інформаційна модель локальної СС ПП / О.О. Стрельницький, Г.Е. Заволодько, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 1(138). – Х.: ХУПС. –2016. – С. 44-46.
11. Обод І.І. Оптимізація обробки даних в мережах СС ПП / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, Г.Е. Заволодько, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 3(140). – Х.: ХУПС. –2016. – С. 97-99
12. Заволодько Г.Е. Аналіз якості об'єднання інформації в інформаційній мережі СС ПП/ Г.Е. Заволодько, А.І. Обод, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 5(142). – Х.: ХУПС. –2016. – С. 15-17.
13. Strelnytskiy A.A. Data processing optimization in the aerospace surveillance system network / A.A. Strelnytskiy, G.E. Zavolodko/ V.A. Andrusevich // Telecommunications and Radio Engineering, 2016. –75 (13). – p.1193–1200
14. Спосіб інформаційного забезпечення користувачів: пат. 88840, МПК G 01 S 13/00 (2014.01); заявл. 18.06.2013; опубл. 10.04.2014. Бюл. № 7. / Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. – Опубліковано. 10.04.2014. – 4 с.
15. Спосіб мережної обробки інформації: пат. Пат. 92812 МПК G 01 S 13/02 (2006.01); заявл. 24.02.2014; опубл. 10.09.2014. Бюл. №17. / Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. – Опубліковано. 10.09.2014. – 4 с.
16. Обод І.І. Структура та показники якості обробки інформації систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей ХХІІ міжнародної науково-практичної кон-

ференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2014. Ч.IV.с. 110.

17. Обод І.І. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей 4 міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». – Харків.: – 2014. С. 8.

18. Стрельницький О.О. Оцінка якості інформаційного забезпечення споживачів системою спостереження повітряного простору / Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. // Матеріали 18-го Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроника и молодежь в XXI веке», Том 3, Харків: ХНУРЕ, 2014, – с. 95

19. Обод І.І. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2015. Ч.IV.С. 122.

20. Заволодько Г.Е. Інформаційна модель спостереження повітряного простору / Заволодько Г.Е., Обод А.І., Андрусевич В.А. // Тези доповідей XXIV Міжнародної НПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків : НТУ «ХП», 2016. – Ч. IV. – С. 122.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	10
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ. ПОСТАНОВКА ЗА- ДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	199
1.1. Загальний порядок добування та обробки інформації про повітряну обста- новку в системі контролю повітряного простору.....	20
1.2. Класифікація та характеристика завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору	22
1.3. Характеристика та задачі обробки інформації радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.....	25
1.3.1. Обробка сигналів радіолокаційних систем спостереження.	26
1.3.2. Коротка характеристика задач первинної обробки інформації в радіолокаційних системах спостереження повітряного простору.....	28
1.4. Порівняльний аналіз принципів побудови і характеристик вторинних систем спостереження повітряного простору.....	31
1.4.1. Аналіз завадостійкості вторинних систем спостереження при іденти- фікації повітряних об'єктів	33
1.4.2. Аналіз завадостійкості вторинних радіолокаційних систем спостереження у режимі передачі польотної інформації	36
1.4.3. Аналіз енергетичної скритності вторинних радіолокаційних систем спостереження	37
1.5. Аналіз літератури, присвячений підвищенню завадостійкості радіолокаційних систем спостереження. Постановка задач досліджень	41
Висновки за розділом 1.....	43
РОЗДІЛ 2. СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ СУМІСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІ- ТРЯНОГО ПРОСТООРУ	45
2.1. Інформаційна модель спостереження повітряного простору.....	45
2.2. Інформаційна модель радіолокаційної системи спостереження	

	8
повітряного простору	52
2.3. Структура та показники якості інформаційного забезпечення споживачів радіолокаційними системами спостереження.....	54
2.4. Оцінка якості інформаційного забезпечення користувачів на основі радіолокаційних систем спостереження повітряного простору	59
2.5. Синтез структури виявлювача сигналів у сумісних системах спостереження повітряного простору.....	60
2.6. Сумісна оптимізація обробки даних в мережі радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.....	71
2.7. Місце систем автоматичного залежного спостереження у єдиній системі інформаційного забезпечення користувачів	77
2.8. Математичні моделі оцінки імовірності хибної тривоги та ризику цілосності координатної інформації мовного автоматичного залежного спостереження	81
Висновки за розділом 2.....	90
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ	92
3.1. Класифікація методів підвищення завадостійкості радіолокаційних систем повітряного простору.....	92
3.2. Синтез структури виявлення повітряних об'єктів при розподіленій обробці інформації у мережі систем спостереження.....	97
3.3. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення на основі оптимізації обробки сигналів вторинних систем спостереження.....	103
3.3.1. Оптимізація виявлення сигналів у вторинних системах спостереження.....	103
3.3.2. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах вторинних систем спостереження	107
3.4. Оптимізація структури обробки сигналів відповіді вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору	113
3.5. Порівняльний аналіз двох методів обробки сигналів відповіді вторинних радіолокаційних систем спостереження	116
Висновки за розділом 3.....	121

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ВТОРИННИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ	124
4.1. Постановка задачі захисту вторинних радіолокаційних систем спостереження від навмисних корельованих завад.....	124
4.2. Класифікація способів спадкоємного переходу до завадостійких вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору	127
4.3. Оцінка завадостійкості синхронних мереж вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору	130
4.3.1. Оцінка завадостійкості синхронних мереж вторинних систем спостереження з обслуговуванням сигналів запитувача.	130
4.3.2. Оцінка завадостійкості синхронних мереж вторинних систем спостереження з обслуговуванням сигналів відповідача	133
4.4. Використання методу рознесеного прийому у синхронних мережах вторинних систем спостереження	140
4.5. Оцінка завадостійкості безвторинних вторинних систем спостереження ..	149
Висновки за розділом 4.....	150
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	152
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	159
ДОДАТОК А	1657
ДОДАТОК Б	170

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИ- НИЦЬ ТА ТЕРМІНІВ

АЗС – автоматичне залежне спостереження
ВОІ – вторинна обробка інформації
ВПС – Військові Повітряні Сили
ДСА – діаграма спрямованості антени
ЗСУ – Збройні Сили України
ІЗ – інформаційне забезпечення
ІМ – інформаційна мережа
ІС – ідентифікаційна система
ІЧК – інтервально-часовий код
КГ – коефіцієнта готовності
КІ – координатної інформації
КПП – контроль повітряного простору
КЧЗ – координатно-часове забезпечення
ЛВ – літаковий відповідач
МО – міжперіодна обробка
НКЗ – навмисна корельована завада
ННЗ – навмисна некорельована завада
ОПР – організація повітряного руху
ПБП – подавлення бічних пелюсток
ПІ – польотна інформація
ПО – повітряний об'єкт
ПОІ – первинна обробка інформації
ПП – повітряний простір
ППр – пороговий пристрій
ПС – Повітряні сили
ПСЗ – потік сигналів запиту
ПСУ – Повітряні сили України
РЛС – радіолокаційна станція
РТР – радіотехнічна розвідка
СВ – сигнал відповіді
СЗ – сигнал запиту
СІ – система ідентифікації
СК – система координат
СМО – система масового обслуговування
СС – система спостереження
УПР – управління повітряним рухом

ФМ – фазо-маніпульований (сигнал)

ФН – функція невизначеності

ФП – функція правдоподібності

ХІЗ – хаотична імпульсна завада

ЧМ – частотно-модульований (сигнал)

ШЧ – шкали часу

ВСТУП

Актуальність теми. Досвід сучасних воєнних конфліктів свідчить про постійне зростання ролі повітряного простору (ПП) у збройній боротьбі, що призводить до стрімкого збільшення кількості повітряних об'єктів (ПО), призначених для ведення бойових дій, та інтенсивності їх використання [66,72]. Тому в усіх ланках військового управління для прийняття обґрунтованих рішень необхідно мати повну та достовірну інформацію про повітряну обстановку, що склалася. Цю інформацію надає система контролю ПП (КПП). Рішення задач, що стоять перед системою КПП визначається якістю обробки інформації яку надають радіолокаційні системи (РЛС) і котра визначається завадостійкістю останніх. Основними інформаційними джерелами в Об'єднаній цивільно-військовій системі організації повітряного руху України є первинні та вторинні радіолокаційні системи. Первинні РЛС надають інформацію «де» знаходиться ПО, а вторинні – «хто» він. Тільки наявність достовірної інформації від первинних та вторинних систем, котра визначається завадостійкістю зазначених систем, дозволяє прийняти правильне рішення.

Наявність навмисних та ненавмисних завад знижує, а в де-яких випадках і унеможлиблює, видачу достовірної інформації про ПО. Так, неправильне визначення державної належності ПО під час бойових дій неодмінно призводить до тяжких наслідків. Зокрема, під час Ірано-Іракського конфлікту пілоти Військово-Повітряних Сил (ВПС) Ірану змушені були виконувати бойові вильоти без застосування системи РЛВ. У результаті за час конфлікту через відсутність або неправильну інформацію про державну належність Збройні Сили Ірану втратили 55 літаків [107].

Аналогічні ситуації мали місце і у військах союзників під час бойових дій в Іраку. Всього у ході бойових дій в Іраку зафіксовано 17 випадків застосування зброї по своїх літаках та військах через неправильне визначення державної належності.

Це обумовлено тим, що вторинні РЛС мають істотні недоліки, обумовлені особливостями функціонування й принципами побудови як елементів, так і системи в цілому та організацією мережі [29,36,42]. Відсутність і часових, і просторових розходжень між корисними й імітованими сигналами запиту (СЗ) на літаковому відповідачі (ЛВ) змушує обслуговувати всі СЗ котрі прийняті ЛВ. Все це призводить до того, що вторинні РЛС завжди працюють у присутності внутрісистемних і навмисних корельованих завад. Якщо навмисні корельовані завади (НКЗ) не характерні для управління повітряного руху (УПР) цивільного призначення, то наявність навмисних корельованих завад у Повітряних Силах Збройних Сил України (ПС ЗСУ) дає можливість зацікавленій стороні виключити можливість отримання достовірної (неперекрученої) інформації від вторинних РЛС. Ця обставина не дозволяє віднести існуючі вторинні РЛС до завадостійких систем [42], а використання їх у конфліктних ситуаціях може негативно вплинути на виконання задач, покладених на Об'єднану цивільно-військову систему організації повітряного руху України [59].

Істотний внесок в розвиток методів підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС внесли Я.Д. Ширман, А. Фаріна, В.А. Ліхарев, С.З. Кузьмін, І.І. Обод, В.С Черняк, В.І. Савицький та інші.

Таким чином, тема дисертаційної роботи яка присвячена розробці й дослідженню методів підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору при дії внутрісистемних, а також навмисних корельованих і некорельованих завад є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у рамках Державної цільової науково-технічної програми створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження): постанова Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2008 р. № 834; а також у рамках НДР «Розвиток теорії обробки інформації та ідентифікація об'єктів у єдиній інформаційній мережі РЛС» ДР № 0110U001250 [41] де здобувач брав участь як виконавець.

Мета і задачі дисертаційного дослідження. Метою досліджень є підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

Науково-технічною задачею роботи є розробка та дослідження методів підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС спостереження ПП в умовах дії внутрісистемних та навмисних корельованих і некорельованих завад.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити такі часткові задачі:

1. Провести порівняльний аналіз принципів побудови, особливостей функціонування, завадостійкості та енергетичної прихованості існуючих радіолокаційних систем в умовах дії внутрісистемних та навмисних корельованих і некорельованих завад та здійснити аналіз процесу обробки радіолокаційних сигналів і первинної обробки інформації в радіолокаційних системах спостереження повітряного простору.

2. Розробити інформаційну модель сумісної радіолокаційної системи спостереження повітряного простору.

3. Розробити загальну структуру та визначити інтегральний показник якості обробки інформації на базі радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

4. Синтезувати структуру виявлення сигналів в інформаційній мережі первинних та вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

5. Синтезувати структуру первинної обробки інформації в мережі радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

6. Розробити та дослідити методи підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

Об'єктом дослідження є радіолокаційні системи спостереження ПП.

Предметом дослідження є завадостійкість радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

В роботі використовувались такі *методи досліджень*: методи теорії ймовірностей, випадкових процесів та теорії систем масового обслуговування для

оцінки завадостійкості систем вторинних РЛС в умовах дії внутрісистемних та навмисних корельованих та некорельованих завад у каналах запиту та відповіді; теоретичний аналіз, з використанням якого були намічені шляхи та методи підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС; математичної статистики, теорії оцінок, статистичних рішень та функціонального аналізу при синтезі оптимальних методів теорії виявлення для оцінки якості виявлення інформаційних сигналів та повітряних об'єктів у радіолокаційних системах та метод максимального правдоподібності.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у розробці методів підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження ПП при дії внутрісистемних, а також навмисних корельованих та некорельованих завад за рахунок спадкоємного переходу до інформаційних мереж радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

При проведенні дослідження автором отримано ряд наукових положень та результатів, які характеризуються науковою новизною:

1. Вперше синтезовано структуру обробки сигналів в інформаційній мережі первинних та вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору яка, на відміну від відомих, формує інформацію споживачам на основі зваженого об'єднання результатів каналного виявлення, що дозволило підвищити якість виявлення сигналів в мережі радіолокаційних систем та зменшити вплив коефіцієнта готовності літакового відповідача вторинної СС на якість виявлення.

2. Вперше запропоновано структуру обробки інформації радіолокаційних систем, на відміну від відомих реалізує централізовану обробку сигналів та первинної обробки інформації, що дозволяє провести сумісну оптимізацію як виявлення, так і точності виміру координат повітряних об'єктів та підвищити якість інформаційного забезпечення користувачів.

3. Вперше синтезовано структуру первинній обробки інформації мережі радіолокаційних систем яка, на відміну від відомих, формує інформацію споживачам на основі вагового об'єднання результатів каналного виявлення та

вимірювання координат повітряних об'єктів, що дозволило підвищити якість виявлення та вимірювання координат повітряних об'єктів.

4. Отримав подальший розвиток метод підвищення завадостійкості вторинних радіолокаційних систем спостереження заснований на спадкоємному переході до синхронних мереж вторинних РЛС, що дозволяє виключити з обслуговування навмисні корельовані завади та підвищити завадостійкість вторинних РЛС.

5. Отримав подальший розвиток метод підвищення завадостійкості вторинних радіолокаційних систем спостереження у якому просторові координати повітряного об'єкта включають до складу інформаційного пакету відповіді, що забезпечило спадкоємний перехід від обслуговування окремих сигналів запиту до обслуговування мережі вторинних радіолокаційних систем та підвищити завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації ПО.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати можуть бути використані для модернізації існуючих і розробки нових радіолокаційних систем спостереження ПП.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- розглянуті методи підвищення завадостійкості радіолокаційних РЛС ПП враховують навмисні та ненавмисні, корельовані та некорельовані завади як у каналі запиту, так і у каналі відповіді і можуть бути використані для розроблення вимог до модернізації існуючих РЛС;

- розроблено алгоритм забезпечення цілісності інформації мовного автоматичного залежного спостереження з використанням математичної моделі оцінки імовірності хибної тривоги, ризику цілісності та цілісності координатної інформації мовного автоматичного залежного спостереження на основі порівняння міток горизонтального положення ПО від двох незалежних РЛС.

Результати дисертаційної роботи реалізовані в рамках НДР «Розвиток теорії обробки інформації та ідентифікація об'єктів у єдиній інформаційній мережі РЛС» ДР № 0110U001250 [41] та в Харківському регіональному структурно-

му підрозділі Державного підприємства обслуговування повітряного руху України.

Практичне значення визначається отриманими патентами на корисну модель «Спосіб ІЗ користувачів» (№ 88840, номер заявки u201013578; заявл. 15.11.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7) [64] та «Спосіб мережної обробки інформації» (№ 92812, номер заявки u201012600; заявл. 25.01.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8) [65].

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійної роботи автора. Серед них: синтез та аналіз структури обробки сигналів сумісних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору, структура обробки інформації радіолокаційних систем з сумісною оптимізацією як виявлення, так і точності виміру координат повітряних об'єктів; синтез та аналіз структури первинної обробки інформації радіолокаційних систем спостереження та методи підвищення завадостійкості вторинних систем спостереження котрі оснований на спадкоємному переході до синхронних мереж вторинних радіолокаційних систем.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на 5 конференціях: 1) Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXII Міжнародна НПК, Харків. :НТУ «ХП». 2014 [49]; 2) Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Міжнародна НТК. – Харків.: – 2014 [50]; 3) Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIII Міжнародна науково-практична конференція, Харків. :НТУ «ХП». 2015 [51]; 4) Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIV Міжнародна науково-практична конференція, Харків.:НТУ «ХП». 2016 [25]; 5) Матеріали 18-го Міжнародного молодіжного форуму «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Том 3, Харьков: ХНУРЕ, 2014, – с. 95 [67].

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в монографії [42], 12 статтях у наукових спеціалізованих виданнях [6,23,24,43-47,68-70,102];

2 описах до патентів України на корисну модель [64,65]; тезах міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій [25,49,50,51,52].

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та додатку. Повний об'єм дисертації складає 166 сторінок, зокрема: список використаних джерел з 107 найменувань на 10 сторінках, два додатки на 7 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основні елементи процедури КПП - аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень [2]. Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначаються якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення. Тобто можливо стверджувати, що необхідною умовою успішного виконання завдань, що стоять перед повітряними силами (ПС) Збройних сил України (ЗСУ) й Управлінням повітряним рухом (УПР) України є наявність надійного інформаційного забезпечення (ІЗ). Для зазначених відомств ІЗ полягає в одержанні споживачем формуляру ПО котрий, як правило, включає:

- координатну інформацію спостережуваного ПО;
- інформацію про державну приналежність ПО;
- додаткову ІІ про стан ПО та параметри руху.

Таким чином можливо стверджувати, що повну картину у системі КПП дають сумісно первинні й вторинні РЛС. Однак використання автоматичного залежного спостереження, в окремих випадках, дозволяє значно підвищити якість ІЗ. Вторинні РЛС, у цей час, відносяться до одного з основних джерел отримання інформації про ПО для УПР України. Це обумовлено тим, що інформація, отримана від ЛВ ПО, є більше повною й достовірною в порівнянні з інформацією, витягнутою з відбитого сигналу при роботі первинних РЛС. Однак, існуючі вторинні РЛС мають ряд специфічних особливостей побудови й функціонування, які не дозволяють віднести ці системи ні до завадостійких ні до завадозахищених систем [17,29,42].

Розглянемо коротко питання завадостійкості РЛС.

1.1. Загальний порядок добування та обробки інформації про повітряну обстановку в системі контролю повітряного простору

Загальний порядок добування та обробки інформації про повітряну обстановку розглянемо на прикладі реалізації його в єдиній системі управління поєднаними ВПС та ППО НАТО в Європі, котра отримала найменування ACCS (Air Command and Control System) [4,5]. Сутність функціонування даної системи полягає в автоматизації управління загальними засобами забезпечення бойових дій, за допомогою яких буде реалізовуватися застосування наявних у розпорядженні сил і засобів, управління ходом повітряної операції і польотами літаків, ведення повітряної розвідки, а також контроль за резервами і управління ними.

Система ACCS призначена для виконання наступних завдань:

- контролю ПП як за мирним, так и за воєнним часом;
- управління наявними ресурсами ВПС та ППО;
- безпосередньо наведення літаків на повітряні та наземні (надводні) цілі;
- управління повітряним рухом;
- забезпечення інформаційного обміну и розподілу інформації на всіх рівнях командування.

В інтересах відтворення найповнішої картини про повітряну обстановку, а також управління своїми літаками, які виконують поставлені завдання в зоні відповідальності кожного центру управління повітряною операцією (ЦУПО) буде розгорнута мережа постів обробки інформації – (ПОІ) (Sensor Fusion Post - SFP, рис. 1.1). ЦУПО виконує функції безпосереднього управління бойовими діями авіації та активними засобами протиповітряної оборони (ППО) (*в реальному масштабі часу*), контролює хід виконання польотних завдань, здійснює націлювання (*перенацілювання*) ударної авіації та активних засобів ППО.

Інформація на ПОІ буде надходити від стаціонарних і мобільних наземних комплексів (пасивних і активних). ПОІ призначений для збору, накопичення і обробки даних від усіх засобів активного і пасивного радіоелектронного спостереження і розвідки та розробки на основі цих даних карти локальної повітряної обстановки і передачі її на центр розробки карти повітряної обстановки.

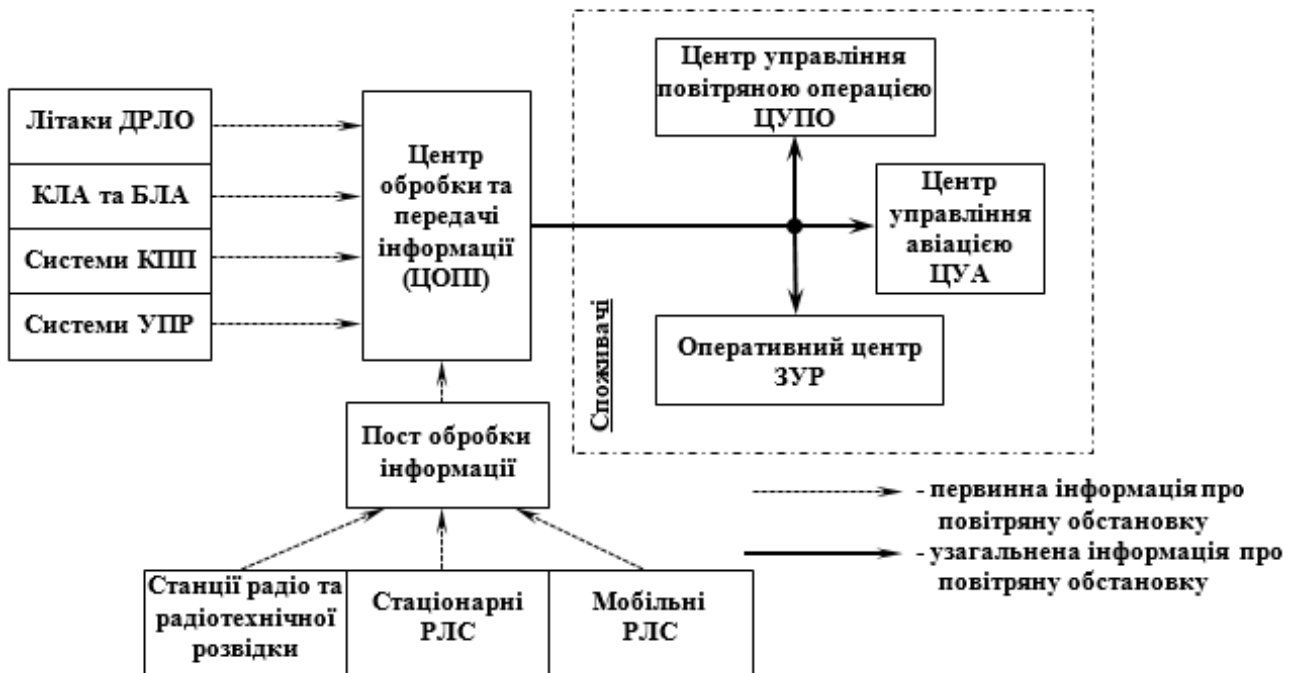


Рисунок 1.1 – Добування та обробка інформації в системі ACCS

Первинно оброблені дані в формалізованому вигляді від чотирьох - восьми ПОІ, що надійшли від знаходяться на патрулюванні комплексів системи AWACS-NATO і національних AWACS, а також дані від систем обробки інформації, одержуваної від космічних літальних апаратів, БЛА, будуть передаватися в центри узагальнення і передачі інформації – ЦОПІ (Recognised Air Picture (RAP) Production Centre - RPC).

У ЦОПІ дані від систем виявлення повітряних цілей НАТО будуть порівнюватися з інформацією, одержуваної від цивільних систем (КПП) і управління повітряним рухом (УПР), піддаватися в автоматичному режимі аналізу і уточнення. В ЦОПІ розробляється карта повітряної обстановки на основі постійної оцінки повітряної обстановки (*в реальному масштабі часу*) та здійснюється пе-

редача її в центр повітряного управління і об'єднаний центр повітряних операцій.

Згідно з проектом ACCS передбачається створити повністю об'єднану систему, яка буде мати модульну структуру, високу мобільність і забезпечувати можливість підключення нових елементів завдяки відкритій архітектурі.

З проведеного вище аналізу випливає, що одним з основних принципів організації системи управління коаліційними угрупованнями військ в сучасних військових конфліктах є створення єдиної системи ІЗ органів управління та військ за рахунок:

- використання комплексів засобів автоматизації в усіх ланках управління;
- військових і орендованих сучасних засобів зв'язку і передачі даних, що дозволяють об'єднати комплекси засобів автоматизації розподілених пунктів управління між собою, із засобами розвідки, РЕБ і вогневого ураження з метою забезпечення узгодженої роботи органів управління в ході підготовки і ведення бойових дій;
- централізованого автоматизованого добування в реальному масштабі часу інформації від різних засобів розвідки і спостереження (космічного, повітряного, наземного і морського базування, які працюють на різних фізичних принципах), обробки та оптимального її розподілу між засобами ураження.

1.2. Класифікація та характеристика завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору

Системи спостереження є основними джерелами інформації системи КПП. Наведемо класифікацію систем спостереження інформація котрих може бути використана для ІЗ системи КПП (рис.1.2).

При незалежному некооперативному спостереженні місцезнаходження ПО визначається на підставі даних вимірювань без допомоги ПО. Прикладом є система, що використовує первинні РЛС, яка надає дані про місцезнаходження ПО, але не ідентифікує його і не дає іншої інформації про ПО. Первинні РЛС, в за-

лежності від розміщення передавального та приймального пристроїв, поділяються на однопозиційні та багатопозиційні. В свою чергу багатопозиційні РЛС поділяються на активні (використають свій передавач) та пасивні (використають випромінювання інформаційних засобів ПО). Слід зазначити, що первинні РЛС є основними інформаційними РЛС контролю ПП.

При незалежному кооперативному спостереженні місцезнаходження визначається на підставі даних вимірювань, які виконуються підсистемою локального спостереження з використанням повідомлень з борту ПО. Ці повідомлення можуть містити інформацію, отриману на борту ПО, тобто дані про барометричну висоту, пізнавальний індекс ПО та інше.

При залежному кооперативному спостереженні місцезнаходження визначається на борту ПО, і ця інформація передається підсистемі локального спостереження поряд з можливими додатковими даними (наприклад, пізнавальний індекс ПО, барометрична висота) використовуючи як свої засоби передавання інформації, так і використовуючи супутникові канали передачі інформації.

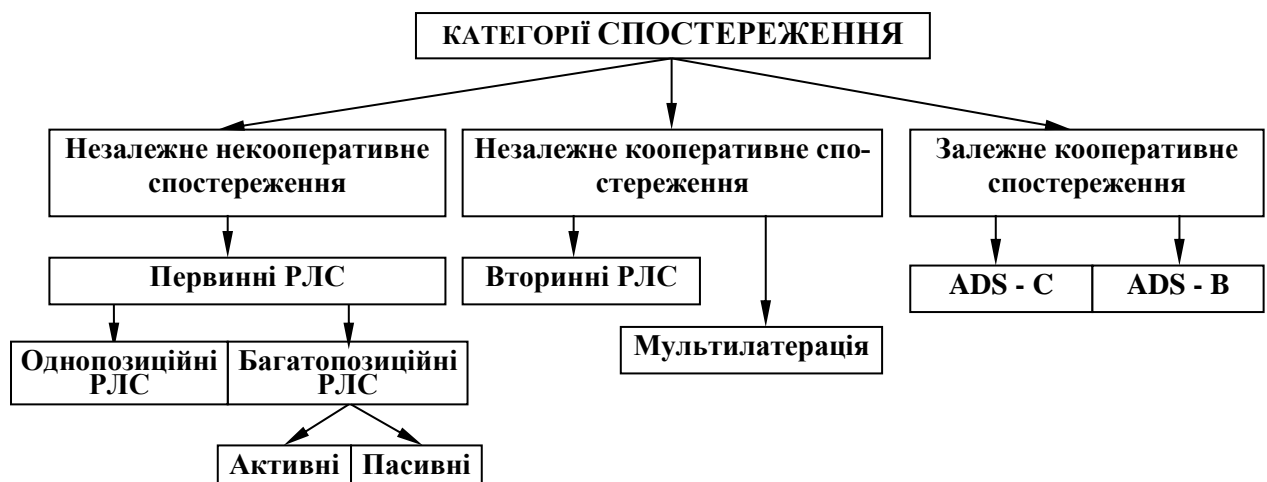


Рисунок 1.2 – Класифікація СС повітряного простору

Підсумовуючі, можливо стверджувати що в СС можна виділити в загальному плані чотири складові компоненти:

- «підсистема дистанційного спостереження», встановлена усередині ПО, що спостерігається, яка має дві основні функції: збирати дані від рі-

зних датчиків/інтерфейсів на борту і передавати їх іншим компонентам системи або іншим користувачам;

- *датчикова система*, яка отримує інформацію про ПО, що спостерігаються;
- *система зв'язку*, яка з'єднує датчикові системи з системою обробки даних спостереження (ОДС) і забезпечує передачу даних спостереження. Наземна система зв'язку може також підтримувати функції контролю і моніторингу датчика;
- *система ОДС*, яка:
 - об'єднує дані, отримані від різних датчиків, в один потік даних;
 - при необхідності здійснює інтеграцію даних спостереження з іншою інформацією (наприклад, з польотної інформацією);
 - надає/розподіляє дані користувачам в установленому порядку, включаючи можливі конкретні атрибути різних типів датчиків.

Датчик є важливою частиною системи спостереження. Він надає інформацію спостереження, яка потім надходить особам що приймають рішення.

Розглянемо коротко деякі характеристики РЛС, що суттєво впливають на якість ІЗ користувачів. До таких характеристик РЛС ПП відносяться:

Завадостійкість - це можливість РЛС протистояти шкодливому впливу завад.

Завадозахищеність - це можливість РЛС протистояти шкідливому впливу навмисних завад.

Імовірність завадозахищеності:

$$P_{zz} = 1 - P_v P_{vim} P_{pr}, \quad (1.1)$$

де P_v – імовірність виявлення; P_{vim} - імовірність вимірювання; P_{pr} - імовірність порушення роботи; $P_v P_{vim}$ - скритність; P_{pr} - завадостійкість; $P_{skr} = 1 - P_v$ - імовірність скритної роботи.

Скритність підрозділяється на:

- *енергетичну*, яка характеризує здатність протистояти заходам, спрямованим на виявлення сигналу розвідувальним прийомним пристроєм;

- *структурну*, яка характеризує здатність протистояти заходам, спрямованим на розкриття структури сигналу:

$$x_s(t) + P(t);$$

$$\int_0^T (x_s(t) + P(t))x_s(t) dt = \int_0^T x_s(t)x_s(t) dt;$$

- *інформаційну*, яка характеризує здатність СПИ протистояти заходам, спрямованим на розкриття сигналу, що передається;

- *криптостійкість*, яка характеризує труднощі розшифровки переданих повідомлень;

- *імітостійкість*, яка характеризує труднощі створення завад, схожих на сигнали, що використовуються.

1.3. Характеристика та задачі обробки інформації радіолокаційних систем спостереження повітряного простору

Основним джерелом динамічної інформації про повітряну обстановку є РЛС, обробка інформації яких і є основою для прийняття рішень.

Обробка інформації РЛС - процес приведення інформації, що отримується від РЛС, в придатний для подальшої передачі користувачам вид.

Система обробки інформації РЛС безпосередньо пов'язана із джерелами сигналів і забезпечує рішення наступних завдань:

- просторової обробки когерентних сигналів;
- часової обробки когерентних сигналів;
- міжперіодної компенсації пасивних завад;
- виявлення корисних сигналів, прийнятих від ПО, і відсіювання завад;
- визначення параметрів прийнятих сигналів;
- виявлення повітряних об'єктів;
- вимір координат і параметрів руху повітряних об'єктів;
- одержання польотної інформації з борта повітряного об'єкта;
- ідентифікація повітряного об'єкта за ознакою «свій-чужий»;

Рішення перерахованих задач призводить до різноманіття виконуваних системою функцій, пов'язаних з поетапною обробкою великих потоків інформації. На кожному етапі обробки виконуються певні операції над вхідними сигналами окремими пристроями різної складності. Система обробки може бути представлена як сукупність елементарних підсистем зі складними взаємозв'язками. Складність системи обробки не дозволяє проводити формалізацію й аналіз її роботи в цілому, тому доводиться попередньо розбивати систему на елементи й вивчати їхнє функціонування. У зв'язку із цим, доцільно, щоб елементи системи обробки мали чітко виражене призначення, а також те, що їх можна було б описати з досить загальних математичних позицій. Такий підхід дозволяє процес обробки інформації РЛС ПП розділити на наступні функціонально закінчені етапи:

- обробка сигналів РЛС;
- первина обробка інформації (ПОІ).

Як правило, етапи обробки виконуються на двох послідовно включених процесорах сигналів та даних. Сигнальний процесор знаходиться у РЛС, а процесор даних - у РЛС чи в апаратурі ПОІ (АПОІ), яка може знаходитися як у складі РЛС так і автономно, що створює проблему сумісної оптимізації обробки інформації. Коротко розглянемо задачі, що розв'язуються на цих етапах обробки інформації РЛС ПП, показники якості розв'язування цих задач та оберемо показники якості ІЗ користувачів на етапі ПОІ на якому складається формуляр ПО.

1.3.1. Обробка сигналів радіолокаційних систем спостереження. На етапі обробки сигналів вирішуються перші п'ять задач обробки даних РЛС ПП. Для рішення зазначених задач процес обробки сигналів в РЛС можна розділити на наступні функціонально закінчені операції:

1. Просторова (антенна) обробка когерентних сигналів багатоелементною антеною системою, розташованою в одному або декількох пунктах прийому.
2. Часова внутрішньоперіодна обробка когерентних сигналів, що включає нелінійну обробку (обмеження, логарифмування і т. д.) та узгоджену фільтра-

цію. Фільтрація прийнятих високочастотних сигналів РЛС здійснюється в радіочастотному тракті приймача РЛС. Оптимальність фільтрації сигналів РЛС оцінюється, як правило, за критерієм максимального відношення амплітуди прийнятого сигналу до середньо квадратичного значення напруги завади на вході детектора, а, отже, і на його виході при монотонній характеристиці детектора. Необхідно відзначити, що фільтри, розраховані на забезпечення оптимальної фільтрації корисних сигналів, не є вирішальними пристроями, тому що вони не виносять ніяких рішень щодо наявності або відсутності сигналу. Їхня роль зводиться до того, щоб скласти оцінку (рішення) про сигнал подальшому (післядетекторному) вирішальному пристрою.

3. Міжперіодна компенсація корельованих завад обумовлених відображеннями від місцевих предметів, гідрометеорів, і спеціальних відбивачів;

4. Виявлення корисних сигналів. Задача виявлення корисних сигналів вирішується в пристроях післядетекторної обробки сигналів і складається у винесенні однозначного рішення: або сигнал є ($x_i = 1$), або сигналу немає ($x_i = 0$). Оптимальність рішення задачі виявлення сигналів визначається, як правило, за критерієм Неймана-Пірсона, що зводиться до максимізації ймовірності правильного виявлення сигналів D_{0i} при обмеженнях на ймовірність хибного виявлення F_{0i} , тобто показником якості ІЗ на цьому етапі є

$$D_{0i} = f(q, P_0, F_{0i} = f(z_0) = const), \quad (1.2)$$

де q - відношення сигнал/шум, z_0 - аналоговий поріг прийняття рішення, P_0 - коефіцієнт готовності відповідача вторинної РЛС.

5. Вимір параметрів виявлених (прийнятих) сигналів. Операції оцінки параметрів сигналів у загальному випадку оптимізуються за критерієм мінімуму середнього ризику.

1.3.2. Коротка характеристика задач первинної обробки інформації радіолокаційними системами спостереження повітряного простору. Суть етапу полягає у формуванні формуляра ПО, що вимагає інформації від первинної й двох (однієї) вторинної РЛС. Для рішення зазначених задач процес оброб-

ки інформації в сумісній РЛС можна розділити на наступні функціонально закінчені операції:

1. Визначення (оцінка) миттєвого положення (координат) ПО у просторі за результатами одного огляду. У процесі цієї операції здійснюється виявлення ПО за пачкою відбитих (випроменених) сигналів, а також статистична оцінка часу затримки відбитих (випроменених) сигналів щодо моментів посилки зондувальних сигналів (статистична оцінка дальності до ПО відносно точки розташування РЛС), а також статистична оцінка кутових координат ПО за кутовим положенням антени РЛС у момент проходження максимуму діаграми спрямованості через ПО. Оптимальність рішення задачі виявлення ПО розуміється, як правило, за критерієм Неймана-Пірсона, що зводиться до максимізації ймовірності правильного виявлення сигналів D_{1i} при обмеженнях на ймовірність хибного виявлення F_{1i} , тобто показником якості ІЗ на цьому етапі є

$$D_{1i} = f(k_1, D_{0i}, F_{1i} = f(F_{0i} = f(z_o)) = const), \quad (1.3)$$

де k_1 -цифровий поріг прийняття рішення.

Розглянемо особливості виявлення ПО існуючими РЛС. Для прикладу обемо вторинну РЛС яка має загальну структуру. Можливо показати, що імовірність виявлення ПО вторинною РЛС визначається як [42]

$$D_{11} = \sum_{i=0}^{N-k} C_N^i P_0^{N-i} (1-P_0)^i \left[\sum_{l=0}^{N-k-i} C_{N-i}^l P^{N-l-i} (1-P_l)^l \right]^n, \quad (1.4)$$

де N – пачка прийнятих сигналів.

З (1.4) при $n = 1$ та $P_0 = 1$ отримуємо вираз виявлення ПО первинною РЛС.

Результати розрахунків імовірності виявлення ПО надані на рис.1.3.

Наведені розрахунки показують високу залежність імовірності виявлення ПО від КГ ЛВ для вторинних РЛС.

Оптимальний алгоритм вимірювання координат синтезується, як правило, за критерієм максимальної правдоподібності. Вигляд функції правдоподібності залежить від статистичних характеристик сигналів і завад, форми діаграми

спрямованості антенної системи, а також від способу сканування антени РЛС у процесі вимірювання. Точність оцінки координат, що у загальному випадку характеризується кореляційною матрицею погрішності оцінки, а в найпростішому випадку дисперсією (СКП) погрішності оцінки σ_i^2 .

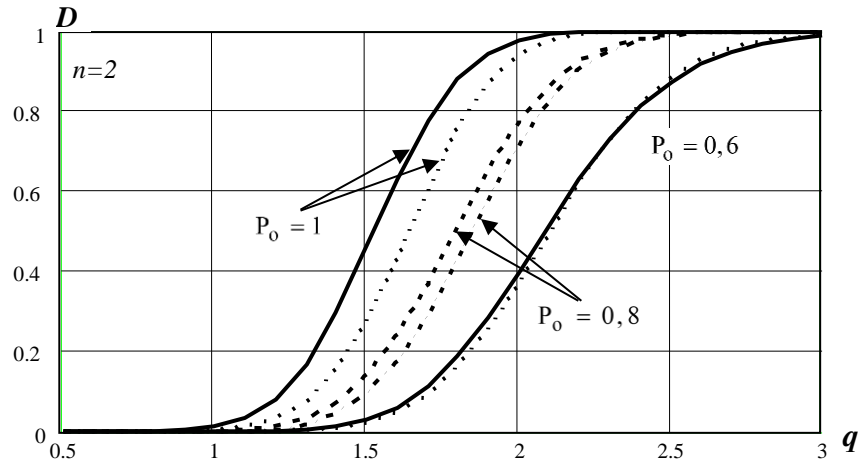


Рисунок 1.3 – Імовірність виявлення ПО

Можливо показати, що СКП оцінки виміру азимуту вторинною РЛС оцінюється як [42]

$$\frac{\sigma}{\Delta\beta} = \frac{\varphi^2 \exp(z_0^2/2)}{2\sqrt{2}z_0q_0P_0P_p} \left\{ \sum_{k=1}^{(N-1)/2} g^2(k) \exp(-q_k^2) k^2 I_1(z_0q_k) \sum_{i=0}^n \frac{\{P_{11}^{i-1}(k)P_{10}^{n-i-1}(k)(i - nP_{11}(k))\}^2}{P_0P_pP_{11}^i(k)P_{10}^{n-i}(k) + (1 - P_0P_p)P_{01}^i(1 - P_{01})^{n-i}} \right\}^{1/2}. \quad (1.5)$$

Вираз (1.5) дозволяє обчислити потенційну відносну СКП виміру азимута ПО вторинною РЛС при незалежних імовірностях подавлення СВ у каналі вторинної РЛС. Враховуючи вищенаведене можливо отримати вираз для обчислення СКП оцінки виміру азимуту первинної РЛС.

Результати розрахунку за виразом (1.5) представлені на рис. 1.3 при різному КГ відповідача й імовірності подавлення СВ що дорівнює 0,97. Як видно з рис. 1.4, зменшення КГ приводить до зниження точності виміру азимуту ПО вторинною РЛС.

5. Декодування польотної (бортової) інформації ПО, отриманої за каналом відповіді вторинної РЛС.

6. Складання формуляра ПО на основі інформації первинної й вторинних РЛС шляхом порівняння координатної інформації зазначених РЛС.

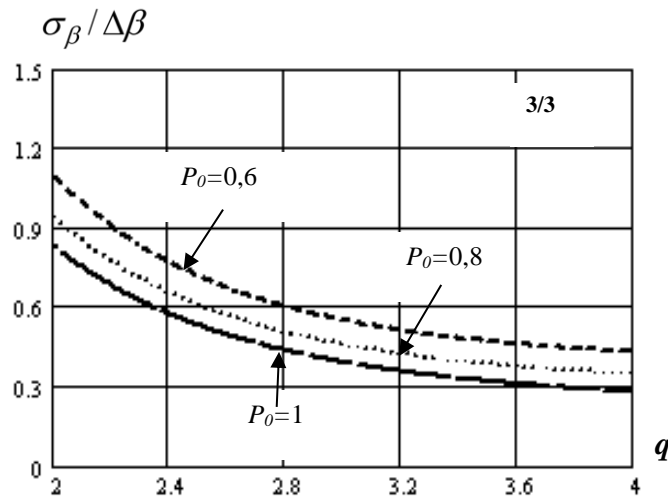


Рисунок 1.4 – Точність виміру азимуту при $k/m=3/3$

Сукупність цих операцій складає зміст першого етапу обробки, названого первинною обробкою інформації РЛС. Закінчується етап первинної обробки інформації складанням формуляру ПО, котрій, крім всього, включає:

- місцеположення ПО, обчислене за даними первинної РЛС;
- польотну інформацію, отриману за каналами передачі вторинної РЛС;
- ідентифікацію ПО, отриману від ідентифікаційної системи «свій-чужий».

На жаль в склад формуляру ПО не входить матриця точності обчислення координат ПО, що, у подальшому, виключає можливість проведення міжетапної оптимізації обробки інформації.

1.4. Порівняльний аналіз принципів побудови і характеристик вторинних систем спостереження повітряних об'єктів

Як показано нами вище, формуляр ПО повинен включати результат ідентифікації ПО за ознакою «свій-чужий». Ця операція виконується системами ідентифікації (СІ). На сьогодні широко використовуються дві вторинної РЛС у котрих реалізується режими ідентифікації: «Пароль» і Mk XII [36,63].

Слід зазначити, що неправильне визначення державної належності об'єктів під час бойових дій неодмінно призводить до тяжких наслідків. Приведемо один з таких наслідків. 24 березня 2003 року американський зенітно-ракетний

комплекс (ЗРК) «Патріот» знищив тактичний винищувач ВПС США F-16. Під час бойового вильоту пілот відхилився від установленого маршруту польоту і за бортовим індикатором визначив факт опромінення літака наземною РЛС. Приймавши РЛС за іракську, негайно провів пуск ракети, яка вразила антенну систему ЗРК «Патріот». Одночасно ЗРК в автоматичному режимі також провів пуск ракети, яка знищила винищувач.

Обидві СІ відносяться до систем одного класу, побудовані за спільними принципами та мають схожі особливості технічної реалізації. Відзначимо основні особливості, які апріорі визначають потенційно низьку завадостійкість та прихованість зазначених систем:

- мережі СІ утворюють асинхронну безадресну систему. Асинхронність означає відсутність синхронізації за часом випромінювання сигналів запити (СЗ) одним запитувачем та їх сукупністю, та визначає неможливість селекції СЗ за часом у відповідачах. Безадресність визначає необхідність обслуговування у відповідачах (запитувачах) всіх прийнятих СЗ (відповіді), у тому числі адресованих не їм, і призводить до різкого збільшення інтенсивності внутрішньосистемних завад. Асинхронність та безадресність спрощують зацікавленій стороні вирішення завдання постановки навмисних корельованих завад відповідачу;
- за принципом побудови літакові відповідачі (ЛВ) відносяться до відкритих одноканальних систем масового обслуговування (СМО) з відмовами, за принципом обслуговування – до СМО з обслуговуванням першої прийнятої заявки. Відкритість означає, що відповідачі обслуговують усі правильно прийняті СЗ, у тому числі імітовані зацікавленою стороною, що робить можливим їх несанкціоноване використання. Одноканальність означає можливість одночасного обслуговування лише одного СЗ. Відмови означають втрату здатності відповідача до приймання та оброблення будь-яких сигналів на час обслуговування першого прийнятого СЗ. Цей ефект називають паралізацією. Час паралізації в основному визначається сумарною тривалістю прийнятого СЗ, сформованого СВ, за-

лежить від режиму роботи вторинної РЛС. Паралізація відповідача обмежує пропускну здатність відповідача та СІ навіть за наявності лише внутрішньосистемних завад. Постановка навмисних корельованих завад (НКЗ) високої інтенсивності може призвести до повної паралізації відповідача та СІ загалом;

- сигналами вторинних РЛС є прості інтервально-часові коди, які мають низьку імітостійкість, структурну та енергетичну прихованість. Це спрощує зацікавленій стороні постановку НКЗ відповідачам та полегшує виявлення ПО за СВ ЛВ;
- у відповідачах використовуються антенні системи з широкими діаграмами спрямованості, що виключає можливість просторової селекції СЗ і дає можливість зацікавленій стороні здійснювати постановку завад з довільно розташованих наземних радіолокаційних запитувачів.

Таким чином, як показує короткий аналіз існуючих СІ, всі вони реалізовані на однакових принципах (рис. 1.5) і, отже, мають два суттєвих недоліки, що обмежують їх використання в конфліктних ситуаціях:

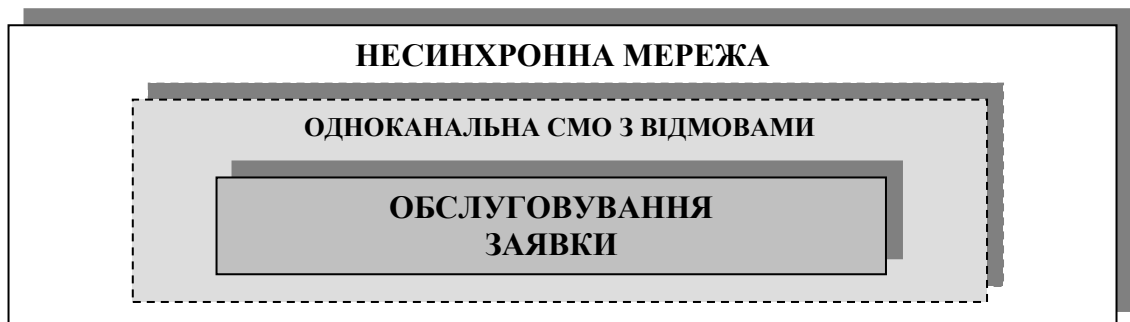


Рисунок 1.5 – Принципи побудови існуючих систем ідентифікації

- по-перше, кожна з них має низьку завадостійкість через можливість подавлення, шляхом використання НКЗ зацікавленою стороною необхідної інтенсивності;
- по-друге, ЛВ цих засобів може бути несанкціоновано використаний зацікавленою стороною для вирішення своїх інформаційних задач.

1.4.1 Аналіз завадостійкості вторинних систем спостереження при іде-

нтіфікації повітряних об'єктів. Оцінимо завадостійкість вторинних РЛС у режимі ідентифікації ПО. Завадостійкість СІ оцінюють за імовірністю P_c отримання і правильного декодування запитувачем СВ від ПО на СЗ в умовах дії визначеного виду і рівня завад. Ця імовірність є відносною пропускнуою здатністю вторинної РЛС. Завадостійкість відповідача оцінюють коефіцієнтом готовності відповідача P_o , який визначається як імовірність прийому, правильного декодування СЗ, формування і випромінювання СВ в умовах дії визначеного виду і рівня завад. Коефіцієнт готовності відповідача є відносною пропускнуою здатністю відповідача.

Проведемо оцінку завадостійкості вище зазначених вторинних РЛС у режимі ідентифікації та передачі польотної інформації за методикою, наведеною в [29].

Будемо вважати, що на вхід відповідача надходить потік СЗ, утворений сумарним потоком СЗ сусідніх запитувачів і навмисних корельованих завад, і потік хаотичних імпульсних завад (ХІЗ). Потоки СЗ і ХІЗ незалежні, кількість джерел, що формують загальний потік СЗ, достатньо велика, що дозволяє вважати потік пуасонівський.

На вхід відповідача надходять:

- потік ХІЗ інтенсивністю λ_0 ;
- потік сигналів запиту (ПСЗ), випромінених по головним пелюсткам діаграм спрямованості антен (ДСА) запитувачів, які призводять до випромінювання сигналів відповіді, інтенсивністю λ_1 ;
- потік СЗ, випромінених по бічних пелюстках ДСА запитувачів, які призводять до спрацьовування схеми придушення бічних пелюсток (ПБП), інтенсивністю λ_2 .

Сумарний потік СЗ складається з потоку СЗ імітостійкого режиму інтенсивністю λ_i і з потоку СЗ неімітостійкого режиму інтенсивністю λ_n . Їх співвідношення будемо оцінювати коефіцієнтом неімітостійкості k_n :

$$k_n = \frac{\lambda_n}{\lambda_n + \lambda_i}$$

На рис. 1.6 наведені залежності коефіцієнта готовності відповідача вторинних РЛС від інтенсивності λ_1 потоку СЗ по основним пелюсткам ДСА запитувачів для випадку $k_n = 0,5$, $\lambda_0 = 0,5000, 10000$.

Порівняльний аналіз рис. 1.6, а і рис. 1.6, б показує, що при інтенсивності ПСЗ $\lambda_1 > 1500$ коефіцієнт готовності відповідача системи Мк XII більший, ніж системи «Пароль». Це пояснюється тим, що максимальне завантаження відповідача у системі Мк XII становить 1500, а у системі «Пароль» - 3000. З рис. 1.5, б видно, що відповідач системи «Пароль» не досягає максимального завантаження. Це означає невірний вибір коефіцієнта завантаження відповідача, через що останній не буде виключати з обслуговування слабкі СЗ. Це дозволяє зацікавленій стороні паралізувати відповідач за допомогою одного віддаленого запитувача, який імітує потік СЗ необхідної інтенсивності. Така особливість відповідача системи «Пароль» істотно знижує ефективність її використання. У разі збільшення інтенсивності ПСЗ коефіцієнт готовності відповідачів обох систем зменшується і при $\lambda_1 = 5000$ стає практично однаковий і становить $P_0 = 0,24 \dots 0,29$. Наявність хаотичних імпульсних завад також зменшує коефіцієнт готовності відповідача, але у значно меншій ступені. Наприклад, у системі «Пароль» за відсутності сигналів запиту ($\lambda_1 = 0$) потік ХІЗ інтенсивністю $\lambda_{01} = 10000$ призводить до зменшення коефіцієнта готовності відповідача з 1 до 0,9. Отримані результати вказують на низьку завадостійкість відповідачів в умовах дії корельованих та хаотичних імпульсних завад і свідчать про найбільшу вразливість відповідачів до завад, корельованих з сигналами запиту.

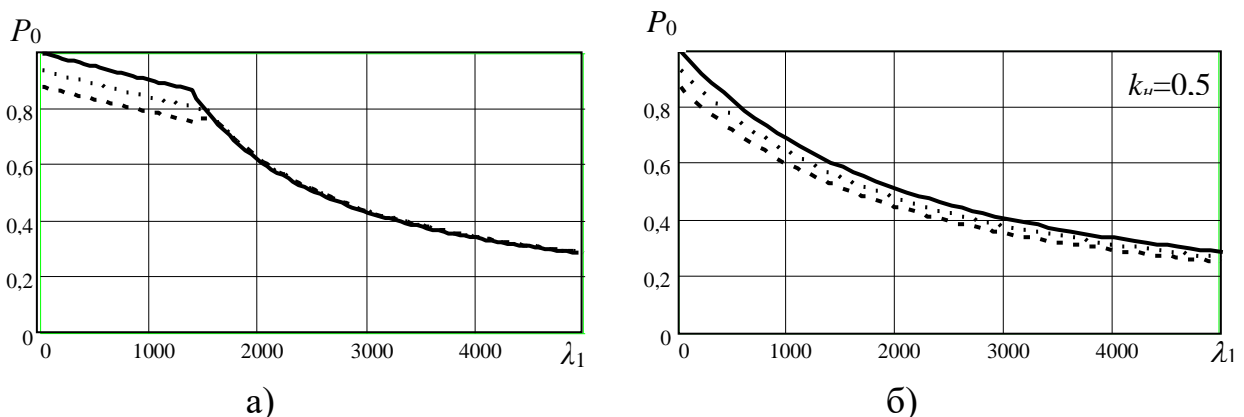


Рисунок 1.6 – Коефіцієнт готовності відповідачів СІ: а) Мк XII; б) «Пароль»

На рис. 1.7 наведені імовірності рішення задачі ідентифікації ПО зазначених вторинних РЛС від інтенсивності потоку СЗ по основним пелюсткам ДСА запитувачів у разі однакових критеріїв виявлення. Рішення задачі ідентифікації ПО приймається на основі імовірності виявлення ПО вторинною РЛС.

Їх порівняльний аналіз показує більшу завадостійкість системи Мк XII порівняно з системою «Пароль» в умовах дії як некорельованих, так і корельованих завад. Так, система РЛВ Мк XII взагалі нечутлива до хаотичних імпульсних завад у каналі запиту, коефіцієнт готовності системи «Пароль» за наявності ХІЗ суттєво зменшується, наприклад, при $\lambda_1 = 1000$ поява потоку ХІЗ інтенсивністю $\lambda_0 = 10000$ призводить до зменшення P_{id} з 0,96 до 0,74. Більш вражаючі

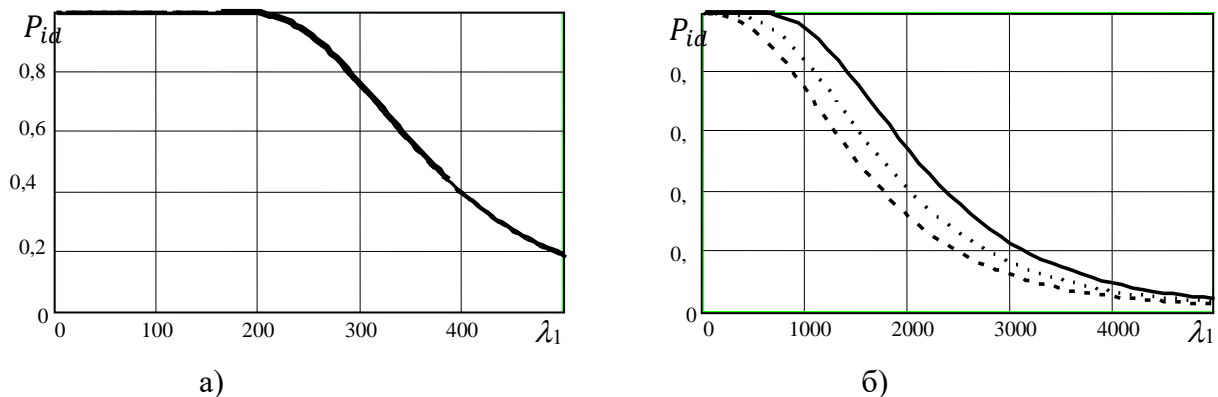


Рисунок 1.7 – Імовірність оцінки ідентифікації ПО: а) Мк XII; б) «Пароль»

результати отримані з порівняння завадостійкості систем до корельованих завад. Коефіцієнт готовності системи Мк XII при інтенсивності ПЗС $\lambda_1 \geq 2000$ остається незмінним $P_{id} = 1$, зі збільшення інтенсивності λ_1 поступово зменшується і при $\lambda_1 = 4000$ становить $P_{id} = 0,4$. Коефіцієнт готовності системи «Пароль» навіть за відсутності ХІЗ починає знижуватись при $\lambda_1 > 750$ і при $\lambda_1 = 4000$ становить $P_{id} = 0,95$.

Отримані результати свідчать про низьку завадостійкість вторинних РЛС (у першу чергу – системи «Пароль») у режимі ідентифікації в умовах дії корельованих і некорельованих завад.

1.4.2. Аналіз завадостійкості вторинних систем спостереження у режимі передачі польотної інформації. Завадостійкість вторинних РЛС у режимі

передачі польотної інформації будемо характеризувати імовірністю P_p отримання запитувачем неспотвореної польотної інформації від відповідача.

В обох вторинних РЛС для передачі польотної інформації використовується позиційний код. У системі РЛВ Мк XII використовується 12-розрядний код. До складу СВ входять два опорних імпульси координатної оцінки, між якими передаються 12 розрядів двійкового коду [17,36]. Передача польотної інформації здійснюється на кожен сигнал запиту при чергуванні, за відповідним правилом, ознаки запитуваної інформації.

У СІ «Пароль» польотна інформація передається 45-імпульсним позиційним кодом, який включає 2-імпульсний код координатної відмітки, 3-імпульсний код ознаки переданої інформації (бортовий номер, висота польоту, запасу палива судна) і 20 двійкових розрядів польотної інформації. Оскільки інформаційна складова становить значну величину СВ, то польотна інформація передається через певну кількість запитів з коефіцієнтом розрядки, який є дробовою величиною.

Будемо вважати, що:

- у каналі запиту діє тільки потік СЗ інтенсивністю λ_1 , який включає у себе також СЗ на передачу польотної інформації. Хаотичні імпульсні завади відсутні;
- у каналі відповіді діє потік некорельованих завад з інтенсивністю $\lambda_0^e = 1000$.

Дія некорельованих завад у каналі відповіді може призводити до спотворення переданої польотної інформації через подавлення частини імпульсів СВ.

Залежність коефіцієнту готовності вторинних РЛС від інтенсивності λ_1 потоку СЗ, розрахована за методикою [29,74] для різної кількості СВ M у пачці, наведена на рис. 1.8.

З порівняння рис. 1.8, а і рис. 1.8, б, видно, що у режимі передачі польотної інформації система Мк XII має значно більший коефіцієнт готовності порівняно з системою «Пароль», що пояснюється більш вдалим з точки зору заводськості вибором стандарту передачі інформації. Низький коефіцієнт готовності системи «Пароль» пояснюється значним часом паралізації відповідача і наявністю розрядки під час обслуговування сигналів запиту польотної інформації.

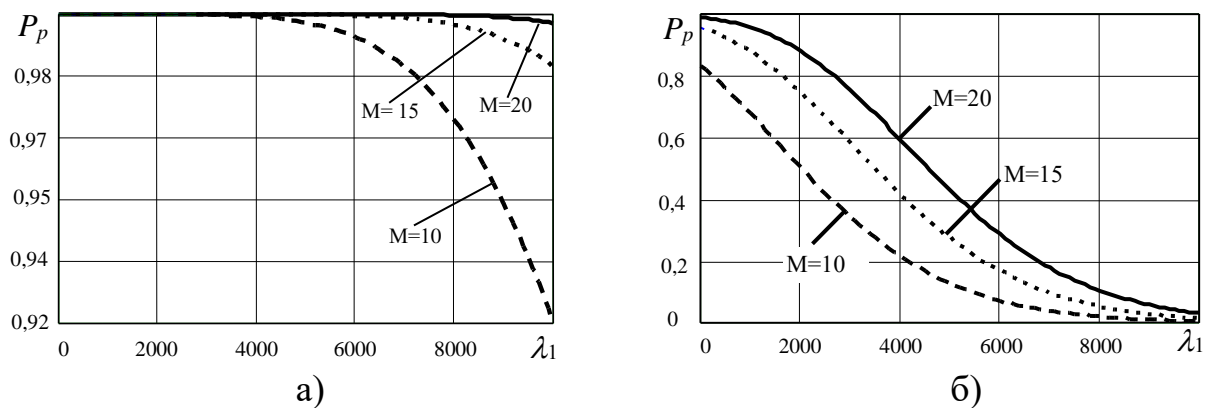


Рисунок 1.8 – Коефіцієнт готовності ЛВ у режимі передачі польотної інформації вторинних СС: а) Мк XII; б) «Пароль»

1.4.3. Аналіз енергетичної скритності вторинних радіолокаційних систем спостереження. Радіотехнічна розвідка сигналів вторинних РЛС проводиться з метою вирішення таких основних завдань [13,14]:

- виявлення за випромінюваними сигналами об'єктів, оснащених запитувачами або відповідачами вторинної РЛС, і визначення їх місцеположення (вирішення координатної задачі);
- імітація розвіданих діючих сигналів відповіді з метою видачі «чужого» об'єкту ідентифікації за «свій»;
- отримання некоординатної інформації (коди загального, індивідуальної ідентифікації) для класифікації об'єктів з відповідачами за різними ознаками (державна, національна, відомча належність, тип, ступінь погрози та ін.).

Під енергетичною скритністю розуміють здатність системи протидіяти виявленню сигналів, що використовуються. Відзначимо, що виявлення простих (імпульсних) сигналів не становить технічної проблеми. Виявлення складних сигналів можливе лише за умови відомої їхньої структури для побудови узгоджених фільтрів у приймальному пристрої розвідки. Відомим шляхами підвищення енергетичної прихованості засобів вторинних РЛС є зниження рівнів випромінюваних сигналів до мінімально необхідних та покращення просторової вибірковості антенних систем. Необхідною умовою енергетичної прихованості є структурна прихованість.

Кількісно енергетичну скритність будемо оцінювати дальністю виявлення ПО за сигналами відповіді.

Система РТР здатна виявити відповідач у разі виявлення одного, двох або трьох імпульсів коду відповіді. Ця можливість обумовлена незначним об'ємом використовуваних СВ та відсутністю їх структурної прихованості. Відома структура СВ дозволяє зацікавленій стороні здійснювати виявлення не тільки окремих імпульсів кодів відповіді, а й весь сигнал відповіді, шляхом використання, наприклад, багатоканальних виявлювачів.

Позначимо довжину електромагнітної хвилі (ЕМХ) λ , потужність передавача відповідача P , коефіцієнт підсилення антени відповідача G , ефективну площу приймальної антени системи РТР A , порогову чутливість приймача системи РТР $P_{np\ min}$. Відповідач збуджує в розкритті приймальної антени системи РТР, розташованої на відстані r від нього, щільність потоку потужності ЕМХ $S_{np} = PG/4\pi r^2$. Потужність сигналу на вході приймача становить (без урахування поляризаційних втрат)

$$P_{np} = S_{np}A = \frac{PGA}{4\pi r^2}. \quad (1.7)$$

Для виявлення СВ необхідно, щоб відношення сигнал/шум перевищувало пороговий рівень. Відношення сигнал-шум оцінимо за формулою

$$q = \sqrt{\frac{P_{np}}{N_0}}, \quad (1.8)$$

де $N_0 = kT(K_{ch} - 1)$ – спектральна щільність потужності шумів, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вм/(Гц·К) – стала Больцмана, K_{ch} – коефіцієнт шуму приймача, $T=290$ К – шумова температура приймача.

Дальність виявлення відповідачів з типовими характеристиками [17] системою РТР за n імпульсами коду відповіді, розрахована за формулами (1.7 та 1.8), наводиться на рис. 1.9 (для $F = 10^{-6}$).

Наведені розрахунки показують, що системи РТР здатні виявити ПО за сигналами відповіді відповідача на великій дальності. Наприклад, дальність виявлення відповідача з імовірністю $D = 0,5$ за одним імпульсом коду відповіді становить 470 км, що відповідає дальності прямої видимості об'єкту на висоті

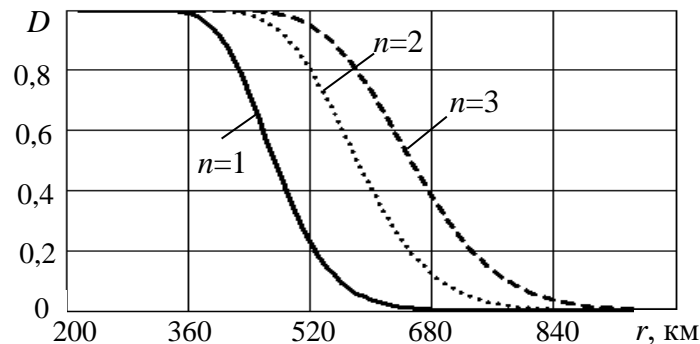


Рисунок 1.9 – Дальність виявлення ЛВ системою РТР

12,4 км при висоті підйому антени 10 м. Це означає, що зони виявлення відповідачів за СВ, як правило, обмежуються лише відстанню прямої видимості і перевищують зони виявлення первинних РЛС, а існуючі вторинної РЛС з активною відповіддю абсолютно позбавлені структурної та енергетичної прихованості.

Таким чином, вторинні РЛС, як складові інформаційної системи забезпечення контролю ПП, мають низьку завадостійкість та прихованість, що не може забезпечити потрібну якість ІЗ користувачів.

Наведене вище дозволяє якісно оцінити інформаційні характеристики РЛС котрі потрібні для формування первинного інформаційного пакету (табл.1.1).

Таблиця 1.1. Характеристики РЛС які формують первинний ІІ

Інформаційна система	Завадостійкість	Скритність	Можливість несанкціонованого використання
Первинна	задовільна	задовільна	немає
Вторинна	задовільна	відсутня	не обмежена
Ідентифікаційна	задовільна	відсутня	не обмежена

Можливість несанкціонованого використання є тільки у вторинних та ідентифікаційних РЛС. Дійсно існуючі вторинні РЛС, до яких відносяться і вторинні і ідентифікаційні, побудовані за однаковими принципами:

- несинхронної мережі;
- одноканальної системи масового обслуговування з відмовами.

Побудова ІС за такими принципами виключила як часові так і просторові різниці між корисними та імітованими сигналами. Ця особливість призводить до того, що зацікавлена сторона має можливість як несанкціоноване отримувати інформацію від ЛВ розглядаємих ІС, так і подавляти їх роботу імітованими сигналами потрібної інтенсивності.

Ця особливість ІС істотно знижує ефективність її використання, тому що зацікавлена сторона може паралізувати цю систему на значному видаленні за допомогою одного запитувача, що імітує СЗ необхідної інтенсивності.

Практика використання ІС знає немало випадків активної протидії їх функціонуванню, тому виникає необхідність в існуванні спеціальних засобів захисту від такої організованої протидії.

1.5. Аналіз літератури, присвячений підвищенню завадостійкості радіолокаційних систем спостереження. Постановка задач досліджень

Відомих наукових робіт, присвячених розгляду питань якості ІЗ користувачів системи КПП радіолокаційними системами недостатньо. Як правило роботи присвячені розгляду питань якості ІЗ окремо первинною чи вторинною РЛС. Так, наприклад, у роботах [31,32 та інші.] розглядаються структури ІЗ ко-

трі включають як первинні, вторинні та ідентифікаційні РЛС. Однак у всіх цих роботах розглядаються тільки питання якості ІЗ первинними РЛС.

До найбільш відомих наукових праць створення первинних РЛС з поліпшеними показниками якості можливо віднести роботи [30,75,81... та інші.]. Багато цих робіт спрямована на створення багатопозиційних первинних РЛС, що призведе до значного поліпшення якості ІЗ користувачів. Дійсно, реалізація багатопозиційного прийому сигналів призводить до значного підвищення завадостійкості первинних РЛС. Однак реалізація багатопозиційної побудови вторинних РЛС, на теперішній час, неможлива.

Питанням удосконалювання вторинних РЛС присвячене значне число публікацій, зокрема [11,12,17,79 та інші.]. При цьому слід зазначити, що відомі роботи присвячені оцінці впливу внутрісистемних завад на завадостійкість вторинних РЛС, що характерно для УПР. У роботах показано, що наявність внутрісистемних завад ускладнює роботу вторинних РЛС. Зупинимося на короткій характеристиці відомих робіт і публікацій.

Найбільше повно питанням завадостійкості вторинних РЛС присвячені роботи [29,71], у яких, на основі оцінки завадостійкості ЛВ, показано, що основним елементом, що знижує завадостійкість вторинних РЛС, є ЛВ. Розглянуто методи підвищення завадостійкості вторинних РЛС, що засновані на управлінні потоками СЗ [29], на зміні принципу побудови мережі вторинних РЛС [71], модернізації ЛВ, які дозволяють істотно підвищити завадостійкість вторинних РЛС. Однак у даних роботах більша увага приділена радіотехнічним системам ідентифікації державної приналежності.

У роботах [79] розглянуті методи вдосконалювання вторинних РЛС шляхом переходу до використання режиму S. Дійсно, ці методи дозволяють, за рахунок зниження інтенсивності внутрісистемних завад підвищити ймовірність отримання інформації на наземних пунктах за вторинною РЛС. Однак питання захисту ЛВ від НКЗ не піднімаються. При цьому необхідно відзначити, що в більшості відомих робіт, присвячених вторинним РЛС, розглядаються питання

окремих об'єктів і не в повній мірі розглянуті питання системної (на регіональному рівні) побудови зазначених систем.

Таким чином, пошук шляхів захисту вторинних РЛС від несанкціонованого використання являє собою актуальне завдання. Без її рішення неможливо стверджувати, що вторинні РЛС можуть виконувати свої функції за інформаційним забезпеченням користувачів в конфліктних ситуаціях, тобто мають достатню завадостійкість.

Таким чином, внаслідок існування стійкого підвищення щільності корельованих і некорельованих завад РЛС загострилася необхідність у захисті від впливу на ІЗ цих систем. Однак захист РЛС від НКЗ стримується недостатнім розвитком адекватних, придатних для практики шляхів і методів спадкоємного переходу до завадостійких РЛС. Викладене протиріччя є сутністю однієї з актуальних задач сучасних радіотехнічних систем, що припускає необхідність удосконалювання відомих і розробку нових способів і методів підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС.

Невирішеними завданнями залишаються:

1. Розробка та дослідження методів підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС ПП на основі удосконалення методів обробки інформації в умовах дії завад.
2. Реалізація сумісної обробки сигналів РЛС для підвищення якості виявлення та вимірювання координат ПО.
3. Реалізація сумісної оптимізації виявлення та оцінки місцеположення ПО при реалізації етапності обробки інформації у системах спостереження ПП.
4. Розробка та дослідження методів підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС на основі реалізації мережевої обробки інформації в умовах дії завад.

Висновки за розділом 1

1. Показано, що одним з основних принципів організації системи управління військ в сучасних військових конфліктах є створення єдиної системи ІЗ органів управління та військ за рахунок:

- використання комплексів засобів автоматизації в усіх ланках управління;
- сучасних засобів зв'язку і передачі даних, що дозволяють об'єднати комплекси засобів автоматизації розподілених пунктів управління між собою, із засобами розвідки, РЕБ і вогневого ураження з метою забезпечення узгодженої роботи органів управління в ході підготовки і ведення бойових дій;
- централізованого автоматизованого добування в реальному масштабі часу інформації від різних засобів розвідки і спостереження, обробки та оптимального її розподілу між засобами ураження.

2. Наведено тенденції розвитку і класифікацію систем ІЗ користувачів ПП та показано, що основним джерелом інформації про повітряну обстановку в системі контролю ПП є первинні та вторинні радіолокаційні системи.

3. Показано, що задачі обробки інформації РЛС ПП зумовили етапність обробки сигналів та даних РЛС. Однак етапність обробки сигналів та даних практично унеможливила сумісну оптимізацію як виявлення, так і оцінки місцеположення ПО.

4. Показано, що системи ідентифікації за ознакою «свій-чужий» є одним з основних джерел інформації в системі контролю ПП та їх інформація вкрай важлива для вирішення завдань, що стоять перед Повітряними Силами Збройних Сил України. Однак принципи побудови систем СІ, мереж СІ, відповідачів та запитувачів та особливості їх технічної реалізації апріорі зумовлюють низьку завадостійкість та енергетичну прихованість СІ.

5. Проведено аналіз сучасних джерел інформації у питаннях якості ІЗ на основі РЛС ПП та поставлено задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ СУМІСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Необхідною умовою успішного виконання завдань, що стоять перед повітряними силами (ПС) Збройних сил України (ЗСУ) й Управлінням повітряним рухом (УПР) України є наявність надійного ІЗ. Для зазначених відомств ІЗ полягає в одержанні споживачем координатної інформації спостережуваного ПО, додаткової ПП про його стан і параметри руху, а також інформації про державну приналежність ПО. Можливо стверджувати, що досить повну картину у системі контролю використання ПП дають сумісно первинні й вторинні РЛС. Однак використання автоматичного залежного спостереження, в окремих випадках, дозволяє значно підвищити якість ІЗ. Вторинні РЛС, у цей час, відносяться до одного з основних джерел отримання інформації про ПО для ПС ЗСУ й УПР України. Це обумовлено тим, що інформація, отримана від ЛВ ПО, є більше повною й достовірною в порівнянні з інформацією, витягнутою з відбитого сигналу при роботі первинних РЛС [29]. Однак, існуючі вторинні РЛС мають ряд специфічних особливостей побудови й функціонування, які не дозволяють віднести ці системи до завадостійких систем [29].

Розгляду питань структури та показників якості ІЗ користувачів ПП, місця традиційних та новітніх РЛС у цієї структури, а також особливостей застосування окремих РЛС для рішення завдань ПС ЗСУ й УПР України й присвячений даний розділ.

2.1. Інформаційна модель спостереження повітряного простору

Управління різноманітними технологічними процесами в наш час базується на використанні інформаційних систем, до яких відносяться джерела інформації, засоби її передачі, обробки, відображення, зберігання, загальне та спеціальне програмне забезпечення. У всіх інформаційних технологічних процесах, а

також процесах управління, важливу роль відіграють люди. Людина приймає безпосередню участь у розробці, виробництві та експлуатації інформаційних систем. Технологічний процес системи КПП неможливий без участі людини, за якою залишається найбільш відповідальний процес - прийняття рішень.

Інформаційне забезпечення системи КПП здійснюється різноманітними РЛС. Процес збирання та обробки інформації з роками все в більшій мірі автоматизуються. Використовується велика кількість різноманітних технічних та програмно-технічних засобів. Впроваджуються автоматизовані системи підтримки прийняття рішень.

Вся перелічена та інша інформація отримується від вищезазначених джерел обробляється, передається за каналами зв'язку та відображається у необхідному вигляді або зберігається.

Ефективне виконання усіх призначених системі контролю ПП функцій залежить від ефективності протікання в ній інформаційних процесів та міри їх захищеності.

Розглянемо інформаційну модель спостереження ПП.

Спостереження визначається як спосіб своєчасного виявлення ПО та визначення їхнього місцезнаходження (а за потреби й отримання додаткової інформації, що стосується ПО) і своєчасного надання цієї інформації користувачам, щоб забезпечити підтримку безпечного управління, виходячи з визначеної сфери інтересів. У більшості випадків РЛС дає користувачеві інформацію про те, «хто» знаходиться «де» і «коли». Можуть також представлятися дані про горизонтальною і вертикальною швидкості. Необхідні дані і параметри технічних характеристик залежать від конкретних видів застосування.

Фундаментальні міркування щодо деталізації спостереження витікають з потреби задовольнити таку сукупність основних вимог:

- отримання інформації від ПО (збір даних);
- передавання інформації ПО (надсилання запитів по інформацію або доставки на борт ПО інформації, що була створена на землі);

- оброблення інформації від ПО, розповсюдження та організація запитів на обслуговування на рівні підсистеми локального спостереження;
- оброблення інформації від ПО, розповсюдження та організація запитів на обслуговування на регіональному рівні.

Виходячи з вищезазначеного інформаційну модель спостереження ППІ можливо зобразити в вигляді наведеному на рис. 2.1 [23]. Вона відображає взаємодію інфраструктури обміну даними спостереження з модулями наземних приймальних та передавальних частин РЛС.

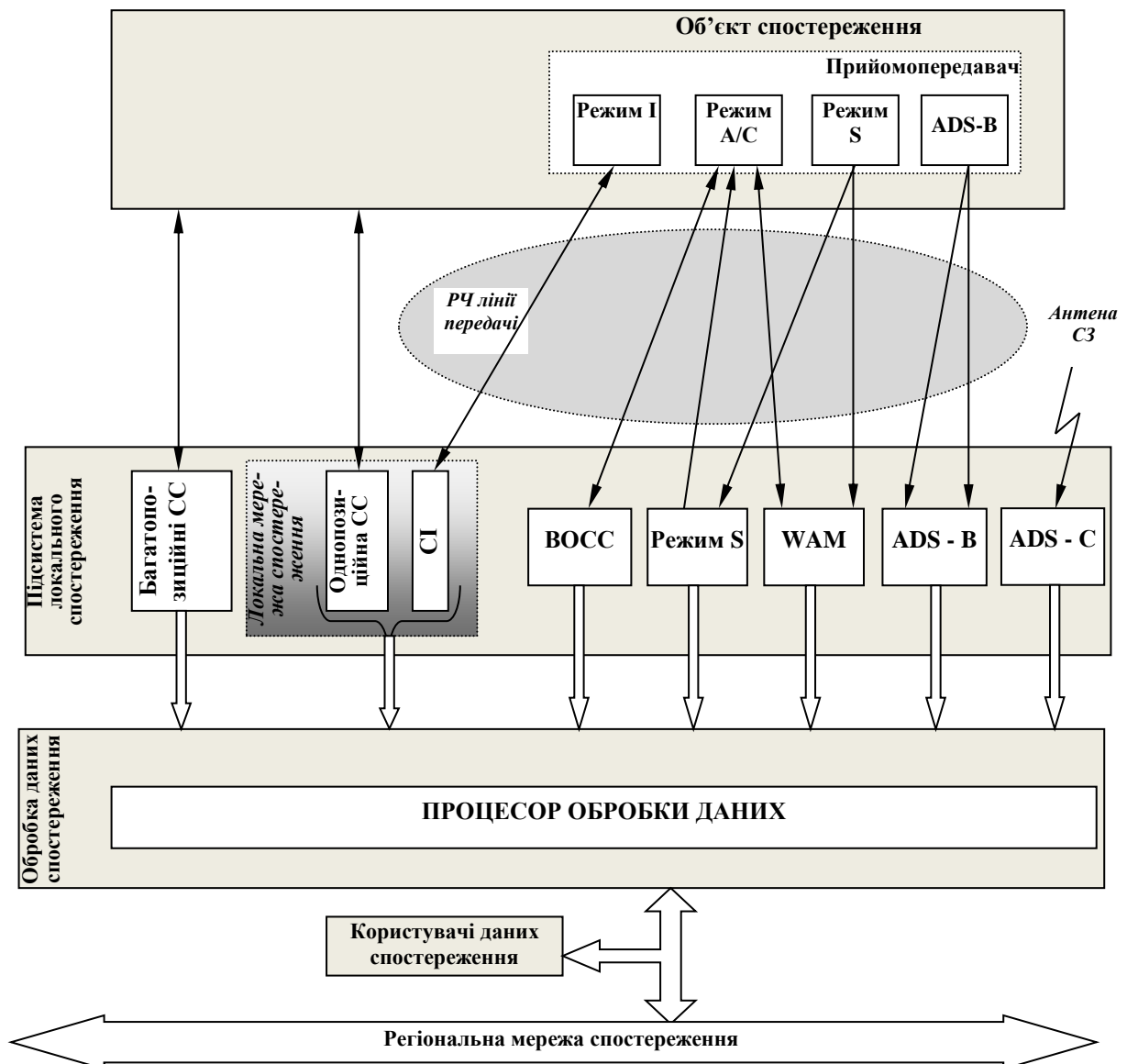


Рисунок 2.1 – Інформаційна модель спостереження повітряного простору

Головним об'єктом спостереження є ПО та її такі атрибути: чотиривимірне місцезнаходження ПО, тип ПО, ідентифікація ПО та інші атрибути, що вважаються операційно суттєвими. Все це входить до складу картини ППІ.

Користувачам надаватиметься повний або обмежений доступ до даних спостереження.

На інфраструктуру спостереження можуть впливати численні фактори, такі як завади (навмисні та ненавмисні) та інші.

Основою ІЗ контролю ПП є первинна РЛС. Ця система дозволяє визначати координати ПО котрі є порушниками ПП або літакові відповідачі якого не відповідають. Як правило ця система працює сумісно з системою ідентифікації (СІ) за ознакою «свій-чужий». Ці дві РЛС на інформаційному рівні об'єднуються у локальну інформаційну мережу спостереження з поєднанням інформації на координатному рівні. Також знаходять застосування активно-пасивні багатопозиційні РЛС які використовують як свій зондуєчий сигнал, так і сигнали випромінені ПО.

При роботі з ПО інфраструктурою в одному напрямку передаються дані від вторинних оглядових РЛС (ВОРЛС), систем режиму S, широкозонного багатопозиційного спостереження (WAM) і радіомовного залежного автоматичного спостереження (ADS-B), а у зворотному напрямку - дані до служб інформації повітряного руху (TIS-B) після їх наземної компіляції. Крім всього інформаційні дані (ІД) можуть поступати з використанням супутникових каналів передачі інформації (ADS-C).

Потоки інформації РЛС поділяються на первинні (первинна обробка інформації РЛС) та поліпшені, тобто карта повітряній обстановки (дані, що продукуються процесором обробки даних, тобто вторинна та третинна обробка інформації РЛС). Слід зазначити, що у РЛС, як правило, знаходиться сигнальний процесор котрий виконує всі процедури обробки сигналів. Інформація з РЛС поступає в процесор обробки даних у котрому виконуються наступні операції обробки інформації. Інформація з процесора обробки даних у вигляді формуляру ПО передається користувачам інформації з використанням інформаційно-комунікаційної мережі.

При цьому слід зазначити, що формуляр ПО повинен включати:

- місцеположення (поточний вектор стану та матрицю точності);

- польотну інформацію (ПІ);
- ідентифікацію за ознакою «свій-чужий»;
- час отримання інформації.

Математично можливо записати, що формуляр ПО має вигляд:

$$\widehat{W}_p, \vec{C}_p^{-1}, PI \text{ «свій - чужий»}, T_i, \quad (2.1)$$

де: \widehat{W}_p - поточний вектор стану ПО, \vec{C}_p^{-1} - кореляційна матриця помилок виміру вектору стану.

Таким чином, сучасні РЛС складаються з численних користувачів (джерел і споживачів) даних спостереження (ДС) як на рівні окремої системи, так і на рівні взаємообмінів між системами. Це неминуче збільшує впровадження мереж як транспортного середовища для розповсюдження ДС, що дозволяє спільно використовувати дані та ресурси у глобальному масштабі.

Для забезпечення захисту системи розповсюдження ДС, яка має гарантувати ефективний і надійний обмін даними спостереження, найважливішим стало дослідження загроз для системи розповсюдження ДС як сукупності умов та факторів, що можуть призвести до порушення цілісності, доступності та конфіденційності інформації.

Інформаційні дані, отримані від РЛС, є, по суті, нестійкими, тобто вони мають значення лише за умови вчасного надходження їх до місця обробки. Це дозволяє запропонувати наступні вимоги до передачі даних, які розподіляються в порядку зменшення пріоритетів:

1. обмежений час затримки передавання ІД (передавання у реальному часі);
2. передавання без викривлення даних;
3. передавання без втрати даних.

Суттєвою вимогою до характеристик РЛС є мінімізація часу затримки, пов'язаної з транспортуванням даних. З огляду на те, що оперативна цінність даних є вельми залежною від часу, затримка від виявлення ПО і до відображення

інформації про її місцезнаходження на відеотерміналі є ключовим параметром продуктивності системи.

Затримка є прийнятною, звичайно, якщо вважається, що усі ІД у межах системи супроводжуються часовими мітками. По суті, для систем оброблення радіолокаційних даних краще приймати з певною затримкою радіолокаційні площини, що містять точну часову мітку, ніж швидко отримувати радіолокаційні площини з невизначеною часовою міткою.

Щоб мати можливість ототожнювати повідомлення, які ідентифікують один й той ж ПО, але надходять до відповідного вузла різними маршрутами, а отже у різні моменти часу, потрібна розвинена система управління у часі. Крім того, потрібна точна синхронізація, бо всі дані реєструються з юридичних причин і час в цьому контексті полегшує стеження логічних причинно-наслідкових стосунків.

Головними цілями обміну даними спостереження (ОДС) є транспортування даних спостереження від джерела до визначених споживачів за допомогою відповідної інфраструктури зв'язку на основі мереж.

Основним питанням наразі є забезпечення багатоадресного (групового) розповсюдження ІД від одного джерела поміж декількома споживачами. Таким чином, групове розповсюдження та маршрутизація є обов'язковими базовими функціями ОДС.

Під час ОДС можуть виконуватися й такі додаткові функції:

- збір даних від різноманітних (наземних і повітряних) джерел;
- локальне і глобальне розповсюдження даних спостереження (РДС);
- перевірка дійсності інформації, що надійшла;
- зміна маршрутизації;
- перетворення форматів даних прикладних протоколів;
- перетворення ДС (залежно від кінцевих систем, застосування та очікуваного рівня якості обслуговування);
- перетворення систем координат;
- підтримка декількох систем визначення часу;

- забезпечення здатності до швидкого відновлення;
- забезпечення функціональних можливостей системного управління (включно з управлінням мережним навантаженням);
- накопичення статистичних даних (може здійснюватися поза розповсюдження даних спостереження (РДС) та інших функцій);
- транспортування даних системного управління та контролю.

Все це дозволяє сформулювати вимоги до інформаційної мережі РЛС:

- мережа повинна підтримувати передавання інформаційних потоків з потрібною якістю;
- мережа повинна підтримувати усі потрібні функціональні можливості;
- мережа нейтралізації несправностей повинна забезпечувати резервованість, а також розмаїття засобів.

Якісні вимоги до мережі ОДС передбачають:

- безпечну, надійну та вчасну доставку ДС;
- безпечну та надійну доставку даних контролю та управління;
- безперервну готовність;
- мінімальні взаємні впливи між вузлами мережі.

Слід зазначити що сучасний стан розвитку інфраструктури зв'язку у РЛС характеризується все більшим використанням розвинених мережних технологій для цілей розповсюдження даних спостереження.

Розвиток систем контролю ПП характеризується:

- високим рівнем автоматизації процесів;
- глибокою інтеграцією ІТ-додатків;
- збільшенням складності ІТ-продуктів;
- зростанням обсягів їх упровадження в систему.

Наведена інформаційна модель спостереження показує, що в системі КПП широке застосування знаходить вторинні РЛС. Вони використовуються як при ідентифікації ПО, так і при передачі ПІ з борту ПО на пункти управління.

2.2. Інформаційна модель радіолокаційної системи спостереження повітряного простору

РЛС є основним джерелом інформації для системи КПП. Система спостереження представляє дані виявлення ПО, визначення їх координат, оцінку параметрів руху та класифікацію за державною належністю. Тобто у більшості випадків РЛС дає користувачеві інформацію про те, «хто» знаходиться «де» і «коли». Можуть також представлятися дані про горизонтальну і вертикальну швидкості, що ідентифікують характеристики чи наміри. Необхідні дані і параметри технічних характеристик залежать від конкретних видів застосування. Мінімальним критерієм системи спостереження є надання інформації про ПО у встановлений час.

Система спостереження складається з кількох елементів, використання яких визначається вимогами до конкретних видів застосування. Ні види застосування, ні кінцеві користувачі не є частиною системи спостереження.

Інформаційною основою системи КПП є РЛС у складі первинної РЛС, котра визначає просторові координати ПО тобто відповідає на запитанні «де», та вторинної РЛС котра ідентифікує ПО за ознакою «свій-чужий» тобто відповідає на запитанні «хто». При цьому слід зазначити, що споживачеві, як правило, потрібні три просторові координати ПО. Типова інформаційна модель системи такої сумісної РЛС, котра включає дві локальні та одну дистанційну підсистеми спостереження (ПС) і процесор обробки інформації, показана на рис. 2.2 [70]. Межею РЛС є прикладний інтерфейс, тобто точка, в якій РЛС надає інформацію спостереження для використання і в якій оцінюється робота системи.

Вимоги до технічних характеристик повинні бути незалежними від технології та архітектури, що використовуються в РЛС, яка підтримує конкретний вид обслуговування

Як правило, для характеристик РЛС використовується набір критеріїв якості, таких як ймовірність виявлення, точність, частота оновлення, цілісність і готовність. Такі характеристики мають такі недоліки:

- перераховані критерії, як правило, орієнтовані на датчики інформації. Наприклад, параметр точності, виражений в полярній системі координат (дальність і азимут), є логічним для радіолокатора, але не обов'язково для інших методів спостереження;
- деякі вимоги, як видається, орієнтовані тільки на використання передових технологій (наприклад, точність в 15 м, встановлена для сучасних радіолокаторів режиму S);
- деякі базові вимоги можуть бути опущені, так як вони ставляться тільки до однієї конкретної технології.

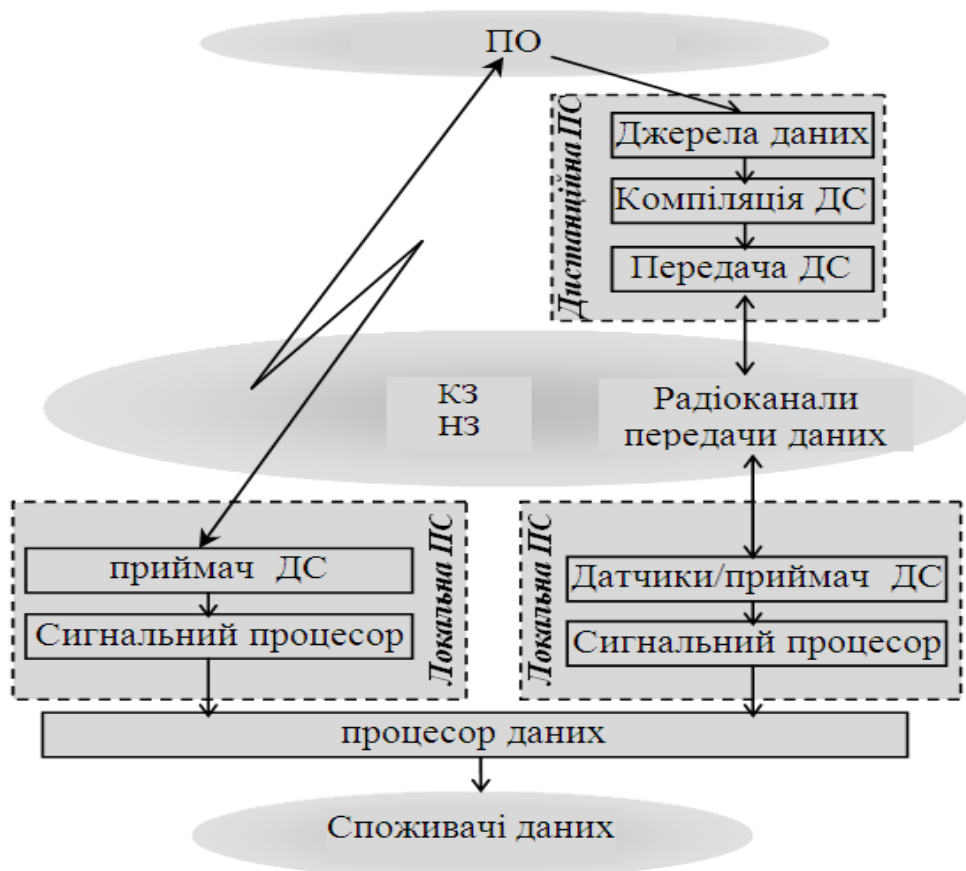


Рисунок 2.2 – Інформаційна модель системи спостереження

У цьому зв'язку представляється необхідним визначити об'єктивні вимоги до характеристик, які були б застосовні до РЛС, що використовують різні методи або їх комбінації для підтримки різних видів застосування. Слід також враховувати розробку нових видів застосування, для яких можуть знадобитися спеціальні характеристики. Крім того, деякі з цих нових видів застосування можуть вводити додаткові вимоги до бортового елемента РЛС, у зв'язку з чим

бажано виробити загальний підхід до визначення характеристик спостереження. Найважливішою функцією системи спостереження є точна оцінка місця розташування та ідентифікація ПО в даний момент часу.

Дані про прогнозоване місцезнаходження повинно оновлюватися з частотою, сумірною з передбачуваним видом застосування.

Залежно від виду застосування та умов експлуатації можуть виникати й інші вимоги, наприклад, необхідність даних про швидкість ПО. Основними елементами характеристик є тип даних спостереження і їх якість. Як правило, формат представлення даних користувачеві не входить до числа технічних вимог до характеристик системи спостереження.

2.3. Структура та показники якості обробки інформації радіолокаційних систем спостереження

Структуру ІЗ користувачів на базі сумісної РЛС, яка включає первинну, вторинну та ідентифікаційну РЛС при виконанні задач первинної обробки інформації можливо зобразити у вигляді, який показано на рис. 2.3. На входи структури поступають відфільтровані сигнали $y_1(t)$, $y_2(t)$ та $y_3(t)$ відповідно первинної, вторинної та ідентифікаційної РЛС.

Структура містить виявлювачі сигналів (сигналів відповіді (СВ)), з виходу якого знімається послідовність випадкових нулів і одиниць x_i . Таким чином, виявлення сигналу здійснюється за необхідними показниками якості, тобто F_{0i} , D_{0i} .

Послідовність нулів і одиниць з виходу виявлювачів сигналу проходить часову дискретизацію і поступає далі на входи виявлювачів і вимірювачів координат ПО. Завдання виявлювача ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць вирішити оптимальним чином, чи являє собою прийнята вибірка пачку сигналів або вона відноситься до завади.

Для вирішення сформульованого завдання виявлювач ПО має обробляти сигнали, що надходять, відповідно до деякого алгоритму. Алгоритм виявлення ПО зводиться до перевірки гіпотези H_0 про відсутність ПО проти альтернатив-

ної гіпотези H_1 про її наявність, тобто до утворення співвідношення правдоподібності й порівняння цього відношення з якимось наперед заданим числом, яке обирається, виходячи з припустимої ймовірності хибного виявлення. Рішення про виявлення об'єкту з показниками якості F_{1i} і D_{1i} надходить на вимірювач координат ПО. Оцінка координат миттєвого положення ПО робиться одночасно з виявленням ПО. Завдання вимірювача координат ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць оцінити оптимальним чином координати ПО.

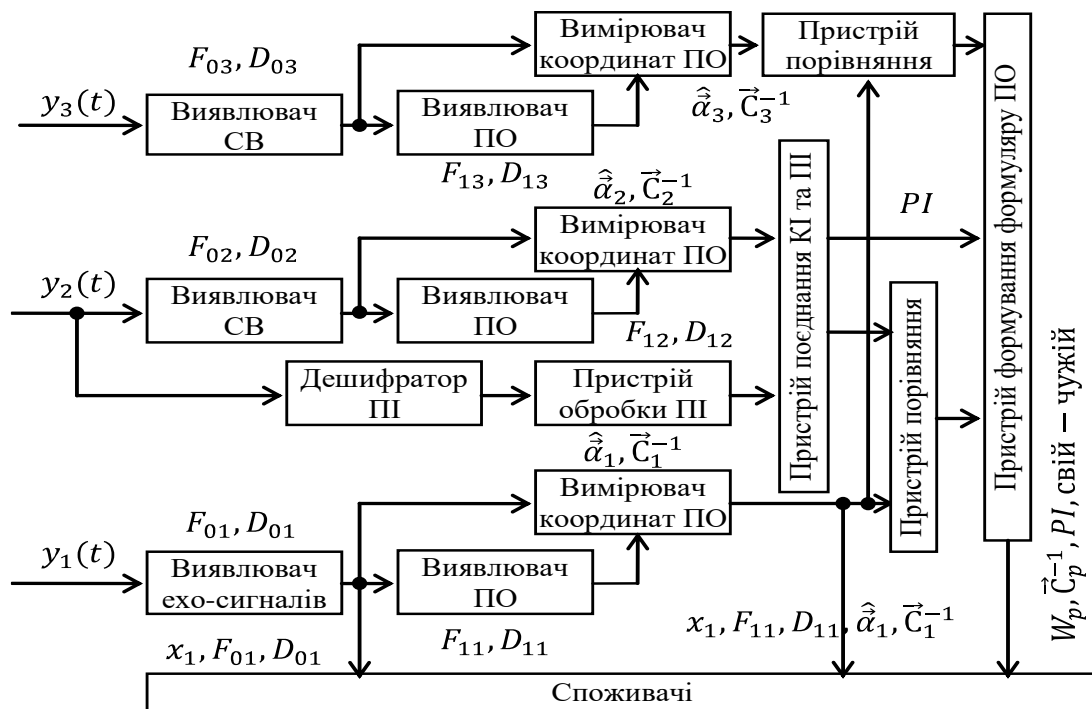


Рисунок 2.3 – Структура обробки радіолокаційної інформації

Таким чином, при формуванні сигналу про виявлення ПО з виходу вимірювача координат ПО кожного каналу сумісної РЛС видається оцінка вектору вимірювання координат $\hat{\alpha}_i$, що характеризується кореляційною матрицею похибок \hat{C}_p^{-1} .

Закінчується ПОІ (первинна обробка інформації) формуванням формуляру ПО, який включає:

$$\hat{W}_p, \hat{C}_p^{-1}, PI, \text{свій-чужий}, T_i.$$

При цьому слід зазначити, що поточний вектор стану ПО \widehat{W}_p з відповідною матрицею точності \vec{C}_p складений на основі виміру координат ПО первинною РЛС та містить просторові координати ПО. Швидкість руху ПО, як правило, не оцінюється за результатом обробки сигналів, що приймаються. Однак слід зазначити, що за ПО з ознакою «свій» швидкість може бути отримана за вторинною РЛС та наявністю потрібного літакового відповідача.

Проміжні результати обробки сигналів сумісної РЛС, як показано на рис. 2.3, передаються споживачу для реалізації мережевої обробки інформації РЛС з поєднанням інформації на різних рівнях. Інформація яка передається споживачам після первинної обробки і у подальшому повинна містити час її отримання $\{T_{ik}(t)\}$. Це суттєвим чином дозволяє спростити процедури поєднання інформації.

Інтегральним показником якості ІЗ при використанні ІТ може бути ймовірність ІЗ, яка визначається ймовірністю показників, що входять до складу формуляру ПО.

Для ПОІ частковими показниками якості ІЗ можуть бути ймовірності правильного виявлення ПО кожним каналом сумісної РЛС $P_i = D_{1i}$, які є функціями

$$D_{1i} = f(D_{0i}, F_{0i}, k_i, P_0) = f(q_{0i}, z_{0i}, k_i, P_0), \quad (2.2)$$

де z_0 (k_i) – аналоговий (цифровий) поріг виявлення сигналу (ПО), P_0 – КГ ЛВ, що є характерним для вторинної та ідентифікаційної РЛС.

При порівнянні та поєднанні інформації, що потрібно для автоматичного складання формуляру ПО, критерієм є якість виміру місцеположення ПО, через ймовірності цих дій, до яких належать:

- ймовірність втрат правильної ПІ;
- ймовірність спотворення ПІ;
- ймовірність об'єднання КІ і ПІ вторинної РЛС;
- ймовірність порівняння КІ первинної та ідентифікаційної РЛС;
- ймовірність об'єднання КІ і ПІ у сумісної РЛС.

Коротко розглянемо наведені ймовірності.

При обробці ПІ схемою за критерієм k/m є ймовірність втрат правильної польотної інформації у пристрої обробки

$$P_{vtr} = 1 - P_{p.i}^k,$$

де $P_{p.i}$ - ймовірність видачі ПІ з виходу вторинної РЛС у перших m інформаційних відповідях.

При використанні у пристрої обробки схем підтвердження ПІ за критерієм k/m ймовірність спотворення польотної інформації складе:

$$P_{ick.p.i} = \sum_{i=k}^m C_m^i P_{ick}^i (1 - P_{ick})^{m-i},$$

де P_{isk} - ймовірність видачі вторинною РЛС хибної ПІ.

ПІ вторинних РЛС може надходити з деяким запізнюванням відносно КІ. Тоді номер дискрети приходу ПІ:

$$N'_d = N_d + T(KI) / r_d,$$

де N_d - номер дискрети приходу координатної інформації; $T(KI)$ - запізнювання для вторинної РЛС, відповідне коду КІ; r_d - ціна дискрети дальності.

Практично ймовірність об'єднання координатної і польотної інформації складе:

$$P_{okp} = (1 - P_{vtr.p.i})(1 - P_{ick.p.i}) P \left\{ \begin{matrix} + N'_o \\ - N'_o \end{matrix} \right\},$$

де $P \left\{ \begin{matrix} + N'_o \\ - N'_o \end{matrix} \right\}$ - умовна ймовірність приходу ПІ у стробі від $+ N'_o$ до $- N'_o$ відносно КІ ПО.

Алгоритм об'єднання інформації в пристрої обробки побудований так, що одиночні відмітки каналів сумісної РЛС об'єднуються, якщо азимутний кут між центрами пакетів не перевищує $\Delta\beta$, а різниця їх дальностей Δr .

За умови, що відхилення центрів пакетів у первинному і вторинному каналах сумісної РЛС незалежні і підкоряються нормальному розподілу, імовірність об'єднання пакетів можна визначити з наступного співвідношення:

$$P_{poe} = \frac{1}{4} \left[1 + \Phi \left(\frac{\Delta\beta}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{\beta 1}^2 + \sigma_{\beta 2}^2}} \right) \right] \left[1 + \Phi \left(\frac{\Delta r}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{r 1}^2 + \sigma_{r 2}^2}} \right) \right],$$

де $\sigma_{\beta 1}, \sigma_{\beta 2}; (\sigma_{r 1}, \sigma_{r 2})$ - середньоквадратичні відхилення азимутів (дальностей) центрів пакетів первинного та вторинних каналів сумісної РЛС.

Таким чином, для ПОІ інтегральним показником якості ІЗ користувачів може бути імовірність ІЗ, яка для структури, зображеній на рис. 2.3, може мати наступний вигляд:

$$P_{inf} = D_{11} D_{12} D_{13} P_{окр} P_{poe1} P_{poe2}. \quad (2.3)$$

Таким чином використання запропонованого ППЯ дозволяє об'єднати критерії ефективності обробки як сигналів, так і даних РЛС на основі порогу виявлення сигналів, тобто величина аналогового порогу може бути використана у якості параметру при сумісній оптимізації характеристик первинної, вторинної та третинної обробки.

Наведена структура та запропонований інтегральний показник якості ІЗ споживачів дозволяє проводити оптимізацію характеристик етапів обробки інформації РЛС ПП при широкому застосуванні ІТ та здійснювати розподілену обробку потрібної інформації окремих РЛС користувачами.

2.4. Оцінка якості обробки інформації радіолокаційними системами спостереження повітряного простору

Оцінку якості ІЗ користувачів проведемо на основі сумісної РЛС ПП у складі первинної, вторинної та ідентифікаційної РЛС.

Будемо враховувати, що відношення сигнал/шум для первинної РЛС менше у k разів у порівнянні з вторинними.

Оцінімо вплив КГ ЛВ вторинних РЛС на імовірність ІЗ користувачів системи контролю ПП. Для цього скористуємося виразом (2.3) з урахуванням імовірності виявлення та точності вимірювання координат ПО вторинною РЛС наведеними вище.

На рис. 2.4 - 2.6 наведено вплив відношення с/ш (q) на якість ІЗ при різних коефіцієнтах готовності (P_0) літакових відповідачів вторинної РЛС.

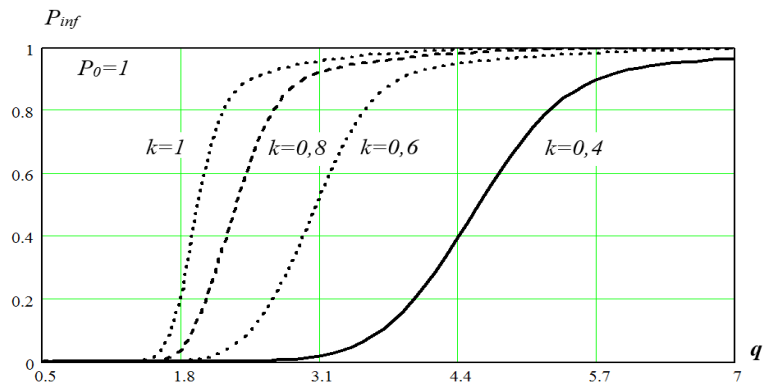


Рисунок 2.4 – Залежність $P_{inf} = f(q, P_0, k)$

Наведені залежності показують суттєвий вплив КГ ЛВ та відношення сигнал/шум на якість ІЗ користувачів сумісною РЛС.

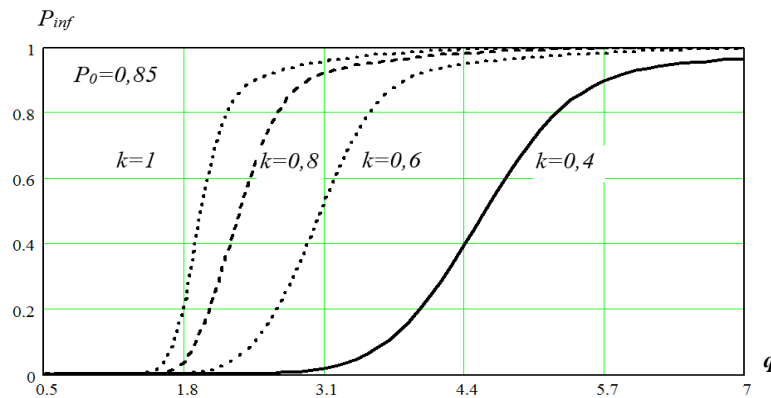


Рисунок 2.5 – Залежність $P_{inf} = f(q, P_0, k)$

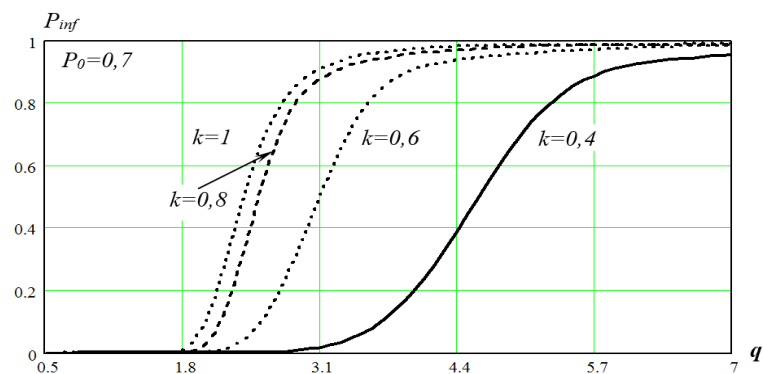


Рисунок 2.6 – Залежність $P_{inf} = f(q, P_0, k)$

Наведені розрахунки дозволяють оцінити вплив зазначених параметрів СС на якість інформаційного забезпечення.

2.5. Синтез структури виявлювача сигналів у сумісних радіолокаційних системах спостереження повітряного простору

Як показано вище одним з методів підвищення якості ІЗ є оптимізація сумісної обробки сигналів первинних та вторинних РЛС. Дійсно сучасна побудова РЛС передбачаю сумісну роботу первинних та вторинних РЛС, що може бути використання для підвищення якості ІЗ споживачів.

У цей час в існуючих системах спостереження споживачам видається оцінка вектору виміру $\hat{\alpha}$, що характеризується кореляційною матрицею помилок \vec{C}^{-1} , отриманою за результатами виміру первинної РЛС. Інформація вторинних РЛС використовується для одержання бортової інформації від ПО, яка також передається споживачеві. При цьому слід зазначити, що для об'єднання оцінки вектору вимірів ПО, отриманої по первинній РЛС, і польотної інформації, отриманої вторинними РЛС, на вторинних РЛС здійснюються всі ті процедури виявлення й виміру, що й на первинній РЛС. Ця обставина може бути врахована при обробці інформації, що дозволить підвищити якість інформації, видаваної споживачам. Покажемо це.

Структуру первинної обробки інформації в сумісних РЛС можна подати у вигляді, показаному на рис. 2.7 [43,47]. Вона є двоканальною й формує об'єднану інформацію споживачам на основі вагового об'єднання результатів каналного виявлення й оцінок векторів каналних вимірів ПО з одночасним включенням до складу інформаційного блоку й польотної інформації, отриманої по каналах вторинних РЛС.

Отримані в кожному з каналів оцінки векторів виміру, разом з кореляційними матрицями помилок виміру надходять на пристрій об'єднання оцінок. В пристрої об'єднання оцінок, на основі аналізу оцінок векторів виміру що надходять й кореляційних матриць помилок виміру обчислюється оцінка резуль-

туючого вектору вимірів і результуюча кореляційна матриця помилок. Результуючий вектор виміру $\hat{\vec{\alpha}}_p$, разом з результуючою кореляційною матрицею помилок \vec{C}_p^{-1} , видаються споживачам.

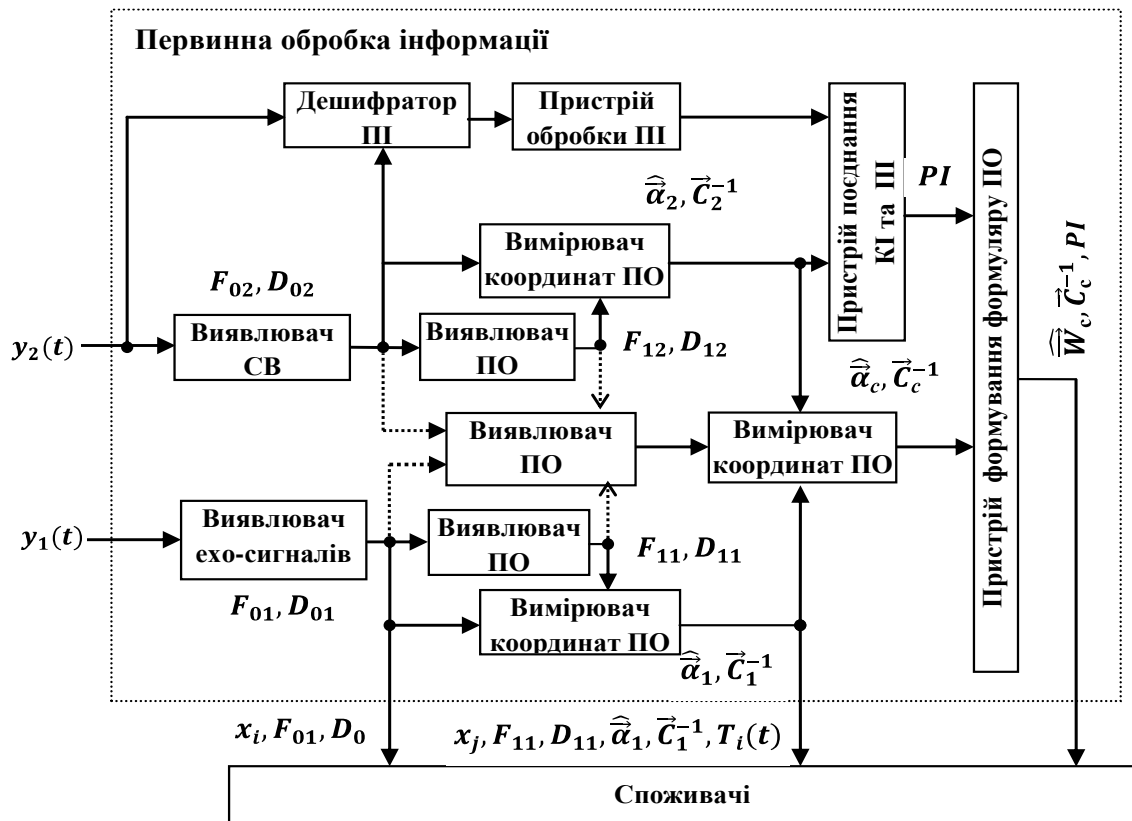


Рисунок 2.7 – Структура ІЗ сумісними РЛС

Якщо припустимо, що одночасно виробляється оцінка вектору виміру $\vec{\alpha}$ в M каналах обробки і якщо задатися нормальним законом розподілу кожної зі складових вектору $\vec{\alpha}$, а також урахувати некорельованість вимірів у каналах обробки, то логарифм відносини правдоподібності з точністю до постійної величини можна записати як

$$\ln l = \sum_{k=1}^M \left[-\frac{1}{2} (\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}}_k)^T \vec{C}_k (\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}}_k) \right],$$

де $\hat{\vec{\alpha}}_k$ і \vec{C}_k - оцінки й матриці точності оцінювання по сигналах кожного каналу РЛС.

Легко показати, що вищезазначений вираз з точністю до постійної величини приводиться до виду

$$\ln l = -\frac{1}{2}(\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}}_p)^T \vec{C}_p (\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}}_p),$$

де $\hat{\vec{\alpha}}_p$ - результуюча оцінка, \vec{C}_p - результуюча матриця точності, які можна визначити з наступних виразів

$$\hat{\vec{\alpha}}_p = \vec{C}_p^{-1} \sum_{k=1}^M \vec{C}_k \hat{\vec{\alpha}}_k, \quad \vec{C}_p = \sum_{k=1}^M \vec{C}_k.$$

Таким чином, на підставі наведених виразів можлива оцінка результуючого вектору виміру й результуючої матриці точності, а, отже і результуючої кореляційної матриці помилок виміру при спільному використанні результатів виміру каналів сумісної РЛС.

Синтезуємо структуру оптимального виявлювача ПО при розподіленій обробці інформації на рівні сигналів в мережі сумісних РЛС, що складаються з первинних і вторинних РЛС, тобто будемо вважати, що мається R РЛС, що складаються з k первинних, і $R - k$ вторинних. У кожній з РЛС здійснюється виявлення сигналів, результати яких з показниками якості виявлення передаються споживачеві.

У кожній з РЛС сигнали, що приймаються після оптимальної лінійної обробки та детектування порівнюються в порогових пристроях (ПП) з порогом. Після ПП на подальшу обробку надходить матриця реалізація $\vec{X} = \|x_{in}\|$, де $x_{in} = 1$, коли в елементі часового дозволу $[i = \overline{1, M}, n = \overline{1, N},]$ відповідному аналізованому просторовому дозволу, відбулося перевищення порогу; коли ж не відбулося - $x_{in} = 0$, N - число сигналів в пачці.

Для прийняття рішення про виявлення ПО сумісної обробці піддається сукупність нулів і одиниць x_{in} .

При такій постановці, очевидно, що x_{in} - випадкова величина, що підкоряється розподілу Бернуллі

$$P(x_{in}) = P_{in}^{x_{in}} (1 - P_{in})^{1-x_{in}}, \quad (2.4)$$

де P_{in} - ймовірність перевищення порога в (in) -ом каналі обробки. У відсутності сигналу $P_{in} = F_{in}$ - ймовірність хибної тривоги, а при впливі сигналу $P_{in} = D_{in}$ - ймовірність виявлення сигналу.

Задачу оптимальної обробки сигналів у розглянутій ІМ можна розглядати в різних постановках. У нашому випадку розглянемо задачу оптимальної обробки сигналів в «вузької» постановці, яка полягає в тому, що показники якості виявлення в каналах обробки задані (хоча і довільні).

Припустимо, що на вхід пристрою сумісної обробки прийнятих сигналів надходить сукупність випадкових величин x_{in} . Спільні розподіли ймовірностей всіх можливих комбінацій x_{in} , як у відсутність, так і за наявності сигналу (гіпотези H_0 і H_1), тобто $P(x_{in}|H_0)$ і $P(x_{in}|H_1)$, довільні, але відомі.

Для кожної конкретної сукупності x_{in} сформуємо відношення правдоподібності

$$\Lambda = \frac{P(x_{in}|H_1)}{P(x_{in}|H_0)}. \quad (2.5)$$

Порівняння Λ з порогом, визначеним за допустимої ймовірності хибної тривоги, забезпечує оптимальне за критерієм Неймана-Пірсона рішення про наявність або відсутність сигналу.

Через незалежності шумів в різних каналах обробки можна записати

$$P(x_{11}, \dots, x_{in}|H_0) = \prod_{i,n=1}^R P(x_{in}|H_0) = \prod_{i,n=1}^R F_{in}^{x_{in}} (1 - F_{in}^{x_{in}})^{1-x_{in}}. \quad (2.6)$$

З урахуванням розбиття джерел інформації (3.1) можна записати як

$$P(x_{11}, \dots, x_{in}|H_0) = \prod_{i,n=1}^k F_{in}^{x_{in}} (1 - F_{in}^{x_{in}})^{1-x_{in}} \prod_{i,n=1}^{R-k} F_{in}^{x_{in}} (1 - F_{in}^{x_{in}})^{1-x_{in}}. \quad (2.7)$$

Легко бачити, що при дії сигналу, перевищення порогів в різних каналах обробки незалежні події. У цьому випадку і з урахуванням розбиття каналів обробки можна записати

$$P(\vec{X}|H_1) = \prod_{i=1, n=1}^{R,N} P(x_{in}|H_1) = \prod_{i=1, n=1}^{k,N} D_{in}^{x_{in}} (1 - D_{in})^{1-x_{in}} \prod_{j=1, n=1}^{R-k, N} P_{0j} D_{jn}^{x_{jn}} (1 - P_{0j} D_{jn})^{1-x_{jn}}. \quad (2.8)$$

Тоді (2.5), з урахуванням (2.7) і (2.8), можна записати як

$$\Lambda = \prod_{i=1}^R \frac{D_i^{x_i} (1 - D_i)^{1-x_i}}{F_i^{x_i} (1 - F_i)^{1-x_i}} = \prod_{i=1}^k \frac{D_i^{x_i} (1 - D_i)^{1-x_i}}{F_i^{x_i} (1 - F_i)^{1-x_i}} \prod_{j=1}^{R-k} \frac{P_{0j} D_j^{x_j} (1 - P_{0j} D_j)^{1-x_j}}{F_j^{x_j} (1 - F_j)^{1-x_j}}. \quad (2.9)$$

Прологарифмував (2.9) одержуємо

$$L = \ln \Lambda = \sum_{i=1}^k x_i (\ln D_i - \ln F_i) + (1 - x_i) [\ln(1 - D_i) - \ln(1 - F_i)] + \sum_{j=1}^{R-k} x_j (\ln P_{0j} D_j - \ln F_j) + (1 - x_j) [\ln(1 - P_{0j} D_j) + \ln(1 - F_j)]. \quad (2.10)$$

Якщо позначити множники при x_i і x_j як

$$Q_i = \ln D_i - \ln F_i - \ln(1 - D_i) + \ln(1 - F_i) = \ln \left(\frac{D_i}{1 - D_i} \frac{1 - F_i}{F_i} \right),$$

$$Q_j = \ln P_{0j} D_j - \ln F_j - \ln(1 - P_{0j} D_j) + \ln(1 - F_j) = \ln \left(\frac{P_{0j} D_j}{1 - P_{0j} D_j} \frac{1 - F_j}{F_j} \right) \quad (2.11)$$

і відкинувши доданки, що не залежать від x_{in} , отримуємо оптимальний за критерієм Неймана-Пірсона алгоритм виявлення при об'єднанні попередніх рішень всіх каналів обробки

$$L = \sum_{i=1}^k Q_i x_i + \sum_{j=1}^{R-k} Q_j x_j \geq z_0, \quad (2.12)$$

де z_0 - поріг, який визначається заданою вихідний ймовірністю тривоги F .

Отже, оптимальна спільна обробка сигналів сумісних СС зводиться до вагового підсумовування одиниць і нулів x_{in} , що відображають прийняті у всіх каналах обробки попередні рішення. Вагові коефіцієнти (2.11) підвищують роль тих каналів, де більш імовірно правильне попереднє рішення, тобто де вища ймовірність виявлення D_i або D_j (з урахуванням P_0) і нижча ймовірність помилкової тривоги F_{in} або F_{jn} .

Таким чином, при реалізації оптимальних алгоритмів виявлення сигналів сумісних СС вагові коефіцієнти залежать як від відносини с/ш і рівня шумів в різних каналах обробки, так і від КГ ЛВ вторинних СС. У цьому полягає специфіка побудови пристроїв обробки при спільному використанні сигналів сумісних РЛС.

Структурна схема оптимального виявлювача сигналів сумісних РЛС, згідно (2.12), представлена на рис. 2.8.

Оскільки x_i і x_j рівні 0 чи 1, то ліва частина (2.12) являє собою суму $n < M$ вагових коефіцієнтів Q_i і Q_j , а значить, може приймати лише певні дискретні значення. Значення порога z_0 , в цьому випадку, може лежати в межах $0 < z_0 < \sum_{i=1}^k Q_i + \sum_{j=1}^{R-k} Q_j$, щоб, з одного боку, не приймалося завжди тривіальне рішення про виявлення, а з іншого боку - тривіальне рішення про невиявлення.

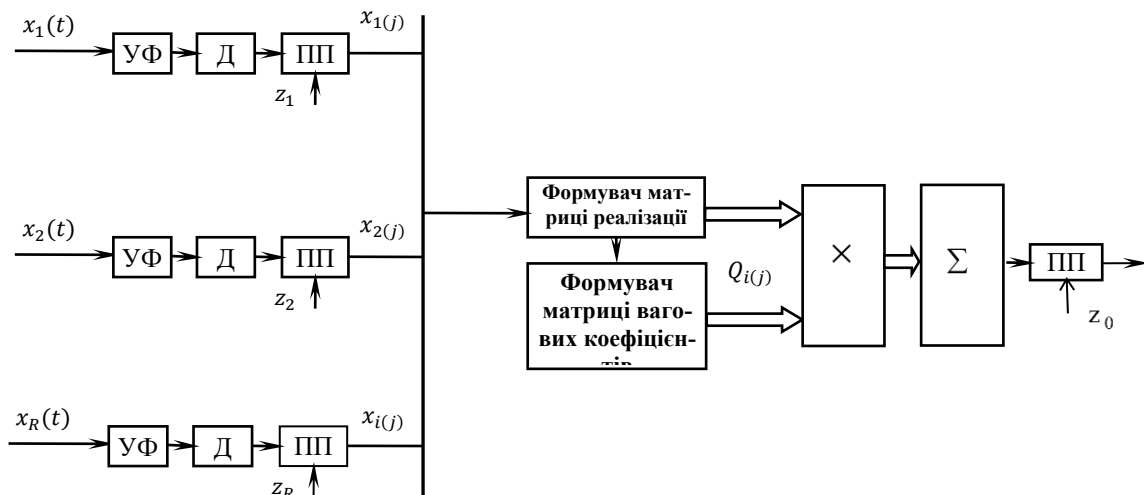


Рисунок 2.8 – Структура оптимального виявлювача сигналів сумісних СС

Якщо все Q_i і Q_j різні і сума будь-якої групи Q_i і Q_j не збігається з сумою будь-якої іншої їх групи, то при різних комбінаціях значень x_i і x_j , можливо $2^m - 1$ різних значень $L > 0$. Вибираючи поріг z_0 в інтервалах між значеннями Q_i , Q_j і їх різних сум, можна формувати $2^m - 1$ різних правил виявлення.

Якщо виконується умова $F_i = F_0, D_i = D_0, i = \overline{1, k}$ та $Q_1 = \dots = Q_k = Q$ і $F_j = F_0, D_j = D_0, j = \overline{1, m-k}$ та $Q_1 = \dots = Q_{m-k} = Q$, тоді в (2.12) можна Q винести за знак суми і розділити обидві частини на постійну величину Q . При таких припущеннях (2.12) можна записати як

$$L = \sum_{i=1}^k x_i + \sum_{j=1}^{R-k} x_j \geq z_{01}, \quad (2.13)$$

Як впливає з (2.13) при всіх можливих x_i і x_j величина $L > 0$ може приймати тільки m різних значення. У цьому випадку отримуємо відоме правило виявлення "k з m", згідно з яким сигнал вважається виявленим, якщо попереднє виявлення сталося хоча б у k з m каналів обробки. Легко бачити, що вирішальні

правила, при незначних відмінностях у вагових коефіцієнтах будуть включати всі m вирішальних правил типу " k з m ", одержуваних з (2.13).

При фіксованих імовірностях попередніх рішень в каналах обробки F_i і D_i , різні вирішальні правила дають різні значення ймовірностей F і D . Щоб вибрати оптимальне правило, тобто поріг в (2.12), отримаємо вираз для ймовірностей хибної тривоги і виявлення при оптимальній обробці. Для спрощення викладок будемо розглядати тільки два канали обробки, утвореними первинної та вторинної системами спостереження. При цьому тимчасово опустимо залежність ймовірності виявлення в вторинних системах спостереження від КГ ЛВ. Так як x_i підкоряються розподілу Бернуллі (2.4) з щільністю

$$W(x_i) = P_i \delta(x_i - 1) + (1 - P_i) \delta(x_i),$$

то для випадкової величини $z_i = Q_i x_i$ отримаємо щільність ймовірності та характеристичну функцію у вигляді

$$W(z_i) = P_i \delta(z_i - Q_i) + (1 - P_i) \delta(z_i),$$

$$\Theta(u) = P_i \exp(juQ_i) + (1 - P_i).$$

Характеристична функція L - суми незалежних величин (2.13)

$$\Theta_L(u) = \prod_{i=1}^m \Theta_i(u) = \prod_{i=1}^m [P_i \exp(juQ_i) + (1 - P_i)]. \quad (2.14)$$

Зворотне перетворення Фур'є дає щільність ймовірності L

$$W_L(u) = \prod_{i=1}^m (1 - P_i) \delta(z) + \sum_{k=1}^m \sum_{i_1=1}^{m-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^m P_{i_1} P_{i_2} \dots P_{i_k} \delta(z - \sum_{r=1}^k Q_{i_r}) \prod_{j=1}^m (1 - P_j). \quad (2.15)$$

При зміні k від 1 до m кратність суми в (2.15), в загальному випадку, також змінюється від 1 до m . Так як нас цікавить випадок при $m = 2$ то отримуємо

$$W_L(u) = \prod_{i=1}^2 (1 - P_i) \delta(z) + \sum_{i_1=1}^2 P_{i_1} \delta(z - Q_{i_1}) \prod_{j=1}^2 (1 - P_j) + P_{i_1} P_{i_2} \delta[z - (Q_{i_1} + Q_{i_2})]. \quad (2.16)$$

При цьому зауважимо, що в одному з каналів обробки (у другому) присутній коефіцієнт готовності цієї системи (у виразі (2.16) не показаний).

Ймовірність хибної тривоги або виявлення отримаємо, підставивши в (2.15) F_i або D_i , і проінтегрував його від z_0 до ∞ . Так як $z_0 > 0$, то перший член (2.15) не дає внеску в обчислюваний інтеграл. Те ж відноситься до всіх членів, у яких в аргументі δ -функції $\sum_{r=1}^k Q_{ir} < z_0$. Якщо більшу найближче z_0 значення суми вагових коефіцієнтів містить n додатків і дорівнює $\sum_{r=1}^k Q_{ir}$, то ймовірність перевищення порога z_0 можна записати у вигляді

$$P = \sum_{k=n}^m \sum_{i_1=1}^{m-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^m P_{i_1} P_{i_2} \dots P_{i_k} \prod_{j=1}^m (1 - P_j). \quad (2.17)$$

Наприклад, для нами розглянутого випадку $m = 2$ і виконанні умови «1 з 2» але не найслабший вираз (2.17) можна записати, як $P = P_2(1 - P_1) + P_1P_2$. З цього випливає, що якщо сигналу немає, то $F = F_2(1 - F_1) + F_1F_2$, а при впливі сигналу $D = D_2(1 - D_1) + D_1D_2$.

Якщо $F_1 = \dots F_m = F_0$ і $D_1 = \dots D_m = D_0$, то $Q_1 = \dots Q_m$ і для алгоритму (2.13) можна записати

$$P = \sum_{n=k}^m C_m^n \tilde{P}^n (1 - \tilde{P})^{m-n}. \quad (2.18)$$

За виразами (2.15) і (2.18) при заданих значеннях F_i, D_i можна обчислити вихідні ймовірності F та D для будь-якого значення порога z_0 і відповідного йому вирішального правила. Чим більше z_0 (тобто чим жорсткіше вирішальне правило), тим менше F та D . Якщо відповідно до критерію Неймана-Пірсона потрібно, щоб $F \ll \alpha_0$, то оптимальним вирішальним правилом буде таке, яке дає пару найбільших значень F та D за умови $F \ll \alpha_0$.

У табл. 2.1 наведені приклади оптимального алгоритму при різних ймовірностях попередніх рішень. Представлені також і результуючі значення F і D для можливих вирішальних правил при виконанні умови $Q_{min} < z_0$. Результати, наведені в табл. 2.1 показують, істотний вплив КГ ЛВ вторинних РЛС на результуючі показники якості виявлення сигналів сумісних РЛС. Для цього в табл. 2.1

окремо представлений програш у результуючої ймовірності правильного виявлення сигналів, обумовлений кінцевим КГ ЛВ.

Алгоритм (2.13), оптимальний при $Q_1 = \dots = Q_m$, дещо простіше, ніж (2.12), так як не вимагає аналізу в кожному каналі ймовірностей F_i і D_i , а, отже, і обчисленні Q_i . Тому нами надалі буде застосовуватися вираз (2.13) і при різних значеннях Q_i .

При цьому слід зауважити, що нами в основному розглядається специфіка спільного використання сигналів різнорідних РЛС (тобто два різних каналу) і дотримується умова, що вагові коефіцієнти різняться незначно. Це дозволяє зробити висновок, що перехід від (2.12) до (2.13) при різних значеннях Q_i скорочує число вирішальних правил, а значить, і вибір серед пар значень F і D . Якщо при заданій допустимій ймовірності хибної тривоги оптимальним правилом алгоритму (2.12) виявляється одне з m правил алгоритму (2.13), то перехід від (2.12) до (2.13) не призводить до енергетичних втрат. Нами ж, як правило, будуть розглядатися тільки такі умови.

Таблиця 2.1

$\frac{F_1}{D_1}$	$\frac{F_2}{D_2}$	P_0	оптимальний алгоритм	критерій		
				1/2	16/2	2/2
				$F / D, \Delta D$		
$\frac{10^{-2}}{0,5}$	$\frac{10^{-4}}{0,8}$	0,9	$L_1 = 4,6x_1 + 10,15x_2$	$\frac{1,01 \cdot 10^{-2}}{0,5}$ 0,04	$\frac{10^{-4}}{0,72}$ 0,08	$\frac{10^{-6}}{0,36}$ 0,04
$\frac{10^{-3}}{0,6}$	$\frac{10^{-4}}{0,9}$	0,95	$L_2 = 7,3x_1 + 10,99x_2$	$\frac{1,1 \cdot 10^{-3}}{0,942}$ 0,018	$\frac{10^{-4}}{0,855}$ 0,045	$\frac{10^{-7}}{0,513}$ 0,027
$\frac{10^{-4}}{0,7}$	$\frac{10^{-3}}{0,95}$	0,9	$L_3 = 10,06x_1 + 8,08x_2$	$\frac{1,1 \cdot 10^{-3}}{0,96}$ 0,025	$\frac{10^{-4}}{0,7}$	$\frac{10^{-7}}{0,6}$ 0,065
$\frac{10^{-5}}{0,8}$	$\frac{10^{-5}}{0,8}$	0,95	$L_4 = 12,9x_1 + 12,94x_2$	$\frac{2 \cdot 10^{-5}}{0,952}$ 0,008	$\frac{10^{-5}}{0,76}$ 0,04	$\frac{10^{-10}}{0,61}$ 0,03

Таким чином, оптимізація спільного виявлення зводиться до вибору для сумісної обробки одного з вирішальних правил, що задовольняють алгоритмом (2.12) і до установки однакових відносних порогів у всіх каналах, що забезпе-

чують такі значення F_i , які при обраному вирішальному правилі дають необхідне значення результуючої ймовірності F .

Слід зауважити, що вибір вирішального правила при спільному виявленні сигналів сумісних СС, як правило, повинен визначатися не тільки вимогами найкращого виявлення сигналів в таких системах. Дійсно, як нами зазначено вище, при виявленні ПО повинна бути визначена його державна приналежність. Це передбачає посилення вирішального правила, хоча при цьому результуючі характеристики виявлення можуть погіршуватися.

Жорсткість вирішального правила потрібна і при використанні сигналів сумісних РЛС для точного визначення координат ПО.

Проведемо аналіз ефективності алгоритмів децентралізованого виявлення сигналів при $m = 4$ для різних рішачючих правил.

На рис. 2.9 - 2.10 наведені ХВ сигналів при використанні чотирьох каналів виявлення (2 первинних і 2 вторинних) сигналів. При цьому на рис. 2.9 наведені розрахунки при $P_0 = 1$, а на рис. 2.10 при $P_0 = 0.9$. Як впливає з представлених залежностей, розглянута структура виявлення сигналів має деякі переваги в порівнянні з використовуваною в даний час.

На рис. 2.11 наведена залежність $D = f(P_0, k/m, q = const)$ за якими можливо оцінити вплив КГ ЛВ на характер сумісного виявлення сигналів.

Наведені розрахунки показують суттєвий вплив КГ ЛВ на виявлення сигналів у сумісних РЛС інформаційної мережі.

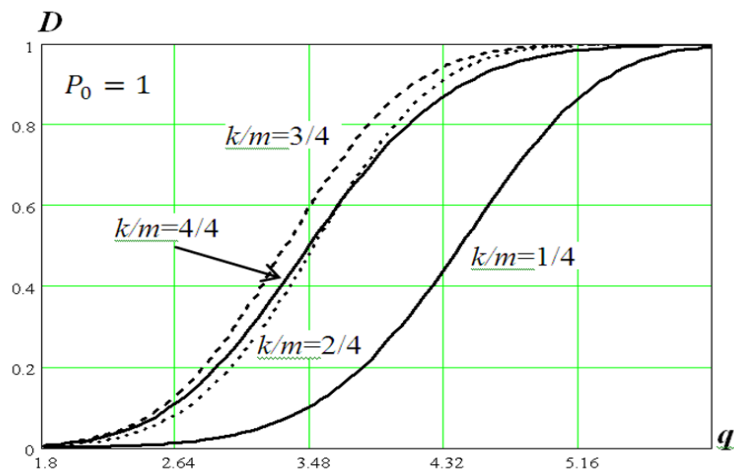


Рисунок 2.9 – Сумісне виявлення сигналів

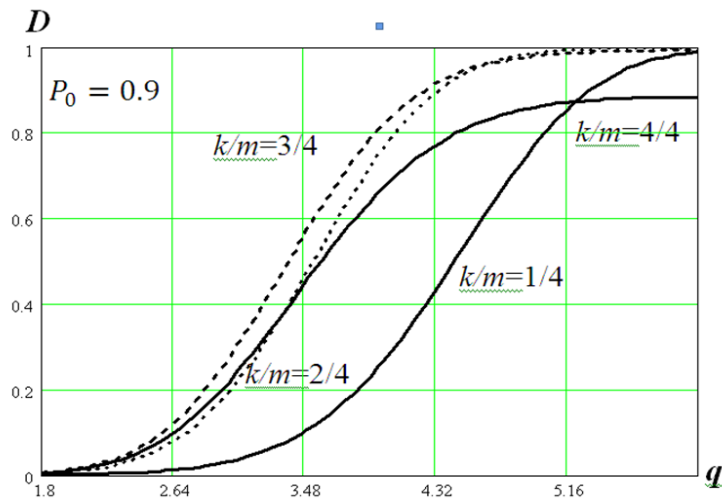


Рисунок 2.10 – Сумісне виявлення сигналів

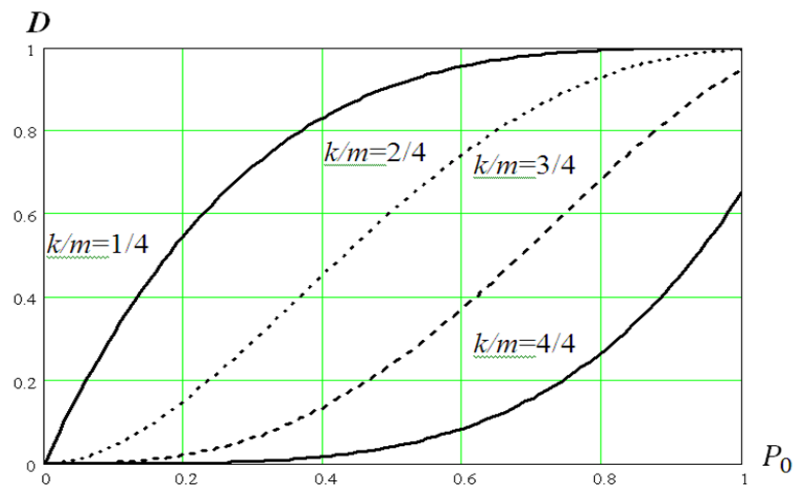


Рисунок 2.11 – Вплив КГ ЛВ на сумісне виявлення сигналів

Порівняльний аналіз рис. 2.9 - 2.11 дозволяє зробити наступні висновки:

- коефіцієнт готовності літакового відповідача істотно впливає на якість виявлення сигналів сумісної СС. Так вже при $P_0 < 0.9$ використання цілої логіки об'єднання є небажаним.

Слід зазначити, що нами розглянуто випадок однакових відносин сигнал-шум у каналах обробки сумісної РЛС. На практиці ж, відношення сигнал-шум вторинних каналів сумісної РЛС значно перевершує цей показник первинного каналу.

2.6. Підвищення якості інформаційного забезпечення сумісними радіолокаційними системами спостереження повітряного простору

Як нами помічено вище в існуючих РЛС споживачам видається оцінка вектору виміру $\hat{\vec{\alpha}}$, що характеризується кореляційною матрицею помилок \vec{C}^{-1} , отриманою за результатами виміру первинної РЛС. Інформація вторинних РЛС використовується для одержання бортової інформації від ПО, яка також передається споживачеві. При цьому слід зазначити, що для об'єднання оцінки вектору вимірів ПО, отриманої за первинною РЛС, і польотної інформації, отриманої вторинними РЛС, на вторинних РЛС здійснюються всі ті процедури виявлення й виміру, що й на первинній РЛС. Ця обставина може бути врахована при обробці інформації, що дозволить підвищити якість інформації, видаваної споживачам. Покажемо це.

При використанні зазначеного нами інтегрального показника якості ІЗ користувачів (2.3) слід зазначити, що імовірність об'єднання інформації каналів обробки визначається точносними показниками якості виміру координат ПО кожним з каналів. Однак при сумісній обробці інформації, коли поєднання інформації здійснюється на етапі обробки пакетів ПО імовірність ІЗ визначається з урахуванням результуючої матриці точності, яка визначається як

$$\vec{C}_p = \sum_{k=1}^M \vec{C}_k, \quad (2.19)$$

де \vec{C}_k - матриця точності виміру координат ПО кожним з каналів обробки.

Характеристики виявлення ПО при спільному використанні сигналів первинного й вторинного каналів сумісної РЛС оцінюються з урахуванням ваг, які оцінюються якістю обробки інформації у каналі. При цьому слід зазначити, що об'єднання каналних рішень може здійснюватися:

- на етапі виявлення сигналів;
- на етапі виявлення ПО.

Слід зазначити, що вибір вирішального правила при виявленні сигналів сумісних РЛС, як правило, повинен визначатися не тільки вимогами найкращого виявлення сигналів у таких системах. Дійсно, як нами відзначено вище, при виявленні ПО повинна бути проведена ідентифікація ПО. Це припускає жорсткість вирішального правила, хоча при цьому результуючі характеристики вияв-

лення можуть погіршуватися. Жорсткість вирішального правила потрібна й при використанні сигналів сумісних РЛС для точного визначення координат ПО.

Проведемо порівняльний аналіз варіантів об'єднання рішень виявлення ПО.

Для першого варіанту, бінарно-квантована послідовність імпульсів з виходу виявлювача сигналів у кожному з каналів сумісної РЛС надходять на виявлювач ПО. Результати каналних виявлень сигналів можуть поєднуватись відповідно до правил «1 з 2» або «2 з 2» і далі, об'єднана послідовність рішень надходить на виявлювач. Завдання виявлювача ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу послідовності нулів, що надходять і одиниць ухвалити рішення (оптимальним образом) про наявність або відсутність ПО у прийнятій послідовності. Для вирішення задач виявлення необхідно одержати відношення правдоподібності й зрівняти його з порогом, обраним відповідно до припустимої ймовірності неправильної тривоги виявлення F . Функції правдоподібності для гіпотез H_1 і H_0 можна записати в наступному виді

$$L(x_i|H_1) = \prod_{i=1}^N P_{cn}^{x_i}(x_i) [1 - P_{cn}^{x_i}(x_i)]^{1-x_i}, \quad (2.20)$$

$$L(x_i|H_0) = \prod_{i=1}^N P_n^{x_i}(x_i) [1 - P_n^{x_i}(x_i)]^{1-x_i}, \quad (2.21)$$

де x_i – об'єднана послідовність нулів і одиниць.

Використовуючи (2.20) і (2.21) відношення правдоподібності можна записати як

$$l(x_i) = \frac{L(x_i|H_1)}{L(x_i|H_0)} = \prod_{i=1}^N \left(\frac{P_{cn}(x_i)}{P_n(x_i)} \right)^{x_i} * \left(\frac{1-P_{cn}(x_i)}{1-P_n(x_i)} \right)^{1-x_i} \geq l_0, \quad (2.22)$$

Логарифмуючи (2.22), перетворюючи отриманий вираз, одержуємо

$$\sum_{i=1}^N x_i \eta_i \geq C, \quad (2.23)$$

де $\eta_i = \ln \frac{P_{cn}(x_i)[1-P_{cn}(x_i)]}{P_n(x_i)[1-P_n(x_i)]}$, $C = \ln l_0 - \sum_{i=1}^N \ln \frac{1-P_{cn}(x_i)}{1-P_n(x_i)}$.

Таким чином, алгоритм оптимального виявлення ПО (2.23) зводиться до підсумовування вагових коефіцієнтів η_i , обумовлених формами діаграм спрямованості антен відповідного каналу сумісної РЛС, відповідних до позицій пачки, де $x_i = 1$.

Отже, характерною рисою вирішального пристрою виявлення ПО у спільній РЛС є наявність двох порогів. Перший поріг встановлюється в граничних пристроях виявлювача сигналів кожного з каналів сумісної РЛС. Цей поріг аналоговий і за допомогою тільки його можна змінювати умовну ймовірність хибної тривоги на виході спільного виявлювача ПО. Другий поріг встановлюється в граничному обладнанні спільного виявлювача ПО і є порогом виявлення ПО. Він може бути тільки дискретним.

Якщо припустити, що $P_{сп}(x_i)$ однакова в межах усієї ширини діаграми спрямованості антен сумісної РЛС (пачка прийнятих сигналів має прямокутну форму), то алгоритм (2.23) зводиться до виду:

$$\sum_{i=1}^N x_i \geq C_1. \quad (2.24)$$

Як впливає з виразу (2.24), у випадку прямокутної пачки процедура виявлення ПО зводиться до підрахунку одиниць, у межах ширини пачки, і порівняння числа накопичених імпульсів із граничним числом C_1 .

Аналіз ефективності алгоритмів ІЗ проаналізуємо з урахуванням кінцевого результату, а саме, виявлення ПО. При цьому використовуємо правила виявлення по пачці двоїчно-квантованих сигналів, а також будемо розглядати випадок дешифрованих сигналів з виходів вторинних РЛС. При цьому будемо досліджувати два алгоритми об'єднання результатів виявлення: каналне накопичення й об'єднання результатів (НО) і об'єднання каналних рішень і накопичення (ОН). Також проведемо порівняльний аналіз характеристик виявлення виявлювачів ПО, що розглядається і що використовується на практиці. Будемо розглядати випадок однакових значень відносин с/ш q_i , $i = \overline{1, m}$ для сигналів як первинного, так і вторинного каналів сумісної РЛС. У цьому випадку багатоканальне виявлення дає найбільший ефект. При такому розгляді питання у всіх каналах виявлення сигналів повинні бути однакові відносні пороги. Цим

забезпечується однакова ймовірність помилкової тривоги $F_i = F_0$. Однаковими будуть і ймовірності виявлення $D_i = D_0, i = \overline{(1, m)}$. У цих умовах для незалежних флуктуацій амплітуд оптимальним вирішальним правилом для сумісної обробки є правило "k з m". Вихідна ймовірність хибної тривоги F визначається виходом виявлення ПО. Переймаючись припустимою можливістю F , отримуємо, для вибраного вирішального правила, F_0 в кожному з каналів сумісної СС.

Таким чином, отримавши для заданої ймовірності F і будь-якого вирішального правила ймовірність F_0 в кожному приймальному каналі, можна обчислити вірогідність D_0 в кожному приймальному каналі, а потім обчислити вірогідність виявлення ПО D . При незалежних флуктуаціях сигналу в каналах прийому сумісної СС для кожного m існує оптимальне вирішальне правило. При малому числі каналів обробки, що нами і розглядається, оптимальне, тобто виявлення, правило "1 з m". Однак в каналі ідентифікації має бути реалізовано тільки правило "2 з 2". Проробивши аналогічні операції з вихідними показниками якості виявлення сигналів, можемо отримати результуючі ХВ на виході виявлювача ПО. Другий поріг C_1 будемо вибирати виходячи з половини пачки оброблюваних сигналів.

На рис. 2.12 - 2.13 наведені ХВ ПО для розглянутого і рекомендованого (ІВ) виявлювача ПО при використанні двох каналів виявлення (первинний і вторинний). Як випливає з представлених залежностей, розглянута структура виявлення ПО має деякі переваги в порівнянні з використовуваною в даний час.

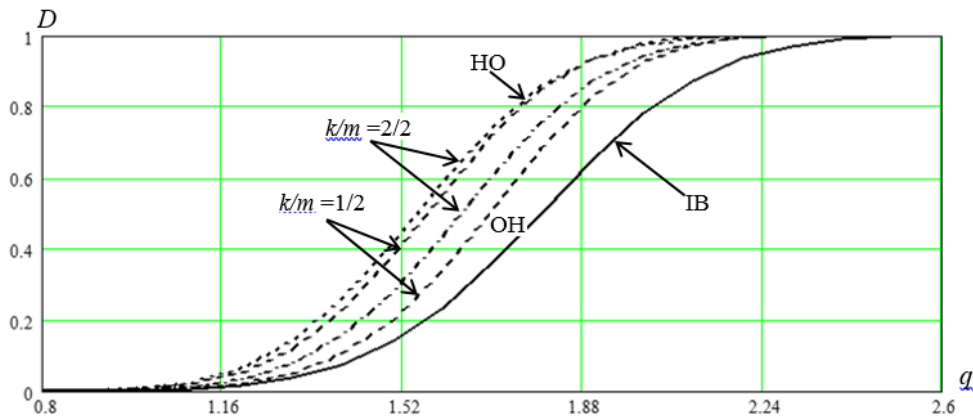


Рисунок 2.12 – Виявлення ПО при $P_0 = 1$

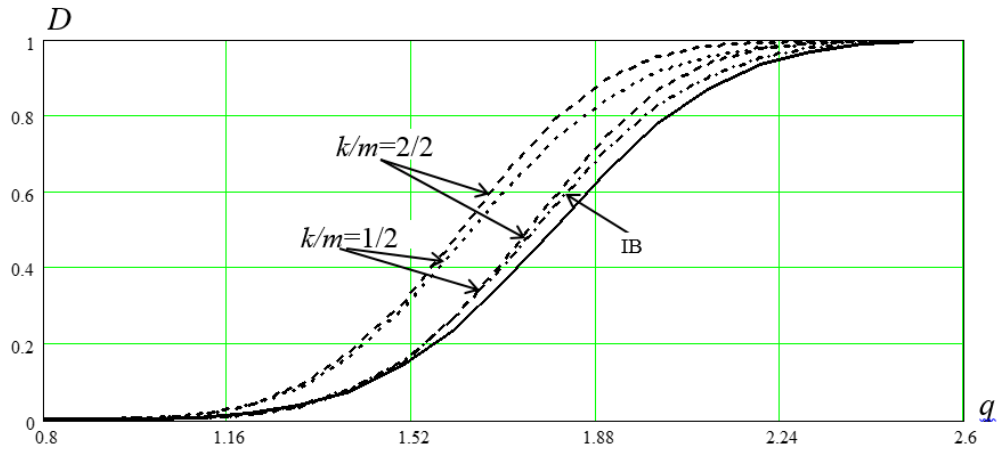


Рисунок 2.13. Виявлення ПО при $P_0 = 0.9$

Порівняльний аналіз рис. 2.12 - 2.13 дозволяє зробити наступні висновки:

- якість виявлення ПО споживачів на підставі запропонованої структури вище в порівнянні з використовуваною, в даний час, структурою;
- виявлення ПО має кращі показники при використанні методу обробки сигналів, заснованого на накопиченні і з наступним об'єднанням;
- коефіцієнт готовності ЛВ істотним чином впливає на якість виявлення ПО. Так при $P_0 < 0.9$ використання цілої логіки об'єднання небажано.

Імовірність ІЗ при сумісній обробці інформації у РЛС повітряного простору для різній кількості каналів обробки (m) наведено на рис. 2.14 – для варіанту поєднання и подальшого накопичення, а на рис. 2.15 – для варіанту накопичення и подальшого поєднання.

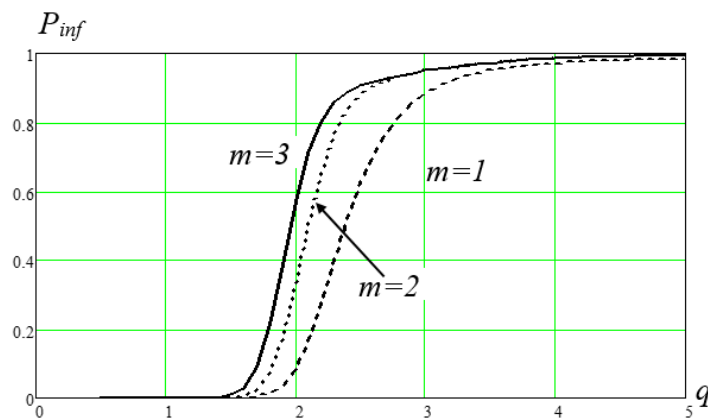


Рисунок 2.14 – Залежність $P_{inf} = f(q, m)$

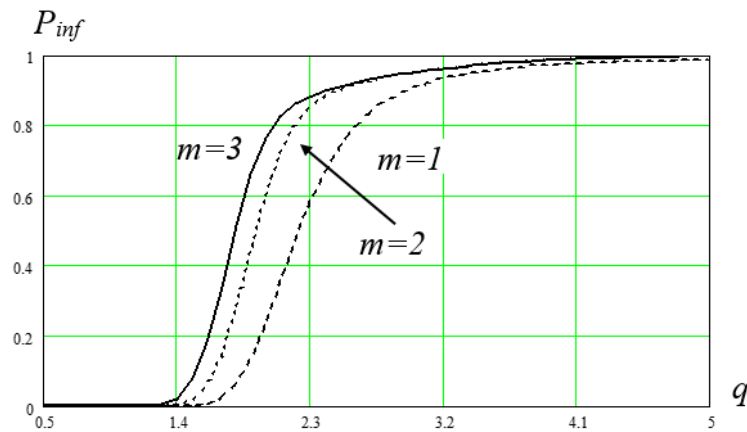


Рисунок 2.15 – Залежність $P_{inf} = f(q, m)$

Порівняльний аналіз рис. 2.14 - 2.15 дозволяє зробити наступні висновки:

- при збільшенні числа поєднаних каналів сумісної РЛС якість ІЗ споживачів поліпшується;
- кращі показники мають місце при використанні методу обробки сигналів, заснованого на накопиченні з наступним об'єднанням, так при $q = 2,3$ та $m = 2$ імовірність ІЗ збільшується в 1,2 разі.

2.7. Сумісна оптимізація обробки інформації в мережі радіолокаційних систем спостереження повітряного простору

Система КПП в значній мірі забезпечує безпеку держави та безпеку повітряного руху, що вже само по собі визначає рівень вимог до захищеності інформаційних процесів її функціонування. Основні елементи процедури контролю ПП - аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень. Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначаються якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення. Існуючі автоматизовані системи обробки інформації (АСОІ) побудовані на принципі етапності обробки інформації, що утрудняє реалізацію сумісної оптимізації як виявлення

сигналів, ПО, трас ПО, так і виміру стану ПО. Це виникає і з цього, що матриці точності виміру не передаються між пристроями етапів обробки інформації.

Залежно від ступеня централізації системи обробки даних мережі РЛС можуть бути розділені на два класи:

- з розподіленою обробкою інформації;
- з централізованою обробкою інформації.

У мережах з розподіленою обробкою на кожній СС є процесор даних, що виконує функції супроводу за даними цієї СС. Отримані траєкторії передаються в центр обробки даних, в якому формується єдина траєкторія руху кожного ПО. Для централізованої архітектури характерне використання єдиного процесора даних, в який з кожної РЛС надходять позначки, а не траєкторії. Після обробки цих вимірів також формується єдина траєкторія для кожного ПО.

Слід зауважити, що реалізація розподіленої архітектури пов'язана з меншими технічними задачами. Це обумовлено тим, що в розподіленій системі лише об'єднуються процесори даних окремих РЛС, а при створенні централізованої архітектури доводиться заново конструювати всю систему. Однак виконання сумісної міжетапної оптимізації виявлення неможливо.

Крім того, при централізованій архітектурі більш високі вимоги пред'являються до ліній передачі даних, тому що по них передається інформація як про справжні, так і про хибні ПО (при розподіленій архітектурі передаються тільки справжні траєкторії). Однак у централізованих системах швидкість отримання відміток вище і, отже, вище точність супроводу ПО.

В інформаційних РЛС має місце жорстка послідовність обробки інформації за етапами. Кожен етап має свій масштаб реального часу обробки, що дозволяє здійснювати їх автономну реалізацію. Основними, автономними за реалізацією, етапами обробки інформації є:

- обробки сигналів;
- первинної обробки інформації (ПОІ);

Основним завданням обробки сигналів є:

- виявлення корисних (відбитих або випромєнених ПО) сигналів. Задача виявлення корисних сигналів вирішується в пристроях післядетекторної обробки сигналів і складається у винесенні однозначного рішення: або сигнал є ($x_i = 1$), або сигналу немає ($x_i = 0$). Оптимальність рішення задачі виявлення сигналів розуміється, як правило, за критерієм Неймана-Пірсона, що зводиться до максимізації ймовірності правильного виявлення сигналів при обмеженнях на ймовірність хибного виявлення.
- вимір параметрів виявлених (прийнятих) сигналів. Операції оцінки параметрів сигналів у загальному випадку оптимізуються за критерієм мінімуму середнього ризику.

Сигнальний процесор визначає наявність або відсутність в прийнятому сигналі складової, обумовленої відображеннями від ПО. Крім того, він компенсує з сигнали, що заважають, обумовлені відображеннями від підстильної поверхні, метеоутворень, а також випромінюванням радіозасобів, джерел шумів і постановників завад. У процесорі здійснюється когерентна або (і) некогерентна обробка прийнятих сигналів, дискретизованих за часом.

При когерентній обробці враховуються синфазна і квадратурна складові відеосигналу. Некогерентна обробка відбувається після усунення інформації про фазу сигналу в детекторі. Виявлення здійснюється шляхом порівняння відеосигналу на виході приймача із заданим пороговим рівнем перевищення цього рівня розглядається як факт виявлення ПО.

Сигнальний процесор реалізується в поточному часу з використанням спеціалізованих апаратних засобів.

За результатами обробки сигналів приймається однозначне рішення про наявність сигналу з показниками (D_0, F_0) та оцінюється параметри сигналу з відповідною матрицею точності.

Основним завданням первинної обробки інформації є:

Визначення (оцінка) миттєвого положення (координат) ПО у просторі за результатами одного огляду РЛС. У процесі цієї операції здійснюється виявлення ПО за пачкою відбитих (випромєнених) сигналів, статистична оцінка ча-

су затримки відбитих (випроменених) сигналів щодо моментів посилки зондувальних сигналів (статистична оцінка дальності до ПО відносно точки розташування РЛС), а також статистична оцінка кутових координат ПО за кутовим положенням антени РЛС у момент проходження максимуму діаграми спрямованості через ПО. Точність оцінки координат у загальному випадку характеризується матрицею точності оцінки.

При проходженні інформації через зазначені етапи відбувається поступове розрізнення корисних і заважаючих сигналів в результаті поетапного процесу прийняття рішень. При обробці інформація послідовно приводиться до вигляду, що полегшує користувачеві прийняття рішень. Так, необроблений відеосигнал містить багато хибних складових, обумовлених відбитками. Пристрій виділення даних локалізує ПО, а процесор даних розпізнає ПО, визначає швидкість ПО та інші параметри.

При розподіленій обробці ці етапи проводяться в різних пунктах обробки та реалізується, як правило, сигнальним процесором, пристроєм виділення даних та процесором даних. Ця обставина значно ускладнює процес сумісної оптимізації обробки інформації РЛС, котрий, як відомо, складається з:

- оптимізації виявлення сигналів та ПО;
- оптимізації вимірювання стану ПО.

Задача виявлення сигналів, ПО та траси ПО складається у винесенні однозначного рішення: або сигнал чи ПО є ($x_i = 1$) та ($x_j = 1$) відповідно або сигналу та ПО немає ($x_i = 0$) та ($x_j = 0$) відповідно. Оптимальність рішення задачі виявлення розуміється, як правило, за критерієм Неймана-Пірсона, що зводиться до максимізації ймовірності правильного виявлення сигналів, ПО та траси ПО при обмеженнях на ймовірність хибного виявлення.

Слід зазначити, що аналоговим порогом, управління котрим може здійснюватися оптимізація виявлення на всіх етапах обробки даних, є аналоговій поріг виявлення сигналів. Ця обставина однозначно визначає, що тільки в системах з централізованою обробкою інформації може здійснюватися сумісна оптимізація виявлення на всіх етапах обробки.

При оптимізації виміру координат ПО повинно бути відомим матриці точності попередніх вимірювань. На жаль, відомі АСУ обробки інформації не передають матриці точності складі формуляру ПО [2]. Це не дозволяє здійснити сумісну оптимізації виміру стану ПО.

Наведене вище дозволяє сформулювати структуру обробки даних спостереження ПП з сумісною оптимізацією обробки сигналів та первинної обробки інформації у вигляді структури наведеної на рис. 2.14 [47]. Слід зазначити що:

- z_0, k_1 - аналоговий та цифрові пороги виявлення сигналів та ПО;
- N - довжина пачки сигналів за якими приймається рішення про виявлення ПО;
- \hat{w}, \hat{C} - вектор стану та матриця точності ПО.

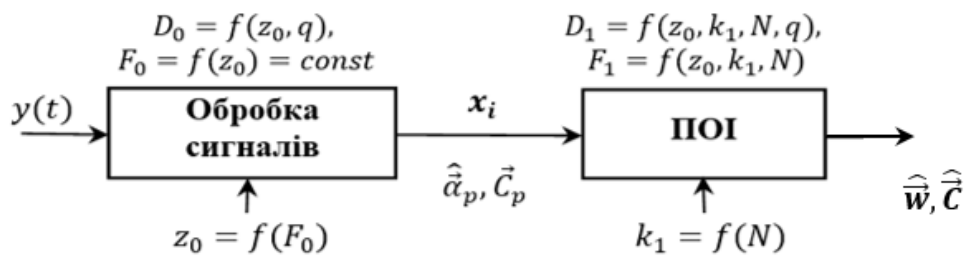


Рисунок 2.16 – Загальна структура обробки інформації у СС

Структура обробки даних РЛС наочно показує що забезпечити сумісну оптимізацію обробки можливо тільки при централізованій обробці інформації. Дійсно, наведені на рис. 2.14 залежності показників якості виявлення сигналів та ПО показують, що управляються вони тільки регулюванням аналогового порогу виявлення сигналів.

Сумісна оптимізація етапів обробки даних мережі РЛС можливе тільки при централізованій обробці інформації. Величина аналогового порогу виявлення сигналів використовується в якості параметру при сумісній оптимізації обробки даних спостереження. Для оптимізації виміру стану ПО повинні передаватися, у складі формуляру ПО, матриці точності виміру параметрів сигналу та координат ПО попередніх етапів обробки інформації.

2.8. Місце систем автоматичного залежного спостереження у єдиній системі інформаційного забезпечення користувачів

В 1983 р. ICAO створила Комітет, що займається майбутніми аеронавігаційними системами (FANS), завданням якого являлося визначення концепції розвитку систем навігації, зв'язку й спостереження. Комітет FANS закінчив свою роботу в 1988 р., а його рекомендації були покладені в основу розвитку систем державами-членами ICAO. Комітет FANS дійшов висновку, що потреби цивільної авіації в майбутньому найбільше повно можуть бути задоволені тільки системами, що використовують штучні супутники Землі [77,84,85]. Концепція побудови систем зв'язку, навігації й спостереження, заснованих на супутниковій технології, визнана єдиною, що реально вирішує проблеми аеронавігаційного забезпечення в глобальному масштабі.

Комітетом FANS докладно були проаналізовані два способи спостереження: кооперативне незалежне (Cooperated Independent Surveillance - CIS); автоматичне залежне (Automatics Dependent Surveillance - ADS).

Система CIS повинна працювати в такий спосіб. По запиті або періодично ПО передає сигнали, формат яких близький до формату вторинної радіолокації з адресним запитом. Сигнал, що містить інформацію про бортовий номер і висоту ПО, повинні прийняти й ретранслювати на Землю як мінімум два ШСЗ. Наземна система, маючи інформацію про положення ШСЗ і час затримки сигналу, випроміненого ПО, а також знаючи з повідомлення ПО його висоту, розраховує координати ПО і повідомляє їхньому диспетчерові УПР.

Для технічної реалізації системи CIS потрібно розгорнути ще одну глобальну супутникову систему, що за складністю не поступається супутниковим навігаційним системам. Тому була прийнята концепція ADS, для реалізації якої досить мати супутникову навігаційну й зв'язкову системи. Відповідно до концепції ADS інформація про місце розташування ПО, що передається бортовими системами, по лінії передавання даних направляється в центри УПР. По цьому ж каналу забезпечується прямий зв'язок диспетчера з екіпажем ПО.

Загалом кажучи, концепцію АЗС не обов'язково зв'язувати зі супутниковою технологією. Адже передача висоти польоту ПО з борта в каналі вторинних РЛС є елементом залежного спостереження по одній координаті. В принципі, не обов'язково передавати координати ПО, визначені за допомогою супутникової навігаційної системи. Є досконалі інерціальні системи, котрі коректуються в ході польоту, є системи ближньої й дальньої навігації. Однак у процесі польоту ПО користується різними способами пілотування, наприклад, ПО може летіти на радіомаяк, місце розташування якого відомо, і не перераховувати свої координати в географічні або ще які-небудь. Системи мають різну точність, надійність, цілісність. А для залежного спостереження необхідно прив'язати дані до однієї й тієї ж системи координат, позначити точний момент виміру координат бортовими системами, знати характеристики погрешностей вимірів, встигнути автоматично обробити ці дані й представити їх на автоматизоване робоче місце диспетчера. Всі процеси повинні бути пов'язані за часом, форматам повідомлень, але апаратура зістикування така, що на старих типах ПО це зробити неможливо. Якщо використовується ADS для УПР, то всі ПО, що перебувають у зоні відповідальності диспетчера, повинні бути оснащені апаратурою ADS, що теж є чималою проблемою. Тому концепція ADS у найбільш чіткій і закінченій формі проглядається для супутникової технології.

АЗС являє собою вид обслуговування повітряного руху (ПР), коли ПО в автоматичному режимі періодично передають по лінії передачі даних (ЛПД) конкретному (АЗН-А) або будь-якому (АЗН-В) споживачеві інформацію про своє місцезнаходження, отриману за допомогою бортових навігаційних систем. У контрактному (або адресному) АЗС (АЗС-А) автоматична передача з борта ПО періодичних повідомлень починається після здійснення з ініціативи ПО з'єднання з конкретним органом УПР. Яка інформація, і з якою частотою вона повинна передаватися, визначається цим органом УПР у встановленому їм контракті або серії контрактів з ПО. До появи міжнародного технічного стандарту (SARPS) на контрактне АЗС промисловістю була зроблена спроба реалізації АЗС-А, у результаті чого з'явилися комплекти бортового обладнання FANS-1 і

FANS-A. Обладнання FANS-1/A по ряду моментів не відповідає стандарту, що з'явився пізніше. Тому ICAO визначила, що ці перехідні системи можуть використовуватися для забезпечення спостереження тільки в океанічних або близьких до них за умовами континентальних районах.

Радіомовне (або віщальне) АЗС (АЗС-В) є видом спостереження, що дозволяє здійснювати періодичну (до 1 повідомлення в секунду) передачу з використанням ЛПД радіомовного типу (без попереднього встановлення контракту) таких параметрів, як координати, розпізнавальний індекс ПО і ряд інших для використання будь-яким зацікавленим у цій інформації бортовим і/або наземним користувачем. Така здатність поліпшує інформованість про повітряну ситуацію й на борту ПО, і на землі, що дозволяє забезпечити функцію спостереження, а також кооперативну, «пілот-диспетчер» і «пілот-пілот», організацію повітряного руху. АЗС-В не обмежується традиційними функціями, що асоціюються з радіолокаційними системами наземного базування.

При ADS дані з навігаційних систем ПО автоматично, у тому числі і за автоматичним запитом з Землі, повинні передаватися на Землю для використання службами повітряного руху.

2.9. Математичні моделі оцінки імовірності хибної тривоги та ризику цілісності координатної інформації мовного автоматичного залежного спостереження

Мовне автоматичне залежне спостереження розглядається в даний час як перспективна система спостереження ОПР. У зв'язку з тим, що координати кожного ПО визначаються на борту і потім передаються для використання в системі ОПР, питання забезпечення цілісності інформації АЗС-В є актуальним.

Визначені на борту ПО координати, на основі вимірів глобальної навігаційної супутникової системи (ГНРЛС), характеризуються високою точністю. Однак збої та відмови, що виникають в системі ГНРЛС, можуть призводити до значного збільшення помилок визначення координат ПО, переданих за канала-

ми АЗН-В. Для користувача системи АЗН-В важливо, щоб була можливість виявляти ситуації, коли помилки визначення координат ПО, переданих в повідомленнях АЗН-В, перевищують заздалегідь встановлений радіус утримання R_c . Будемо вважати, що в цьому випадку подається сигнал тривоги.

Для простоти формалізації спочатку визначимо «ризик цілісності». Під ризиком цілісності (IR) будемо розуміти ймовірність події, при якому помилка визначення місця розташування ПО перевищує якийсь заздалегідь визначений поріг R_c протягом інтервалу часу більшого T_a і при цьому вона не виявлена. Тоді під цілісністю будемо розуміти ймовірність зворотного події, а саме події, при якому помилка визначення місцеположення ПО не перевищує поріг R_c або помилка виявлена протягом інтервалу часу, що не перевищує T_a .

Нехай (\bar{x}, \bar{y}) горизонтальні координати фактичного положення ПО, (x_N, y_N) - координати, виміряні системою АЗС-В. Помилки вимірювання є випадкові величини, рівні $\zeta_N = x_N - \bar{x}$ і $\eta_N = y_N - \bar{y}$.

Якщо $f_N(\zeta_N, \eta_N)$ спільна щільність ймовірності помилок (ζ_N, η_N) , то ймовірність того, що помилки не перевищують R_c , визначається як

$$P = \iint_{\zeta_N^2 + \eta_N^2 \leq R_c} f_N(\zeta_N, \eta_N). \quad (2.25)$$

Однак формула (2.25) не може стати основою забезпечення цілісності вимірювань АЗН-В, так як для кожного конкретного виміряного положення (x_N, y_N) вона не дозволяє зробити висновок про те, що помилки АЗН-В перевершили величину R_c . Тим самим на підставі (2.25) не можна реалізувати функцію подачі тривоги.

Для подолання зазначеної задачі передбачається здійснювати забезпечення цілісності інформації АЗН-В шляхом порівняння кожного вимірювання координат ПО (x_N, y_N) з координатами (x_R, y_R) , отриманими від незалежної системи спостереження, наприклад, від ВОРЛ.

Будемо вважати, що незалежне від АЗС-В вимір має помилки $\zeta_R = x_R - \bar{x}$ і $\eta_R = y_R - \bar{y}$, і відома їх спільна щільність розподілу $f_R(\zeta_R, \eta_R)$

Будемо вважати, що за час $(0, T_a)$ щільність ймовірності помилок координатної інформації незалежної системи спостереження (x_R, y_R) не змінює ні вид розподілу, ні параметри розподілу.

З урахуванням справедливості зазначеної гіпотези, забезпечення цілісності координатної інформації АЗС-В організуємо таким способом.

Якщо різниця координат двох незалежних вимірювань одного і того ж положення ВС більше деякої наперед заданої величини D_t , то передбачається, що якість координатної інформації АЗС-В незадовільно, подається сигнал тривоги (за час, що не перевершує T_a) і мітка (x_N, y_N) не використовується для цілей ОПР. В іншому випадку передбачається, що координатна інформація АЗС-В має достатній якість і використовується для ОПР. Алгоритм забезпечення цілісності координатної інформації АЗН-В описаним вище способом зображений на рис. 2.17.

Забезпечення цілісності з використанням алгоритму, зображеного на рис. 2.17, об'єктивно пов'язано з наступними випадковими подіями:

- «правильне виявлення» - подія, при якому подається сигнал тривоги для користувача, оскільки відстань між незалежними випадковими мітками більше D_t і помилки визначення фактичного стану ПО системою АЗН-В більше R_c ($\zeta_N^2 + \eta_N^2 < R_c$);
- «правильне невиявлення» - подія, при якому відстань між незалежними випадковими мітками не перевищує величини D_t , сигнал тривоги не подається і помилки визначення фактичного стану ПО системою АЗН-В не перевершують R_c ($\zeta_N^2 + \eta_N^2 < R_c$);
- «хибна тривога» - подія, при якому відстань між незалежними випадковими мітками більше D_t і подається сигнал тривоги для користувача, але помилки визначення фактичного стану ПО системою АЗН-В не перевершують R_c ($\zeta_N^2 + \eta_N^2 < R_c$). Імовірність появи події хибної тривоги $P_{F.A.}$ не повинна перевищувати прийнятну величину $\bar{P}_{F.A.}$;
- «пропуск виявлення» - подія, при якому сигнал тривоги для користувача не подається, оскільки відстань між незалежними випадковими мітками не перевищує величини D_t , а помилки визначення фактично-

го стану ПО системою АЗН-В більше R_c ($\zeta_N^2 + \eta_N^2 \geq R_c$). Імовірність появи події пропуску виявлення (ризик цілісності) $P_{I,R}$, не повинна перевищувати прийнятну величину $\bar{P}_{I,R}$.

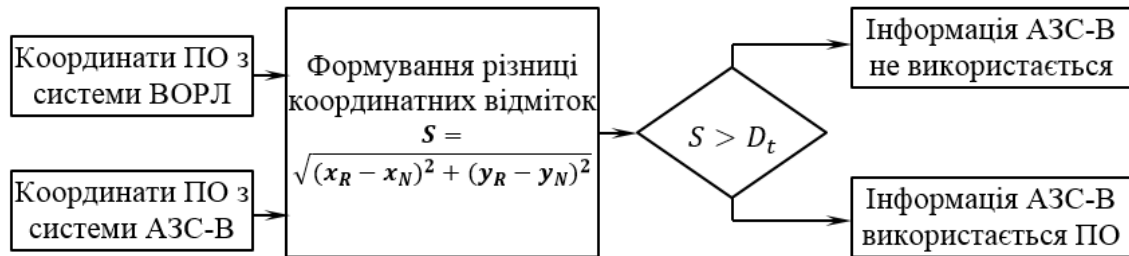


Рисунок 2.17 – Алгоритм забезпечення цілісності координатної інформації АЗС-В

Оскільки поява подій помилкової тривоги і пропуску виявлення вкрай негативно впливає на безпеку польотів при використанні інформації АЗС-В в цілях ОПР, завданням даної роботи є формалізація моделей оцінки ймовірності помилкової тривоги $P_{F,A}$ і ризику цілісності $P_{I,R}$. Після того, як труднощі формалізації будуть подолані, введемо міру цілісності інформації АЗС-В.

Процедура забезпечення цілісності заснована на аналізі різниці координат незалежних міток горизонтального положення ПО (x_N, y_N) і (x_R, y_R) .

Введемо наступні двовимірні випадкові величини: $\vec{N} = \|X_N, Y_N\|$ - вектор оцінки координат ПО системою АЗС-В; $\vec{R} = \|X_R, Y_R\|$ - вектор оцінки координат ПО системою ВОРЛ; $\vec{S} = \|S_x, S_y\|$ - відстань між векторами \vec{N} і \vec{R} .

Вектори \vec{N} і \vec{R} є незалежними з відомими щільностями імовірності. Компоненти векторів \vec{N} і \vec{R} також незалежні як всередині \vec{N} і \vec{R} , так і між векторами.

Будемо вважати, що математичні очікування компонент вектору \vec{R} збігаються з координатами фактичного положення ПО, а математичні очікування компонент вектору \vec{N} можуть мати зміщення Δx і Δy по відношенню до фактичних координат ПО. Зазначені зміщення такі, що $\Delta x^2 + \Delta y^2 = R_c^2$.

Нехай \vec{N} і \vec{R} - незалежні випадкові величини з щільностями $w_N(x)$ і $w_R(x)$. У загальному вигляді \vec{N} і \vec{R} - двовимірні випадкові величини, але все співвідношення будуть справедливі і для одновимірних випадкових незалежних величин.

Позначимо щільність випадкової величини $S = R - N$ через $g(s)$. Розглянемо дві пари випадкових величин: (N, R) - вихідна пара; (N, S) - пара, яка бере участь у процедурі забезпечення цілісності інформації АЗС-В.

Тоді завжди апіорна (до застосування процедури забезпечення цілісності) спільна щільність ймовірності пари випадкових векторів (N, S) буде дорівнює $w_N(x) \cdot w_R(x + s)$.

Знаючи апіорну спільну щільність ймовірності пари (N, S) , можна визначити умовну щільність ймовірності $w_{N/S}(x; s)$ випадкової величини N за умови, що $S = s$

$$w_{w/s}(x; s) = \frac{w_N(x) \cdot w_R(x+s)}{g(s)}. \quad (2.26)$$

Якщо відомі щільності ймовірності $w_N(x)$ і $w_R(x + s)$, то для різниці випадкових незалежних вимірювань маємо

$$g(s) = \int_{-\infty}^{\infty} w_N(x) \cdot w_R(x + s) dx. \quad (2.27)$$

Процедура забезпечення цілісності заснована на досвіді, при якому випадкова величина S приймає конкретне значення s : $S = s$. Значення s порівнюють з порогом виявлення D_t і приймають рішення про подачу сигналу тривоги. При міркуванні про те, чи вийшли помилки АЗС-В за межі радіусу утримання R_c або не вийшли за умови, що $S = s$, апіорна (безумовна) щільність помилок вимірювання АЗС-В повинна бути замінена на умовну $u_{N/S}(x; s)$. Таким чином, моделі оцінок ймовірностей $P_{F.A.}$, $P_{I.R.}$ і P_I повинні будуватися не на щільності $g(s)$ і $w_N(x)$, а на щільності $g(s)$ і $u_{N/S}(x; s)$.

Виходячи із загальних міркувань формалізації ймовірності помилкової тривоги і ризику цілісності, можемо записати

$$P_{F.A.} = P\{|s| > D_t, |x| \leq R_c\}; P_{I.R.} = P\{|s| \leq D_t, |x| > R_c\}.$$

З урахуванням того, що випадкові величини s і x мають щільності ймовірності, рівні $g(s)$ і $u_{N/s}(x; s)$, отримаємо наступні значення шуканих ймовірностей

$$P_{F.A.} = \int_{|s| > D_t} g(s) \left[\int_{|x| \leq R_c} u_{N/s}(x; s) dx \right] ds; \quad (2.28)$$

$$P_{I.R.} = \int_{|s| \leq D_t} g(s) \left[\int_{|x| > R_c} u_{N/s}(x; s) dx \right] ds. \quad (2.29)$$

Помилки у визначенні координат ПО за допомогою АЗС-В в загальному вигляді можуть мати ненульові зсуви $\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} = R_c$. Стан, в якому АЗС-В вимірює координати ПО із зсувами, будемо називати відмовою. Така імовірність стану дорівнює P_f . Априорна щільність ймовірності помилок вимірювання координат ПО за допомогою АЗС-В при відмові позначимо як $w_N^f(x; \Delta)$. Тоді і щільність різниці випадкових величин $R - N$ також матиме параметр зсуву Δ . Отже, умовну щільність помилок вимірювання координат ПО системою АЗС-В при відмові слід записувати зі зміщенням $w_{N/s}^f(x; s, \Delta)$.

Облік стану відмови АЗС-В доповнює моделі хибної тривоги і ризику цілісності

$$P_{F.A.} = (1 - P_f) P_{F.A.}^{n.f.} + P_f P_{F.A.}^{f.}; \quad (2.30)$$

$$P_{I.R.} = (1 - P_f) P_{I.R.}^{n.f.} + P_f P_{I.R.}^{f.}; \quad (2.31)$$

де $P_{F.A.}^{n.f.}$ та $P_{I.R.}^{n.f.}$ - визначаються співвідношеннями (2.28) та (2.29)

$$P_{F.A.}^{f.} = \int_{|s| > D_t} g^f(s; \Delta = R_c) \left[\int_{|x| \leq R_c} u_{N/s}^f(x; s, \Delta = R_c) dx \right] ds, \quad (2.32)$$

$$P_{I.R.}^{f.} = \int_{|s| \leq D_t} g^f(s; \Delta = R_c) \left[\int_{|x| > R_c} u_{N/s}^f(x; s, \Delta = R_c) dx \right] ds. \quad (2.33)$$

Зауважимо, що ймовірність події, при якому помилка визначення місцеположення ПО не перевищує поріг R_c або помилку виявлено, тобто цілісність P_I об'єднує в собі три з чотирьох можливих подій: «правильне невиявлення», «правильне виявлення» і «хибну тривогу», внаслідок чого

$$P_I = 1 - P_{I.R.} \quad (2.34)$$

де $P_{I.R.}$ визначається виразом (2.31).

Таким чином, цілісність координатної інформації АЗН-В визначає ймовірність того, що інформація про координати ПО, що передається в повідомленнях АЗС-В і використовується диспетчером в цілях ОПР, не містить невиявлених помилок, що перевищують поріг R_c .

Розроблено моделі оцінки ймовірностей хибної тривоги $P_{F.A.}$, ризику цілісності $P_{I.R.}$ та цілісності P_I координатної інформації АЗН-В на основі порівняння міток горизонтального положення ПО від двох незалежних РЛС ОПР.

Розроблено алгоритм забезпечення цілісності інформації АЗС-В з використанням зазначених моделей.

Представлений підхід забезпечення цілісності інформації АЗС-В може бути всеосяжним в припущенні, що на борту ПО координатна інформація визначається відразу від двох незалежних систем ГНРЛС.

Висновки за розділом 2

1. На основі фундаментальних міркування щодо деталізації спостереження котрі витікають з потреби задовольнити сукупність основних вимог до яких відносяться отримання інформації від ПО (збір даних); передавання інформації ПО (надсилання запитів по інформацію або доставки на борт ПО інформації, що була створена на землі); оброблення інформації від ПО, розповсюдження та організація запитів на обслуговування на рівні підсистеми локального спостереження; оброблення інформації від ПО, розповсюдження та організація запитів на обслуговування на регіональному рівні запропонована інформаційна модель спостереження ПП.
2. Показано, що основою ІЗ системи контролю ПП є первинні та вторинні радіолокаційні системи спостереження котрі сумісно дають користувачеві інформацію про те, «хто» знаходиться «де» і «коли». Наводиться інформаційна модель такої радіолокаційної системи спостереження котра включає дві локальні та одну дистанційну підсистеми спостереження (ПС) і процесор обробки інформації.

3. Показано, що інтегральним показником якості ІЗ може бути імовірність ІЗ яка є складовою імовірності виявлення сигналів, об'єктів та, імовірності порівняння та об'єднання інформації. Наведено математичні вирази для визначення складових інтегрального показника якості ІЗ.
4. Показано, що для сумісній РЛС у складі первинної, вторинної та ідентифікаційної РЛС значний вплив на інтегральний показник якості ІЗ чинить як КГ ЛВ вторинних РЛС, котрий може управлятися зацікавленою стороною за рахунок постановки корельованих завад, що дуже небезпечно, так і від відношення сигнал/шум первинної РЛС.
5. Синтезовано структуру виявлення сигналів на базі сумісних РЛС ПП яка враховує інформацію як первинних так і вторинних РЛС при формуванні інформаційного пакету, що дозволило підвищити якість ІЗ користувачів.
6. Показано, що сумісна оптимізація етапів обробки даних мережі РЛС можлива тільки при централізованій обробці інформації. Величина аналогового порогу виявлення сигналів використовується в якості параметру при сумісній оптимізації обробки даних спостереження. Для оптимізації виміру стану ПО повинні передаватися, у складі формуляру ПО, матриці точності виміру параметрів сигналу та координат ПО попередніх етапів обробки інформації.
7. Розроблено математичні моделі оцінки імовірності хибної тривоги та ризику цілісності та цілісності координатної інформації мовного автоматичного залежного спостереження на основі порівняння міток горизонтального положення ПО від двох незалежних РЛС. Розроблено алгоритм забезпечення цілісності інформації мовного автоматичного залежного спостереження з використанням зазначених моделей.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Підвищення якості ІЗ користувачів інформації РЛС ПП може бути досягнуте за рахунок підвищення кожної складової якості ІЗ. Однак, слід зауважити, що досягти задовільної якості ІЗ споживачів при такому підході не завжди можливо. Це обумовлено структурною несумісністю первинних та вторинних РЛС. Дійсно, забезпечити достатній рівень завадозахищеності комплексу який включає первинну та вторинну РЛС (а тільки такий комплекс може забезпечити повний формуляр ПО) не дозволяє вторинна РЛС, яка у теперішньому вигляді має дуже низку скритність, а також завдяки принципу побудови у вигляді одноканальної системи масового обслуговування з відмовами має низку завадостійкість.

Пошуку методів підвищення якості ІЗ споживачів системи контролю ПП і присвячено даний розділ.

3.1. Класифікація методів підвищення завадостійкості радіолокаційних систем повітряного простору

Можливі методи які дозволяють підвищити якість ІЗ користувачів системи контролю ПП показані на рис. 3.1. Як слідує з вищенаведеного підвищити якість ІЗ можливо за рахунок підвищення якості ІЗ первинних та вторинних РЛС, зокрема за рахунок оптимізації обробки сигналів відповіді вторинних РЛС та оптимізації сумісної обробки сигналів первинних та вторинних РЛС (рис. 3.1). Однак ці методи не вирішують головної задачі ІЗ, пов'язаної з низкою завадозахищеністю вторинних РЛС, розв'язати котру можливо тільки завдяки спадкоємному переходу до єдиної інформаційної мережі РЛС [42].

Розглянемо таку можливість для первинних та вторинних РЛС.

Дійсно первинні РЛС мають низку прихованість і, як наслідок, низку завадозахищеність. Підвищити завадозахищеність первинних РЛС можливо за рахунок спадкоємного переходу до багатопозиційної [1,26,30,81 та інші.] та мережевої [29,71] побудови.

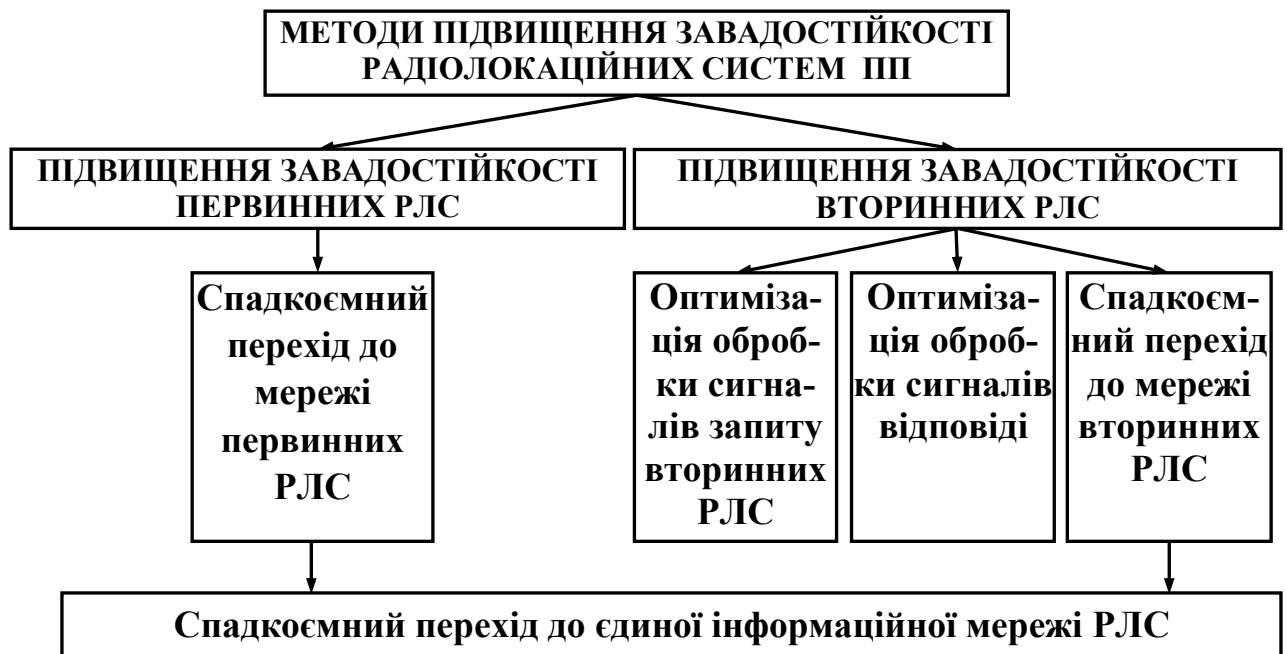


Рисунок 3.1 – Методи підвищення завадостійкості РЛС ПП

Мережевій побудові інформаційних засобів приділяється значна увага у теперішній час. Зокрема, існуючі національні єдині системи контролю використання ПП, як правило, реалізовані на мережевому використанні окремих інформаційних засобів (програми 968Н, АРЛС та ін.) [4]. Основними завданнями цих програм є об'єднання в загальну мережу існуючих РЛС різних відомств і централізоване управління цією мережею вищестоячим органом. Об'єднана інформація мережі видається споживачам. З'єднання декількох первинних РЛС лініями зв'язку дозволяє розширити зону видимості за межами максимальної дальності одиночній РЛС, яка обмежена або межами прямої видимості, або потужністю випромінювання радіолокаторів. Такого результату можна добитися при мінімальному перекритті зон видимості РЛС, тим самим, зводячи до мінімуму кількість прийомних датчиків, розгорнутих в заданій області. Проте об'єднання в мережу РЛС, що перекриваються зонами видимості, пов'язано з

низкою переваг. Одна з переваг полягає у збільшенні ймовірності виявлення в межах деякого інтервалу часу, який забезпечується мережевою системою РЛС, порівняно з випадком розрізнених РЛС, при цьому знижується ймовірність зриву супроводу. Як варіант, при заданій ймовірності зриву супроводу, ймовірність виявлення для кожної РЛС може бути знижена щодо випадку розрізнених РЛС. Це передбачає зниження потужності передавачів і зниження вартості кожної з РЛС. Залежно від типу прикладної задачі, об'єднання РЛС в мережу може виявитися більш зручним, ніж одиночна РЛС, яка і володіє високою потужністю і високою швидкістю видачі даних.

Ще одна з переваг мережевої побудови первинних РЛС є результатом відмінності в ефективних поверхнях розсіювання (ЕПР) ПО за різних трактах проходження сигналів між ПО та РЛС. Для розосереджених РЛС розкид ЕПР залежно від кута візування складає значну величину. Ця обставина дозволяє забезпечити надійне виявлення ПО з малою ЕПР в ЄІС.

Серед інших переваг, можна згадати надійність і безперервність супроводу при переході спостереження між сусідніми РЛС і підвищення точності супроводу ПО.

Мережева РЛС забезпечує більш високий темп видачі даних споживачеві, при відповідному зменшенні помилок фільтрації. Мережева структура, що дозволяє комбінувати дані, які від двох або більше РЛС, підвищує точність системи в цілому.

Ще однією перевагою мережевих систем є їх більш висока стійкість до природних і навмисним завад, і живучість, обумовлена складністю вогневого знищення інформаційних засобів (випромінювальних) протирадіолокаційними ракетами. Це є результатом незвичайної геометрії РЛС і можливості координувати в часі випромінювання останніх. Крім того, висоту ПО і сумарний вектор швидкості можна оцінити, відповідним чином комбінуючи дані вимірювань, що видаються РЛС. При об'єднанні в мережу забезпечуються розширені можливості реконфігурації системи у разі виникнення відмов у роботі РЛС. Тим самим досягається велика надійність радіолокаційного огляду контрольованого простору.

Однак такий принцип організації мережі збіднює інформаційне забезпечення споживачів. Дійсно, споживачеві часто потрібна інформація конкретного джерела, а не об'єднана інформація мережі. Крім того, включення окремих РЛС в ЄІМ на принципі механічного об'єднання тільки інформації не розв'язує проблем окремих інформаційних засобів, зокрема, вторинних РЛС, спільного функціонування систем первинних та вторинних РЛС і т.д. Це стимулює пошук нових принципів організації ЄІМ, в якій поєднувалося б повне і надійне ІЗ споживачів, а також вирішувалися проблеми функціонування окремих інформаційних засобів.

Поряд із первинними РЛС важливе місце в об'єднаній цивільно-військовій системі організації повітряного руху займають засоби вторинних РЛС. Вони були та залишаються основними джерелами обміну необхідною та додатковою інформацією між наземними системами та ПО та ідентифікації ПО за ознакою «свій-чужий». Існуючі вторинні РЛС побудовані за принципом несинхронної мережі, обслуговування першого правильно прийнятого сигналу запиту (СЗ) і відкритої системи масового обслуговування з відмовами. Така побудова останніх відкриває широкі можливості зацікавленій стороні у несанкціонованому використанню відповідачів цих систем для дальнього виявлення ПО, а також для повної паралізації шляхом постановки корельованих завад необхідної інтенсивності. При роботі відповідача тільки в поле дії багатьох вторинних РЛС, що створюють внутрішньосистемні завади, КГ відповідача завжди менше одиниці. Коефіцієнт готовності відповідача залежить від інтенсивності потоку СЗ, утвореного потоком СЗ від вторинних РЛС, потоком навмисних корельованих завад, а також потоком СЗ, що утворився з потоку навмисних і ненавмисних некорельованих завад.

Можливо стверджувати, що сучасні вторинні РЛС побудовані за мережним принципом, що і призвело до виникнення завад. Пошук методів захисту вторинних РЛС від НКЗ є актуальним.

Відомо, що основою подавлення завад є розбіжності між корисним сигналом і завадою. Побудова існуючих вторинних РЛС, як показано вище, виключає розбіжності між корисним сигналом і завадою ні за простором ні за часом.

Створення просторових розходжень між сигналами вторинних РЛС і НКЗ, хоча й можливо, однак приводить до значних матеріальних витрат і приводить до складності функціонування таких систем. Іншим методом створення розбіжностей між корисними сигналами та НКЗ є часові розбіжності.

Пошук часових розбіжностей між корисними сигналами та НКЗ приводить, як показано в [69], до зміни принципу організації мережі вторинних РЛС. Перехід від несинхронної мережі до синхронної мережі (СМ) вторинних РЛС дозволяє штучно створити часові розбіжності між корисними СЗ та завадами [69]. Часові розходження між корисними СЗ та НКЗ проявляються в часі надходження. Це дозволяє перевести НКЗ у несинхронну заваду, методи захисту від якої досить вивчені.

Слід зауважити що побудова вторинних РЛС дозволяє перейти від принципу обслуговування СЗ до принципів обслуговування абонента (запитувача) або обслуговування мережі у цілому. У вторинних РЛС, що реалізують перший принцип у ЛВ, обслуговується конкретний запитувач, а в вторинних РЛС, реалізованих на другому принципі - обслуговується всі запитувачі мережі.

Таким чином, запропоновані методи дозволяють підвищити якість ІЗ користувачів за рахунок:

- спадкоємного переходу до мережної побудови первинних та вторинних РЛС, що призведе до підвищення завадостійкості та завадозахищеності зазначених РЛС;
- спадкоємного переходу до єдиної інформаційної мережі РЛС у якій розв'язується проблема сумісного функціонування первинних та вторинних РЛС.

3.2. Синтез структури виявлення повітряних об'єктів при централізованій обробці інформації у мережі систем спостереження

Єдина інформаційна мережа РЛС, принципи організації якої визначені нами вище, розширює можливості в реалізації різних видів розподіленої обробки інформації в порівнянні з існуючою угрупованням інформаційних засобів.

Перехід до синхронних мереж РЛС істотно розширює можливості систем обробки інформації. Дійсно, обробка інформації може здійснюватися:

- на рівні прийняття рішень про виявлення сигналів;
- на рівні прийняття рішень про виявлення повітряних об'єктів.

Проведемо синтез і аналіз структури виявлення ПО при розглянутих варіантах централізованої обробки інформації. При цьому будемо вважати, що мається R РЛС котрі здійснюють синхронний огляд простору, що допускає можливість узгодити одночасне надходження інформації від однойменних елементів дозволу як за часом так і за простором.

Будемо вважати, що на вхід пристрою обробки споживача надходять рішення про виявлення сигналів з R РЛС. Синтезуємо структуру виявлювача ПО за даними, що поступають.

В кожній з РЛС $r = (\overline{1, R})$, що розглядаються, прийняті сигнали після оптимальної лінійної обробки те детектування порівнюються в пороговому пристрою (ПП) з порогом. Після ПП на подальшу обробку надходять реалізації $x_i = 1$, коли у елементі часового дозволу $i = (\overline{1, M})$, відповідно до аналізуемого просторового розділення, відбулося перевищення порога; коли ж не відбулося - то $x_i = 0$. Таким чином, з РЛС споживачеві надається сукупність реалізацій x_i , з потрібними показниками якості виявлення.

У такій постановці питання виявлення ПО спостерігач має в своєму розпорядженні R матрицю реалізацій $\vec{X} = \|x_{rij}\|$ де $x_{rij} = 1$, якщо в елементі часового дозволу $[r = \overline{1, R}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}]$ відповідному аналізованому просторовому дозволу, відбулося перевищення порогу; якщо ж не відбулося – $x_{ij} = 0$, N – число сигналів в пачці.

Для ухвалення рішення про виявлення ПО при сумісній обробці на рівні сигналів піддається сукупність нулів і одиниць x_{ik} . Очевидно, що x_{ij} – випад-

кова величина, що підкоряється розподілу Бернуллі:

$$P(x_{rij}) = P_{rij}^{x_{rij}} (1 - P_{rij})^{1-x_{rij}}, \quad (3.1)$$

де P_{rij} – ймовірність перевищення порогу в i -м часовому каналі обробки. У відсутність сигналу $P_{rij} = F_{rij}$ – ймовірність хибної тривоги, а при дії сигналу $P_{rij} = D_{rij}$ – ймовірність виявлення сигналу в РЛС.

Припустимо, що на вхід пристрою сумісної обробки усього масиву сигналів, що приймаються, поступає сукупність наведених вище випадкових величин. Сумісні розподіли ймовірності всіх можливих комбінацій x_{rij} як у відсутність, так і за наявності сигналу (гіпотези H_0 і H_1), тобто $P(x_{rij}|H_0)$ і $P(x_{rij}|H_1)$ довільні, але відомі. Для кожної конкретної сукупності x_{rij} сформуємо відношення правдоподібності:

$$\Lambda = \frac{P(x_{rij}|H_1)}{P(x_{rij}|H_0)}. \quad (3.2)$$

Порівняння Λ з порогом, визначеним за допустимою ймовірністю хибної тривоги, забезпечує оптимальне за критерієм Неймана-Пірсона рішення про наявність або відсутність сигналу x_{rij} .

Через незалежність шумів в каналах часової обробки можна записати:

$$\begin{aligned} P(x_{111}, \dots, x_{RMN}|H_0) &= \\ &= \prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} P(x_{rij}|H_0) = \prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} F_{rij}^{x_{rij}} (1 - F_{rij})^{1-x_{rij}}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

При дії сигналу перевищення порогів в каналах обробки – незалежні події. Тоді можна записати:

$$\begin{aligned} P(x_{111}, \dots, x_{RMN}|H_1) &= \\ &= \prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} P(x_{rij}|H_1) = \prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} D_{rij}^{x_{rij}} (1 - D_{rij})^{1-x_{rij}}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

З обліком (3.18) і (3.19) вираз (3.17) можна записати як:

$$\Lambda = \frac{\prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} D_{rij}^{x_{rij}} (1 - D_{rij})^{1-x_{rij}}}{\prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} F_{rij}^{x_{rij}} (1 - F_{rij})^{1-x_{rij}}}. \quad (3.5)$$

При логарифмуванні (3.20), отримуємо:

$$L = \ln \Lambda = \sum_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} x_{rij} (\ln D_{rij} - \ln F_{rij}) + (1 - x_{rij}) [\ln(1 - D_{ij}) - \ln(1 - F_{rij})]. \quad (3.6)$$

Якщо позначити множники x_{rij} :

$$\begin{aligned} Q_{rij} &= \ln D_{rij} - \ln F_{rij} - \ln(1 - D_{rij}) + \ln(1 - F_{rij}) = \\ &= \ln \left(\frac{D_{rij}(1 - F_{rij})}{(1 - D_{rij})F_{rij}} \right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

і відкинути доданки, що не залежать від x_{rij} , то отримуємо оптимальний, по критерію Неймана-Пірсона, алгоритм виявлення ПО при об'єднанні попередніх вирішень всіх часових каналів обробки:

$$L = \sum_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} Q_{rij} x_{rij} \stackrel{\leq}{\geq} z_0, \quad (3.8)$$

де z_0 поріг, що визначається ймовірністю F (хибного захоплення траєкторії).

Отже, сумісна обробка сигналів зводиться до вагового підсумовування одиниць і нулів x_{rij} що відображають прийняті в часових каналах обробки попередні рішення. Вагові коефіцієнти (3.7) підвищують роль того часового каналу обробки, де вище ймовірність D_{rij} і нижче ймовірність F_{rij} . Вищевикладене дозволяє зобразити структуру виявлювача у вигляді, представленому на рис. 3.2.

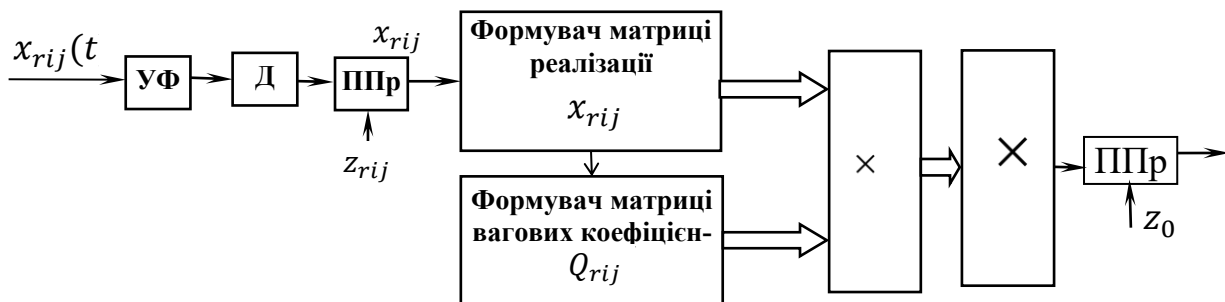


Рис. 3.2. Структура оптимального виявлювача ПО

Оскільки x_{rij} дорівнюють 0 або 1, то ліва частина (3.8) являє собою суму $l < R \times M \times N$ вагових коефіцієнтів Q_{rij} а це означає що, може приймати лише певні дискретні значення. Значення порогу z_0 у цьому випадку може лежати в

межах $0 < z_0 < \sum_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} Q_{rij}$ щоб, з одного боку, не приймалось завжди тривіальне рішення про виявлення ПО, а з іншого – тривіальне рішення про невиявлення ПО.

При фіксованій ймовірності попередніх рішень в часових каналах обробки F_{rij} і D_{rij} різні вирішальні правила дають різні значення ймовірності F і D . Щоб вибрати оптимальне правило, тобто поріг z_0 у (3.8), отримуємо вираз для ймовірності хибної тривоги F і виявлення D . Оскільки x_{rij} підкоряються розподілу Бернуллі (3.1) з щільністю $W(x_{rij}) = P_{rij}\delta(x_{rij} - 1) + (1 - P_{rij})\delta(x_{rij})$, то для випадкової величини $z_{rij} = Q_{rij}x_{rij}$ отримуємо щільність ймовірності і характеристичну функцію у вигляді:

$$W(z_{rij}) = P_{rij}\delta(z_{rij} - Q_{rij}) + (1 - P_{rij})\delta(z_{rij}),$$

$$\Theta(u) = P_{rij}\exp(juQ_{rij}) + (1 - P_{rij}).$$

Характеристична функція L – суми незалежних величин (3.7):

$$\Theta_L(u) = \prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} \Theta_{rij}(u) = \prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} P_{rij}\exp(juQ_{rij}) + (1 - P_{rij}). \quad (3.9)$$

Зворотне перетворення Фур'є дає щільність ймовірності L :

$$W_L(u) = \prod_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} (1 - P_{rij})\delta(z) +$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i_1=1}^{m-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^m P_{i_1}P_{i_2} \dots P_{i_k} \delta(z - \sum_{r=1}^k Q_{ir}) \prod_{j=1}^m (1 - P_j). \quad (3.10)$$

При зміні k від 1 до z кратність суми в (3.10), в загальному випадку, також міняється від 1 до z . Підставивши в (3.10) F_{rij} або D_{rij} і інтегруя його від z_0 до ∞ отримуємо ймовірність хибної тривоги або виявлення. Якщо найбільше найближче z_0 значення суми вагових коефіцієнтів містить n доданків і дорівнює $\sum_{r=1, i=1, j=1, k=1}^{R, M, N} Q_{rij}$ то ймовірність перевищення порогу z_0 можна записати у вигляді:

$$P = \sum_{k=n}^m \sum_{i_1=1}^{m-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^m P_{i_1}P_{i_2} \dots P_{i_k} \prod_{j=1}^m (1 - P_j). \quad (3.11)$$

Якщо $F_1 = \dots F_m = F_0$ і $D_1 = \dots D_m = D_0$, то $Q_1 = \dots Q_m$ і для алгоритму (3.10) можна записати:

$$P = \sum_{n=k}^m C_m^n \tilde{P}^n (1 - \tilde{P})^{m-n}. \quad (3.12)$$

За виразами (3.11) та (3.12) при заданих значеннях F_{rij} , D_{rij} можна обчислити вихідну ймовірність F і D для будь-якого значення порогу z_0 і відповідного йому вирішального правила. Чим більше z_0 (тобто чим жорсткіше вирішальне правило), тим менше F і D . Алгоритм (3.12), оптимальний при $Q_1 = Q_z$ дещо простіше, ніж (3.11), оскільки не вимагає аналізу в кожному часовому каналі ймовірності F_{rij} , D_{rij} і обчислюванні Q_{rij} .

Таким чином, оптимізація виявлення ПО за даними РЛС ЄІМ зводиться до вибору одного з вирішальних правил, що задовольняють алгоритму (3.8) і до вибору відносного порогу виявлення сигналів, що забезпечує таке значення F_{rij} , які при вибраному вирішальному правилі дають необхідне значення результуючої ймовірності хибного виявлення ПО F .

Проведемо дослідження якості виявлення синтезованою структурою. На рис. 3.3 - 3.7 наведені розрахунки якості виявлення ПО. При розподіленій обробці у цьому разі є дві схеми:

- ВН – виявлення сигналів та накопичення (рис. 3.3);
- НВ – накопичення сигналів та виявлення (рис. 3.4).

Розрахунки проведені для чотирьох РЛС дві з яких первинні, а дві вторинні.

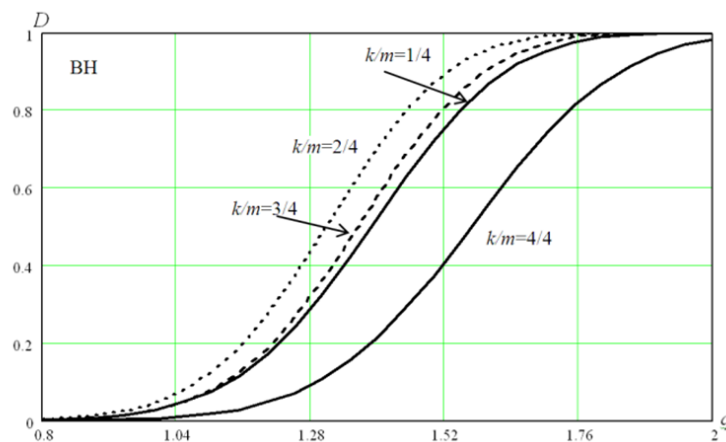


Рисунок 3.3 – Мережеве виявлення ПО

Порівняльний аналіз рис. 3.3 та рис. 3.4 показує що при різних логіках обробки потрібно змінювати і схему виявлення. Наглядно це показано на рис. 3.5,

з якого видно, що при логіці $\frac{1}{4}$ ліпшу якість дає схема НВ, а для логіки $\frac{3}{4}$ - схема ВН.

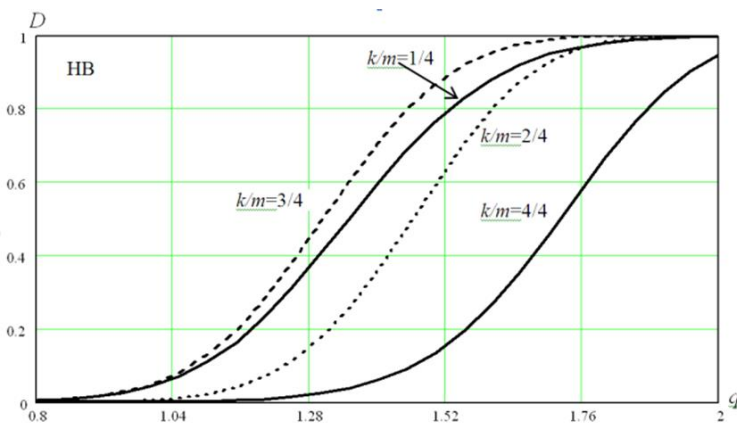


Рисунок 3.4 – Мережеве виявлення ПО

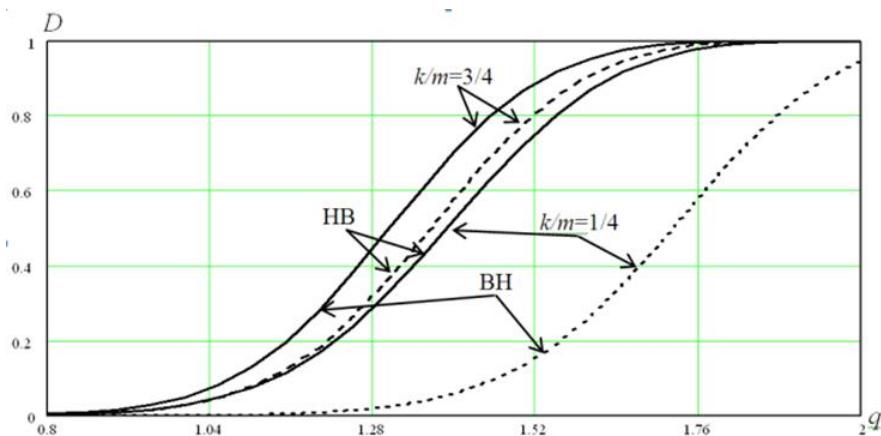


Рисунок 3.5 – Мережеве виявлення ПО

Залежність $D = f(q, P_0)$ наведена на рис. 3.6 для схеми НВ і на рис. 3.7 для схеми ВН.

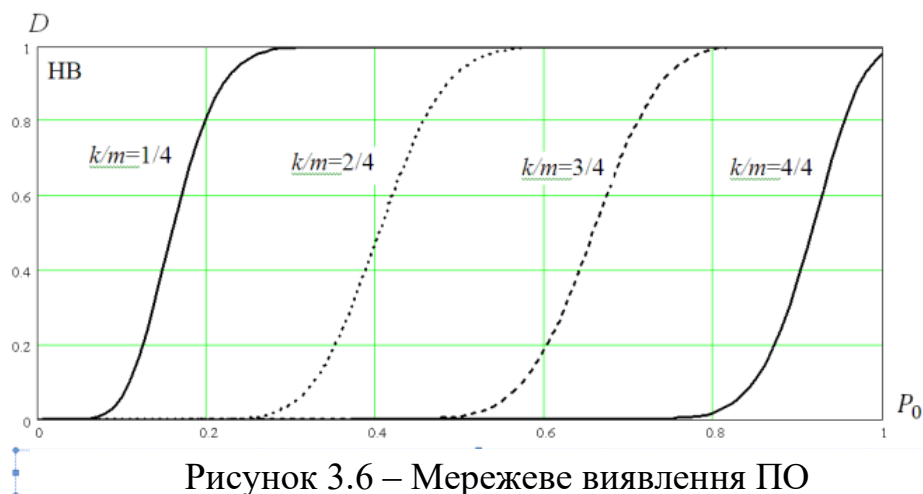


Рисунок 3.6 – Мережеве виявлення ПО

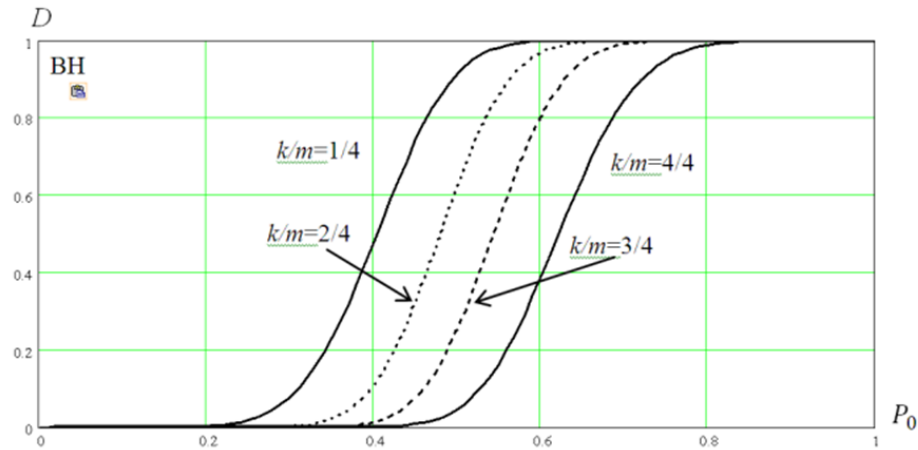


Рисунок 3.7 – Мережеве виявлення ПО

Представлені залежності показують, що схема ВН менш чутлива до КГ ЛВ.

3.3. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення на основі оптимізації обробки сигналів вторинних систем спостереження

3.3.1. Оптимізація виявлення сигналів у вторинних системах спостереження. Вторинні РЛС мають канали запиту та відповіді, що потребує виявлення сигналів як на відповідачі так і на запитувачі. У зв'язку з цим статистичне трактування процесу виявлення в вторинних РЛС може бути представлено як показано на рис. 3.8. Точки x , n , y і γ на даній схемі належать просторам параметрів сигналу (С), завади (З), спостережень (СП) і рішень (Р), відповідно. Індекси 1 і 2 позначають належність до каналів запиту й відповіді. Перетворювач відповідача здійснює однозначне перетворення всіх точок простору рішень відповідача в простір параметрів сигналу, переданого по каналу відповіді.

Будемо розглядати задачу виявлення сигналу у вторинній РЛС як перевірку двох гіпотез і спробуємо знайти оптимальне правило оцінки у випадку довільної функції вартості.

Нехай простір C_1 містить у собі тільки дві точки x_{10} й x_{11} які відповідають відсутності СЗ й прийняттю СЗ з амплітудою, рівною граничному значенню виявлення. Відповідно інші простори також містять по дві точки, які будемо поз-

начати тими ж індексами. Ціни прийнятих вторинною РЛС рішень у розглянутому випадку можна описати матрицею вартостей

$$\vec{C} = \begin{vmatrix} C(\gamma_{20}, x_{10}) & C(\gamma_{20}, x_{11}) \\ C(\gamma_{21}, x_{10}) & C(\gamma_{21}, x_{11}) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{1-\alpha} & C_{\beta} \\ C_{\alpha} & C_{1-\beta} \end{vmatrix}.$$

Відповідно, загальний вираз середнього ризику можна записати

$$R = \sum_{C_1, CP_1, P_1, CP_2, P_2} P(x_1)P(y_1|x_1)\delta(\gamma_1|y_1)P(y_2|x_2)\delta(\gamma_2|y_2)C(\gamma_2; x_1), \quad (3.13)$$

де $P(x_1)$ – апіорний розподіл імовірностей значення параметра x_1 ; $P(y_1|x_1)$ та $P(y_2|x_2)$ – умовні функції правдоподібності (ФП) для реалізацій, прийнятих відповідачем і запитувачем; $\delta(\gamma_1|y_1)$ та $\delta(\gamma_2|y_2)$ – правила рішень, що описують алгоритм роботи відповідача й запитувача.

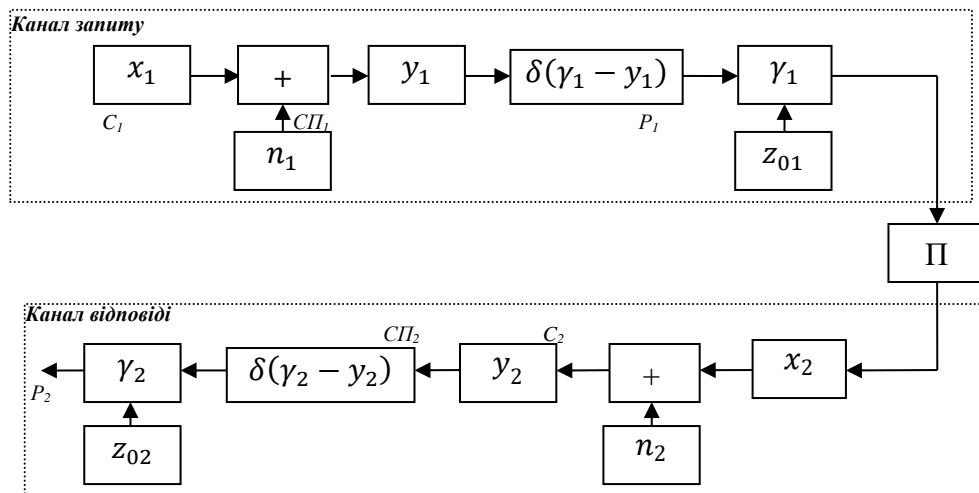


Рисунок 3.8 – Процес виявлення сигналів у вторинних СС

Припустимо, що перетворювач рішень (ПР) у СВ ідеальний. У цьому випадку можна записати

$$P(y_2|x_2) = P(y_2|\gamma_1).$$

Таким чином, оптимальне правило прийняття рішення у відповідачі можна знайти шляхом мінімізації виразу (3.13) як функціонала від $\delta(\gamma_1|y_1)$.

Враховуючи, що умовна функція розподілу імовірностей прийнятих запитувачем рішень, що характеризує якість роботи вирішального пристрою запитувача, дорівнює

$$P(y_2|x_2) = P(y_2|\gamma_1) = \sum_{P_2} \delta(\gamma_2|y_2)P(y_2|\gamma_1) = \sum_{P_2} \delta(\gamma_2|y_2)P(y_2|x_2)$$

і щоб $\delta(\gamma_{11}|y_1) + \delta(\gamma_{10}|y_1) = 1$, вираз (3.13) можливо записати в наступному вигляді

$$\begin{aligned} R = \sum_{CP_1} \delta(\gamma_{11}|y_1) & \left\{ \sum_{C_1} P(y_1|x_1) \sum_{P_1} P(\gamma_2|\gamma_{11})C(\gamma_2; x_1) \right. \\ & \left. - \sum_{C_1} P(y_1|x_1)P(x_1) \sum_{P_2} P(\gamma_2|\gamma_{10})C(\gamma_2; x_1) \right\} + \\ & + \sum_{C_1} P(x_1) \sum_{P_2} P(\gamma_2|\gamma_{10})C(\gamma_2; x_1). \end{aligned} \quad (3.14)$$

Як видно з (3.14), оптимальне правило, яке мінімізує середній ризик $\delta(\gamma_{11}|y_1)=1$ за умови, якщо

$$\sum_{C_1} P(y_1|x_1)P(x_1) \sum_{P_2} P(\gamma_2|\gamma_{11})C(\gamma_2; x_1) \leq \sum_{C_1} P(y_1|x_1)P(x_1) \sum_{P_2} P(\gamma_2|\gamma_{10})C(\gamma_2; x_1). \quad (3.15)$$

Використовуючи рівність $P(\gamma_{21}|\gamma_1)+P(\gamma_{20}|\gamma_1)=1$, можливо спростити вираз (3.15). Після перетворень остаточно отримуємо

$$\frac{P(y_1|x_{11})P(x_{11})}{P(y_1|x_{10})P(x_{10})} \geq \frac{C_\alpha - C_{1-\alpha}}{C_\beta - C_{1-\beta}}.$$

Таким чином, оптимальний у байєсовому значенні відповідач має порівнювати з порогом узагальнене відношення правдоподібності. Величина порога не залежить від алгоритму і якості роботи запитувача й повністю визначається заданими для системи в цілому вартостями рішень.

Для визначення байєсова правила рішень на запитувачі введемо модифіковану для дволанкової системи ФП

$$P(y_2|x_1) = \sum_{P_1} P(y_2|\gamma_1)P(\gamma_1|x_1) + \sum_{H_1} \sum_{P_1} P(y_2|\gamma_1)\delta(\gamma_1|y_1)P(y_1|x_1).$$

З використанням цього виразу (3.13) приводиться до відомого для однола-
нкової системи виду

$$R = \sum_{C_1} \sum_{H_1} \sum_{P_2} P(x_1) P(y_2 | x_1) \delta(\gamma_2 | y_2) C(\gamma_2; x_1). \quad (3.16)$$

Правило рішень, що мінімізує середній ризик (3.16), можна сформулювати
як $\delta(\gamma_{21} | y_2) = 1$ у тому випадку, якщо

$$\frac{P(y_2 | x_{11}) P(x_{11})}{P(y_2 | x_{10}) P(x_{10})} \geq \frac{C_\alpha - C_{1-\alpha}}{C_\beta - C_{1-\beta}}.$$

Для показу алгоритму роботи відповідача представимо модифіковане ВП
у вигляді

$$\Lambda = \frac{P(x_{11}) \sum_{P_1} P(y_2 | \gamma_1) P(\gamma_1 | x_{11})}{P(x_{10}) \sum_{P_1} P(y_2 | \gamma_1) P(\gamma_1 | x_{10})} = \frac{P(x_{11}) [P(y_2 | x_{20})(1 - P_o) + P(y_2 | x_{21}) P_o]}{P(x_{10}) [P(y_2 | x_{20})(1 - F_o) + P(y_2 | x_{21}) F_o]}, \quad (3.17)$$

де $P_o = P(\gamma_{11} | x_{11})$ – імовірність випромінювання відповідачем сигналу при наяв-
ності СЗ, $F_o = P(\gamma_{11} | x_{10})$ – та ж імовірність при відсутності СЗ.

Таким чином, оптимальний у байєсовому сенсі відповідач має для кожної
прийнятої реалізації формувати статистику (3.17), що враховує якість роботи
відповідача, і порівнювати її з порогом, величина якого повністю визначається
заданими цінами рішень.

Отже, необхідність урахування на запитувачі якості роботи відповідача, а у
відповідачі - функції цін для вторинної РЛС у цілому, є специфічною особливі-
стю виявлення сигналів, оптимальної за байєсовим критерієм вторинної РЛС.

**3.3.2. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в
літакових відповідачах вторинних систем спостереження.** Як нами наве-
дено вище підвищення якості ІЗ користувачів системи КПП можливо за раху-
нок підвищення кожної з складової яка входить до виразу (2.3).

Виявлювач СЗ в ЛВ є багатоканальним. Це обумовлено наявністю декількох антенних систем, що працюють як на прийом СЗ, так і випромінювання СВ [4]. Після порогових пристроїв і дешифраторів сигнали підсумовуються елементом об'єднання. Однак слід враховувати, що параметри прийнятих СЗ, прийняті різними каналами істотно відрізняються, що не враховується при побудові виявлювачів сигналів в існуючих ЛВ. Крім того, в існуючих ЛВ об'єднанню підлягає попередні рішення про виявлення СЗ, здійснені, як правило, дешифратором, тобто квазіоптимальним виявлювачем. Однак, СЗ, як відомо [2], містять кілька простих сигналів без внутрішньоімпульсної модуляції, часова розстановка яких і визначає код СЗ. Ці обставини дозволяють синтезувати оптимальний виявлювач СЗ в двох різних постановках:

- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних рішень про виявлення СЗ;
- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних імпульсів СЗ.

Будемо вважати, що число каналів прийому СЗ дорівнює m , а число імпульсів в СЗ становить n (значність коду). Отримаємо загальний алгоритм виявлення сукупності одиничних рішень i , на підставі отриманого алгоритму, розглянемо структури виявлювачів СЗ в ЛВ при зазначених вище постановках.

У кожному з каналів обробки ЛВ прийняті сигнали після оптимальної лінійної обробки і детектування порівнюються в ПП з порогом. Після ПП на подальшу обробку надходить реалізація $x_{ij} = 1$, якщо в елементі часового дозволу ($i = \overline{1, m}$) і ($j = \overline{1, n}$), відповідному аналізованому просторовому дозволу, відбулося перевищення порога; якщо ж не сталося – то $x_{ij} = 0$. Для прийняття рішення про наявність або відсутність сигналу при спільній міжканальній обробці піддається сукупність нулів і одиниць x_{ij} . Очевидно, що x_{ij} - випадкова величина, що підкоряється розподілу Бернуллі

$$P_{ij} = P_{ij}^{x_{ij}} (1 - P_{ij})^{1-x_{ij}}, \quad (3.18)$$

де P_{ij} - ймовірність перевищення порога в ij -му каналі обробки. В відсутність

сигналу $P_{ij} = F_{ij}$ - ймовірність хибної тривоги, а при впливі сигналу $P_{ij} = D_{ij}$ - ймовірність виявлення.

Задачу оптимальної обробки сигналів можна розглядати в різних постановках. Дійсно в розглянутому виявлювачі можливе управління напругою порога спрацьовування вихідного ПП, а також напругою порога каналних ПП. Розглянемо характеристики виявлювача при управлінні величиною порога тільки на вихідному ПП. Ймовірності хибної тривоги і правильного виявлення сигналів в каналах обробки будемо вважати заданими (хоча і довільними).

Припустимо, що на вхід пристрою сумісної обробки прийнятих сигналів надходить сукупність випадкових величин x_{ij} . Спільні розподілу ймовірностей всіх можливих комбінацій x_{ij} як у відсутності, так і при наявності сигналу (гіпотези H_0 та H_1), тобто $P(x_{ij}|H_0)$ та $P(x_{ij}|H_1)$ довільні, але відомі. Для кожної конкретної сукупності x_{ij} сформуємо відношення правдоподібності

$$\Lambda = P(x_{ij}|H_1)/P(x_{ij}|H_0). \quad (3.19)$$

Порівняння Λ з порогом, визначеним за допустимої ймовірності хибної тривоги, забезпечує оптимальне за критерієм Неймана-Пірсона рішення про наявність або відсутність сигналу.

Через незалежності шумів в каналах обробки можна записати

$$P(x_{ij}|H_0) = \prod_{i=1, j=1}^{m, n} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (3.20)$$

Легко бачити, що при впливі сигналу перевищення порогів в каналах обробки - незалежні події. Тоді можна записати

$$P(x_{ij}|H_1) = \prod_{i=1, j=1}^{m, n} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (3.21)$$

З урахуванням (3.20) і (3.21) вираз (3.19) можна записати як

$$\Lambda = \prod_{i=1, j=1}^{m, n} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}} / \prod_{i=1, j=1}^{m, n} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (3.22)$$

Прологарифмував (3.22) отримуємо

$$L = \ln \Lambda = \sum_{i=1, j=1}^{m, n} x_{ij} (\ln D_{ij} - \ln F_{ij}) + (1 - x_{ij}) [\ln(1 - D_{ij}) - \ln(1 - F_{ij})]. \quad (3.23)$$

Якщо позначити множники при x_{ij}

$$Q_{ij} = \ln D_{ij} - \ln F_{ij} - \ln(1 - D_{ij}) + \ln(1 - F_{ij}) = D_{ij}(1 - F_{ij}) / (1 - D_{ij}) F_{ij} \quad (3.24)$$

і відкинути доданки, які не залежать від x_{ij} , отримуємо оптимальний за критерієм Неймана-Пірсона алгоритм виявлення сигналів запиту при об'єднанні попередніх рішень виявлення сигналів або імпульсів всіх каналів обробки ЛВ

$$L = \sum_{i=1, j=1}^{m, n} Q_{ij} x_{ij} \leq z_0, \quad (3.25)$$

де z_0 - поріг, який визначається вихідний ймовірністю F .

Отже, оптимальна спільна обробка СЗ зводиться до вагового підсумовуванню одиниць і нулів x_{ij} , що відображають прийняті в каналі обробки попередні рішення. Вагові коефіцієнти (3.24) підвищують роль того каналу, де вища ймовірність D_{0ij} і нижча ймовірність F_{0ij} . Вагові коефіцієнти (3.24) залежать як від відношення с/ш, так і від рівня шумів в різних каналах обробки ЛВ.

Оскільки x_{ij} дорівнює 0 чи 1, то ліва частина (3.25) представляє собою суму $k < mn$ вагових коефіцієнтів Q_{ij} , а значити, може приймати тільки певні дискретні значення. Значення порогу z_0 в цьому випадку може лежати в межах $0 < z_0 < \sum_{i=1, j=1}^{m, n} Q_{ij}$, щоб, з одного боку, не приймалося завжди тривіальне рішення про виявлення, а з іншого - тривіальне рішення про невиявлення.

Якщо все Q_{ij} різні і сума будь-якої групи Q_{ij} не збігається з сумою будь-який інший їх групи, то при різних комбінаціях значень x_{ij} для розглядаемого нами випадку можливі $2^m - 1$ різних правил виявлення.

Слід зазначити, що підсумовування імпульсів сигналу запиту в каналах обробки здійснюється без ваг, через однакових відносин с/ш і рівня завад в каналі, що дещо спрощує алгоритм обробки. Зокрема, виявлювач сигналів в каналах для першої ситуації або крайовий виявлювач сигналів для другої ситуації

може бути виконаний у вигляді дешифратора з цілої логікою обробки (« n з n »). Безвесове підсумовування нулів та одиниць в каналах обробки і заміна виявлювача СЗ дешифратором не приводить до істотних втрат в пороговому відношенні с/ш.

В цьому випадку, для розглянутих нами ситуацій, вираз (3.25) можна записати:

- при міжканальному об'єднанні результатів виявлення СЗ

$$L = \sum_{i=1}^m Q_i \times (x_i = \prod_{j=1}^n x_j) \leq z_0, \quad (3.26)$$

- при міжканальному об'єднанні результатів виявлення імпульсів СЗ

$$L = \prod_{j=1}^n (x_j = \sum_{i=1}^m Q_i x_i \leq z_0). \quad (3.27)$$

Отримані алгоритми (3.26) і (3.27) дозволяють викласти структурні схеми виявлювачів СЗ, для розглянутих ситуацій між канального об'єднання попередніх каналних рішень про виявлення сигналів або імпульсів. В синтезованих інформаційних структурах мається три порогових пристрої: перший - ПП з аналоговим порогом, де відбувається виявлення імпульсів СЗ, другий - в дешифраторі (цифровий поріг) і третій - при виявленні об'єднаних імпульсів (сигналів) (цифровий поріг).

При фіксованих ймовірностях попередніх рішень в каналах обробки, як при виявленні СЗ, так і при виявленні імпульсів СЗ F_i та D_i , різні вирішальні правила дають різні значення ймовірностей F і D . Щоб вибрати оптимальне правило міжканального об'єднання попередніх рішень виявлення сигналу або імпульсу, тобто поріг z_0 в (3.25), (3.26) і (3.27), отримаємо вираз для ймовірностей хибної тривоги F і виявлення D . Так як x_i підкоряються розподілу Бернуллі (3.18) з щільністю $W(x_i) = P_i \delta(x_i - 1) + (1 - P_i) \delta(x_i)$ то для випадкової величини $z_i = Q_i x_i$ отримаємо щільність ймовірності та характеристичну функцію у вигляді

$$W(z_i) = P_i \delta(z_i - Q_i) + (1 - P_i) \delta(z_i),$$

$$\Theta(z_i) = P_i e^{juQ_i} + (1 - P_i).$$

Характеристична функція L - суми незалежних

$$\Theta(u) = \prod_{i=1}^m \Theta_i(u) = \prod_{i=1}^m P_i e^{juQ_i} + (1 - P_i). \quad (3.28)$$

Зворотнє перетворення Фур'є дає щільність ймовірності L при огляді по m

$$W_L(u) = \prod_{i=1}^m (1 - P_i) \delta(z) + \sum_{k=1}^m \sum_{i_1=1}^{m-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^m P_{i_1} P_{i_2} \dots P_{i_k} \delta(z - \sum_{r=1}^k Q_{ir}) \prod_{j=1}^m (1 - P_j). \quad (3.29)$$

При зміні k від 1 до m кратність суми в (12), в загальному випадку, також змінюється від 1 до m . Якщо розглядати випадок числа каналів обробки $m = 2$, то отримуємо

$$W_L(u) = \prod_{i=1}^2 (1 - P_i) \delta(z) + \sum_{i_1=1}^2 P_{i_1} \delta(zQ_{i_1}) \times \prod_{j=1}^2 (1 - P_j) + P_{i_1} P_{i_2} \left(\delta(z - (Q_{i_1} + Q_{i_2})) \right). \quad (3.30)$$

Для отримання ймовірності хибної тривоги або правильного виявлення, підставимо в (13) F_i або D_i , і проінтегруємо отриманий вираз в межах від z_0 до ∞ . Крім того, так як $z_0 > 0$, то перший член виразу (13) не дає вкладу в який вираховується інтеграл. Те ж відноситься до всіх членів, у яких в аргументі δ -функції $\sum_{r=1}^k Q_{ir} < z_0$. Якщо більшу найближче z_0 значення суми вагових коефіцієнтів містить n доданків і дорівнює $\sum_{r=1}^k Q_{ir}$, то ймовірність перевищення порога z_0 можна записати у вигляді

$$P = \sum_{k=n}^m \sum_{i_1=1}^{m-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^m P_{i_1} P_{i_2} \dots P_{i_k} \prod_{j=1}^m (1 - P_j). \quad (3.31)$$

Таким чином, оптимізація виявлення СЗ в ЛВ зводиться до вибору для сумісної обробки одного з вирішальних правил, що задовольняють алгоритму (3.25), (3.26) і (3.28) і до установки однакових відносних порогів в каналах обробки СЗ ЛВ, що забезпечують такі значення F_i , які при вибраному вирішальному правилі дають необхідну значення результуючої ймовірності F .

Розрахунок показників якості виявлення СЗ за наведеними вище виразами досить складний через необхідність розгляду відмінності заводових коливань і відносини с/ш в каналах обробки. Припустимо, що число каналів обробки дорівнює m , У кожному каналі обробки однакове ставлення с/ш. В цих умовах вагові коефіцієнти внутриканального і міжканального об'єднання однакові, а роз-

рахункові вирази для показників якості виявлення можна записати як:

- для виявлювача відповідно до (3.26)

$$P = \sum_{i=k}^m (P_1^n)^i (1 - P_1^n)^{m-i}; \quad (3.32)$$

- для виявлювача відповідно до (3.27)

$$P = \sum_{i=k}^m (P_1^i (1 - P_1)^{m-i})^n, \quad (3.33)$$

де k – цифровий поріг прийняття рішення; P_1 – імовірність виявлення одиночного імпульсу. За наведеними виразами при заданих F_0 і D_0 можна обчислити відповідні ймовірності для будь-якого значення цифрового порога.

Розрахунки якості виявлення СЗ в ЛВ для $m = 2$ представлені на рис. 3.9.

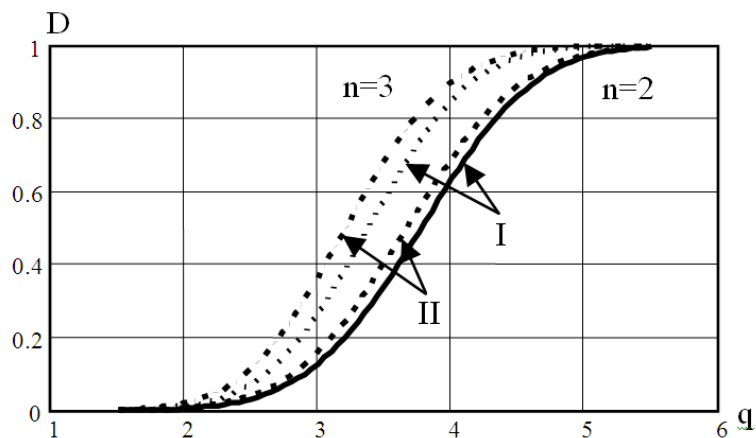


Рисунок 3.9 – Показники якості виявлення СЗ

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

- міжканальне об'єднання результатів виявлення імпульсів дозволяє отримати переваги в пороговому відношенні с/ш (близько 1 дБ) порівняно з міжканальним об'єднанням результатів виявлення СЗ;
- збільшення значності використовуваних СЗ вторинних РЛС дозволяє підвищити ймовірність виявлення їх в ЛВ.

3.4. Оптимізація структури обробки сигналів відповіді вторинних систем спостереження повітряного простору

Як показано нами вище структура ІЗ користувачів на базі первинної обробки інформації РЛС, включає канали первинної та вторинних РЛС. Для складання формуляру ПО у кожному каналі РЛС повинно бути здійснено:

- виявлення та вимірювання параметрів виявлених сигналів;
- виявлення та вимір координат виявлених ПО.

Крім того вторинною РЛС повинна бути прийнята та оброблена ПІ. Також повинні матися пристрої порівняння та поєднання інформації.

Розглянемо можливості підвищення якості ІЗ користувачів на основі оптимізації обробки сигналів вторинних РЛС. Існуючі вторинні РЛС побудовані за принципом несинхронної мережі, обслуговування першого правильно прийнятого сигналу запиту (СЗ) і відкритої системи масового обслуговування з відмовами [3]. Така побудова останніх відкриває широкі можливості зацікавленій стороні у несанкціонованому використанню відповідачів цих систем для дальнього виявлення ПО, а також для повної паралізації шляхом постановки корельованих завад необхідної інтенсивності. При роботі відповідача тільки в полі дії багатьох вторинних РЛС, що створюють внутрішньосистемні завади, КГ відповідача завжди менше одиниці.

На вхід вторинної РЛС можуть надходити флуктуаційні і імпульсні (хаотичні, внутрішньосистемні і т.д.) завади. У існуючих вторинних РЛС реалізована квазіоптимальна структура обробки СВ, яка включає: аналоговий пороговий пристрій та дешифратор (виявлювач РЛС) та виявлювач ПО на основі міжперіодної обробки (МО) пачки виявлених СВ. Проведемо зміну структури обробки СВ у якій спочатку виконаємо МО СВ, а після - декодування СВ, та обчислимо вплив такої обробки на імовірність ІЗ.

Будемо враховувати, що у пристрої МО використовується логіка k/N , для виконання якої необхідна наявність імпульсів СВ на одних і тих же ділянках дальності в k із N запитів, тобто k виступає в якості цифрового порогу, а у дешифраторі застосовується цілочисленна логіка n/n , для виконання якої необхідна наявність всіх імпульсів у СВ.

Можливо показати, що для існуючій структури обробки СВ імовірність виявлення ПО визначається як

$$D_1 = \sum_{i=k}^N C_N^k (P_0 D_{01}^n)^i (1 - P_0 D_{01}^n)^{N-i}, \quad (3.34)$$

де D_{01} - імовірність виявлення одиночного імпульсу СВ.

Для запропонованій структури обробки СВ імовірність виявлення СВ на виході пристрою МО визначається як

$$D_1 = \sum_{i=k}^N C_N^i P_0^N (1 - P_0)^{N-i} \sum_{l=k-i}^N C_{N-i}^l D_{01}^{N-l-i} (1 - D_{01})^{N-l-i},$$

а імовірність виявлення ПО як

$$D_2 = \sum_{i=k}^N C_N^i P_0^N (1 - P_0)^{N-i} \left[\sum_{l=k-i}^N C_{N-i}^l D_{01}^N (1 - D_{01})^{N-l-i} \right]^n. \quad (3.35)$$

Оцінимо вплив флуктуаційної завади у каналі відповіді та КГ ЛВ на ймовірність ІЗ користувачів на етапі первинної обробки інформації РЛС.

Розрахунки імовірності ІЗ користувачів РЛС при виявленні та виміри координат ПО на основі аналізу усієї пачки отриманих сигналів, різних КГ ЛВ та різних відношень сигнал/шум $q_{zap} = kq_{per}$ вторинних та первинних РЛС наведені на рис.3.10-3.13. При цьому безперервна крива відповідає ІЗ, котре забезпечує існуюча структура обробки СВ вторинних РЛС, а штрих-пунктирна – при модернізованому варіанті структури обробки СВ.

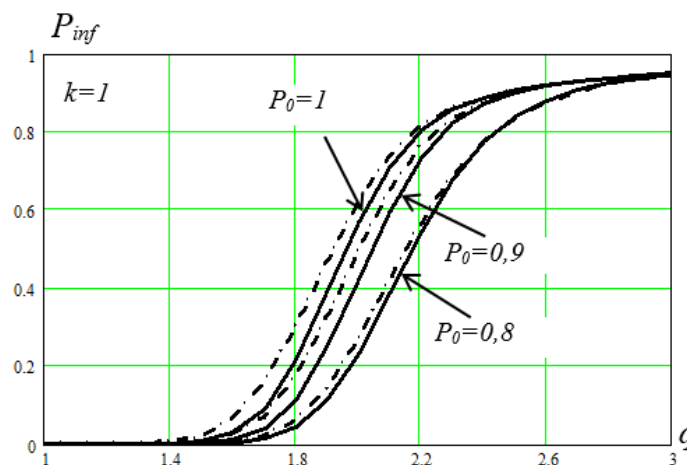


Рисунок 3.10 – Залежність $P_{inf} = f(k, P_0, q)$

Наведені розрахунки ІЗ користувачів дозволяють зробити наступні висновки:

- модернізована структура обробки СВ вторинних РЛС дозволяє підвищити якість ІЗ користувачів;
- модернізована структура обробки СВ вторинних РЛС дозволяє зменшити вплив КГ ЛВ на якість ІЗ;
- маються певні межі як КГ ЛВ так і різниці у відношенні сигнал/шум для первинної та вторинних РЛС при перевищенні котрих ефекту від модернізації структури обробки СВ не мається.

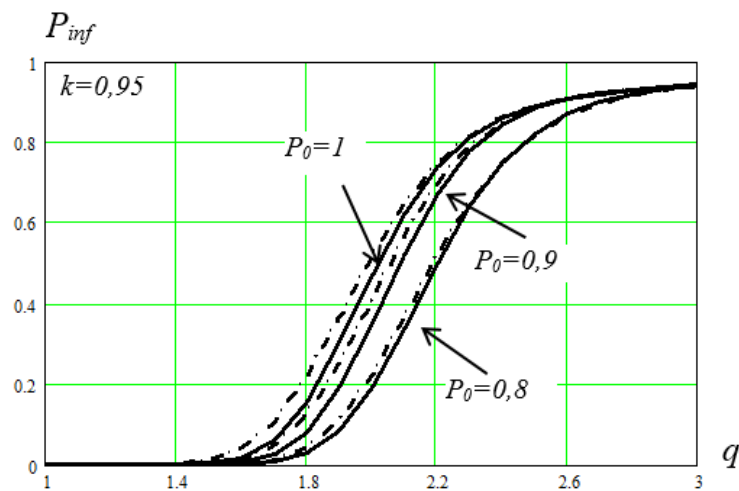


Рисунок 3.11 – Залежність $P_{inf} = f(k, P_0, q)$

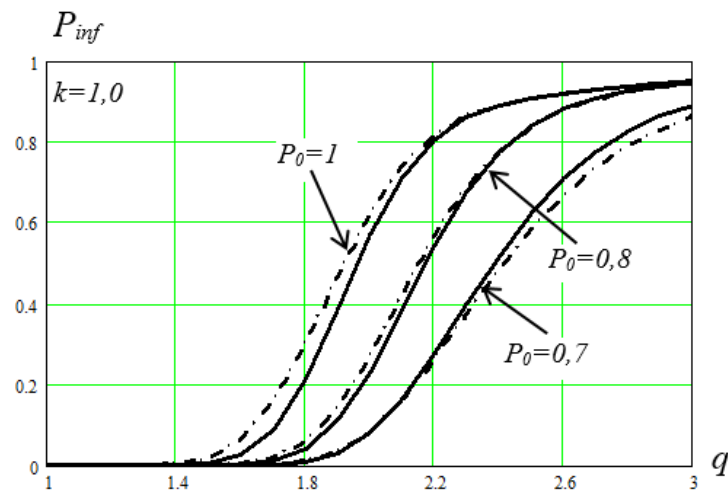


Рисунок 3.12 – Залежність $P_{inf} = f(k, P_0, q)$

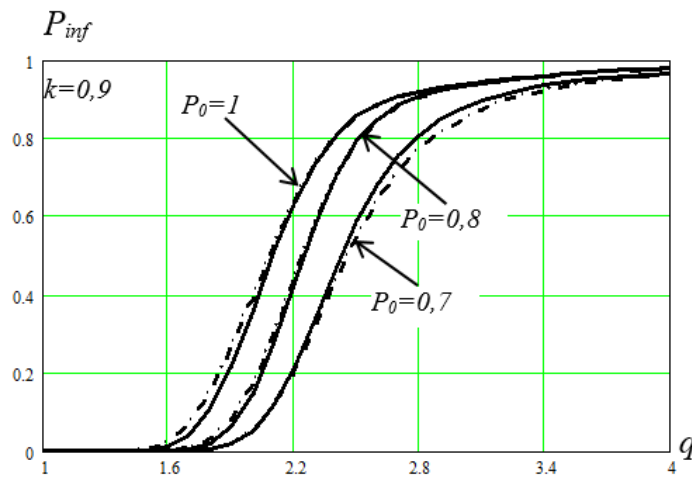


Рисунок 3.13 – Залежність $P_{inf} = f(k, P_0, q)$

Останній висновок потребує накладати вимоги до КГ ЛВ та різниці у відношенні сигнал/шум при котрих можливо використання даної структури обробки, а у супротивному випадку – структури яка мається у існуючих РЛС.

3.5. Порівняльний аналіз двох методів обробки сигналів відповіді вторинних систем спостереження

Наведемо порівняльний аналіз якості виявлення ПО вторинними РЛС з різними методами обробки СВ.

Існуючі вторинні РЛС побудовані за принципом несинхронної мережі, обслуговування першого правильно прийнятого сигналу запиту (СЗ) і відкритої системи масового обслуговування з відмовами. Така побудова останніх відкриває широкі можливості зацікавленій стороні у несанкціонованому використанню відповідачів цих систем для дальнього виявлення ПО, а також для повної паралізації шляхом постановки корельованих завад необхідної інтенсивності. При роботі відповідача тільки в поле дії багатьох вторинних РЛС, що створюють внутрішньосистемні завади, КГ відповідача завжди менше одиниці. Коефіцієнт готовності відповідача залежить від інтенсивності потоку СЗ, утвореного потоком СЗ від вторинних РЛС, потоком навмисних корельованих завад, а також потоком СЗ, що утворився з потоку навмисних і ненавмисних некорельованих завад.

На вхід вторинної РЛС можуть надходити флуктуаційні і імпульсні (хаотичні, внутрішньосистемні і т.д.) завади. Проведемо порівняльний аналіз ймовірності виявлення ПО вторинною РЛС при використанні різних сигналів відповіді (СВ), що використовуються в існуючих вторинних РЛС, а також при різних пристроях обробки СВ, тобто при міжперіодної обробці (МО) до або після дешифрування СВ (квазіоптимального виявлювача) з урахуванням КГ відповідача.

При цьому слід зазначити, що КГ відповідача не робить впливу на хибні тривоги.

Припустимо, що у каналі відповіді (КВ) діє імпульсна завада з тривалістю імпульсів, яка дорівнює тривалості імпульсів корисного сигналу та інтенсивністю λ .

Отримаємо вирази для виявлення ПО при використанні попередньої МО СВ. Нехай у пристрої МО використовується логіка k/N , для виконання якої необхідна наявність імпульсів СВ на одних і тих же ділянках дальності в k із N запитів, тобто k виступає в якості цифрового порогу. У дешифраторі застосовується цілочисленна логіка n/n , для виконання якої необхідна наявність всіх імпульсів в кожній повторній посилювачі.

Імовірність D_1 виявлення СВ на виході пристрою МО для вказаної логіки визначається як

$$D_1 = \sum_{i=0}^{N-k} C_N^i P_0^{N-i} (1-P_0)^i \sum_{l=0}^{N-k-i} C_{N-i}^l P_1^{N-l-i} (1-P_1)^l,$$

де P_1 - імовірність виявлення одиночних імпульсів СВ.

Імовірність виявлення ПО вторинною РЛС у виявлювачі з попередньою МО можна визначити з наступного виразу

$$D_{11} = \sum_{i=0}^{N-k} C_N^i P_0^{N-i} (1-P_0)^i \left[\sum_{l=0}^{N-k-i} C_{N-i}^l P_1^{N-l-i} (1-P_1)^l \right]^n.$$

Отримаємо вирази для виявлення ПО при використанні подальшої МО СВ.

Імовірність виявлення n -імпульсних СВ D_2 дешифратором визначається як

$$D_2 = P_1^n P_0.$$

Імовірність виявлення ПО на виході МО визначається як

$$D_{22} = \sum_{i=0}^{N-k} C_N^i (P_1^n P_0)^{N-i} (1 - P_1^n P_0)^i.$$

Оцінимо вплив флукуаційної завади у КВ на ймовірність виявлення ПО. Досліджено вплив КГ літакового відповідача та значності коду СВ на значення цифрового порогу виявлення ПО вторинною РЛС для пачки СВ рівною 25. Значення оптимального цифрового порогу виявлення ПО як функції КГ відповідача та значності СВ представлені в табл.3.1.

Таблиця 3.1. Залежність $k_{opt} = f(P_0, n)$

Значність коду	Спосіб обробки	$P_0 = 1$	$P_0 = 0,8$	$P_0 = 0,6$
$n = 2$	МО+Дш	$k_{opt} = 12$	$k_{opt} = 7$	$k_{opt} = 6$
	Дш+МО	$k_{opt} = 12$	$k_{opt} = 8$	$k_{opt} = 6$
$n = 3$	МО+Дш	$k_{opt} = 12$	$k_{opt} = 6$	$k_{opt} = 4$
	Дш+МО	$k_{opt} = 10$	$k_{opt} = 8$	$k_{opt} = 6$

Як випливає з табл.3.1 поріг виявлення ПО вторинною РЛС істотно залежить від P_0 і n . Цю обставину слід враховувати при побудові автоматичних виявлювачів-вимірювачів координат ПО вторинною РЛС.

На рис.3.14-3.15 представлені криві виявлення ПО для різної значності кодів СВ при оптимальному цифровому порозу.

Представлені розрахункові дані показують, що при дії у КВ флукуаційних завад збільшення значності коду дозволяє дещо збільшити ймовірність виявлення ПО вторинною РЛС при виборі оптимального цифрового порогу. Використання попередньої МО обробки сигналів більш переважно у порівнянні з наступною МО. Однак при збільшенні значності коду СВ це перевага зменшується. На рис.3.16 наведено вплив КГ відповідача на ймовірність виявлення ПО. Представлені розрахунки показують, що при $P_0 > 0,7$ (для $q = 2$) попередня МО дозволяє послабити вплив КГ відповідача на ймовірність виявлення ПО.

Оцінимо вплив імпульсних завад у КВ на ймовірність виявлення ПО. На рис.3.17-3.18 представлені ймовірності виявлення ПО вторинною РЛС при дії у

КВ імпульсних завад інтенсивністю λ і постійному цифровому порозі виявлення рівному половині пачки СВ.

Представлені залежності показують, що використання попередньої МО істотно зменшує негативну дію імпульсних завад на завадостійкість вторинних РЛС.

На рис.3.19 представлено вплив КГ відповідача на ймовірність виявлення ПО за наявності у КВ імпульсних завад інтенсивністю 100000 і фіксованому порозі виявлення. Можна показати, що оптимальний поріг виявлення в цьому випадку також залежить від КГ відповідача.

Представлені залежності дозволяють проводити порівняльний аналіз існуючих вторинних РЛС за якістю виявлення ПО при дії у КВ флукуаційних та імпульсних завад. Крім того, з представлених залежностей, можливо бачити, що використання попередньої МО СВ більш переважно, у порівнянні з наступною МО, яка використовується в існуючих вторинних РЛС. Ця обставина дозволить підвищити ПЯ ІЗ користувачів.

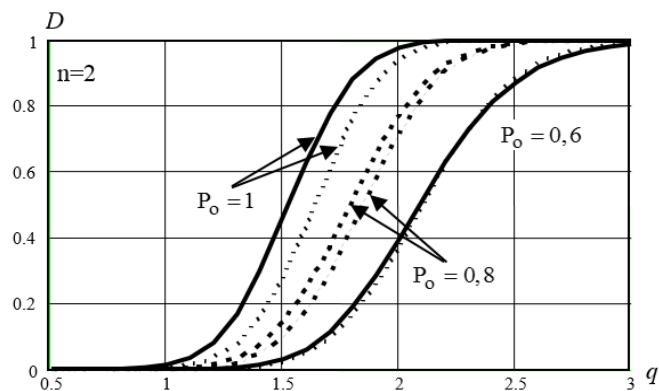


Рисунок 3.14 – Імовірність виявлення ПО

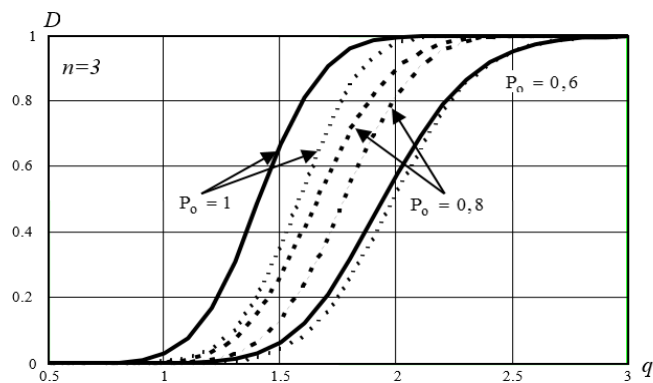


Рисунок 3.15 – Імовірність виявлення ПО

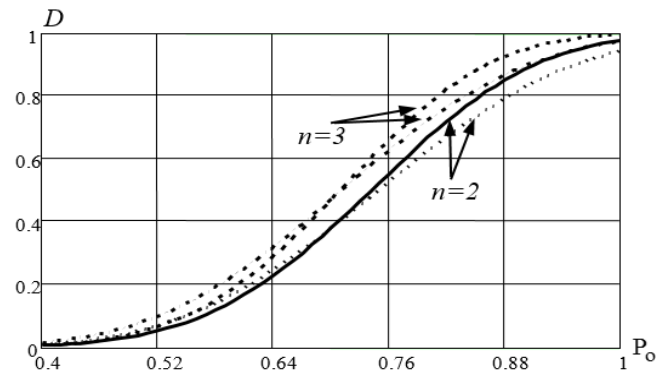


Рисунок 3.16 – Вплив КГ на імовірність виявлення ПО

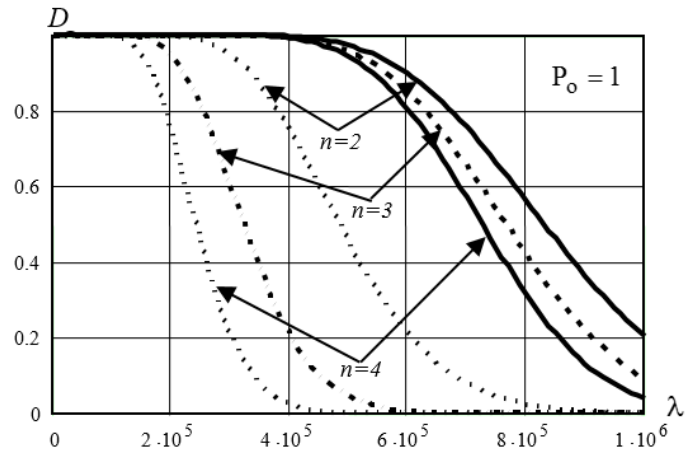


Рисунок 3.17 – Імовірність виявлення ПО

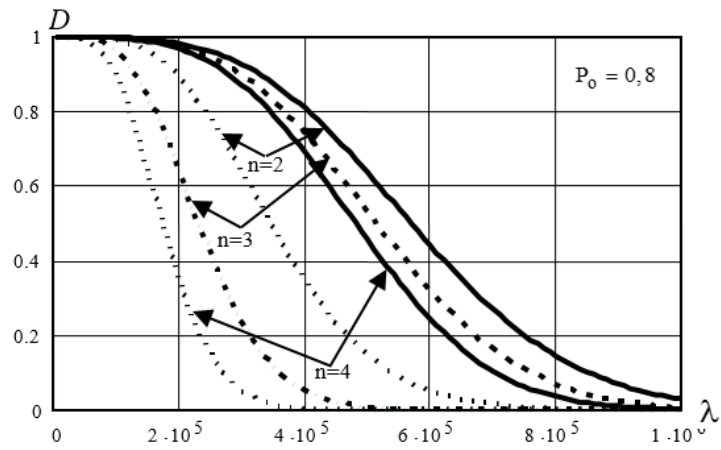


Рисунок 3.18 – Імовірність виявлення ПО

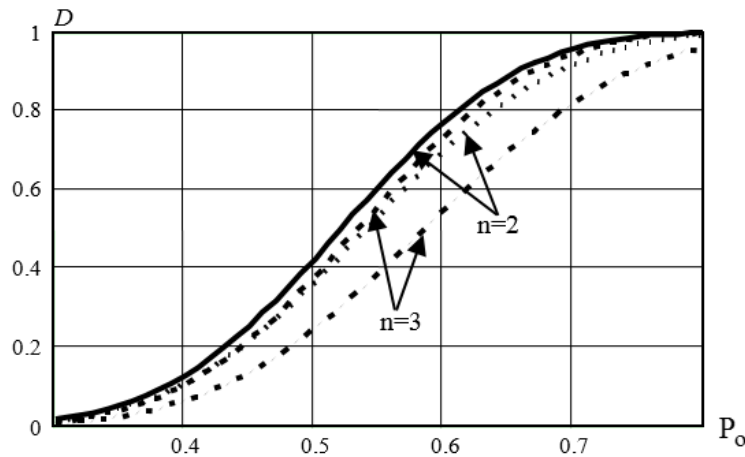


Рисунок 3.19 – Вплив КГ на імовірність виявлення ПО

Висновки за розділом 3

1. На основі аналізу принципів побудови та принципів поєднання інформації РЛС ПП запропоновані методи підвищення завадостійкості останніх за рахунок:

- спадкоємного переходу до мережної побудови як первинних так і вторинних РЛС ПП;
- оптимізації сумісної обробки сигналів первинних та вторинних РЛС;
- оптимізації обробки сигналів відповіді літакових відповідачів вторинних РЛС;
- спадкоємного переходу до єдиної інформаційної мережі РЛС у якій розв'язується проблема сумісного функціонування первинних та вторинних РЛС.

Розрахунки показали, що запропоновані методи дозволили підвищити завадостійкість і завадозахищеність зазначених РЛС.

2. Синтезована оптимальна структура виявлювача ПО при розподіленій обробці інформації у синхронній мережі РЛС. Дослідження, проведене для виявлення ПО показало, що:

- що при логіці обробки $\frac{1}{4}$ ліпшу якість виявлення сигналів дає схема накопичення-виявлення, а для логіки $\frac{3}{4}$ - схема виявлення – накопичення;
- схема виявлення-накопичення менш чутлива до коефіцієнта готовнос-

ті літакового відповідача.

3. Наведено статистичну модель виявлення сигналів у вторинних системах спостереження ПП та показано, що оптимальний виявлювач СЗ літакового відповідача у байєсовому значенні повинен порівнювати з порогом узагальнене відношення правдоподібності. Величина порога не залежить від алгоритму і якості роботи запитувача і повністю визначається заданими для вторинної РЛС у цілому вартостями рішень. Оптимальний виявлювач у запитувачі в байєсовому значенні повинен враховувати якість роботи ЛВ і порівнювати її з порогом, величина якого визначається заданими цінами рішень. Все це означило що підвищення завадостійкості вторинних РЛС можна досягти шляхом підвищення КГ ЛВ, а підвищення КГ ЛВ, в свою чергу, можна досягти за рахунок зміни або принципу побудови, або принципу обслуговування заявок, або принципу організації мережі вторинних РЛС.

4. Синтезовано оптимальні виявлювачі сигналів запиту в літакових відповідачах вторинних РЛС в двох постановках:

- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних рішень про виявлення СЗ;
- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних імпульсів СЗ,

та проведено аналіз котрий показав, що:

- міжканальне об'єднання результатів виявлення імпульсів дозволяє отримати переваги в пороговому відношенні с/ш (близько 1 дБ) порівняно з міжканальним об'єднанням результатів виявлення СЗ;
- збільшення значності використовуваних СЗ вторинних РЛС дозволяє підвищити ймовірність виявлення їх в ЛВ.

5. Оптимізована структура обробки сигналів відповіді вторинних РЛС ПП за рахунок виконання спочатку міжперіодної обробки приймаємих сигналів, а після декодування СВ. Наведені розрахунки ІЗ користувачів дозволяють зробити наступні висновки:

- модернізована структура обробки СВ вторинних РЛС дозволяє підвищити якість ІЗ користувачів;
- модернізована структура обробки СВ вторинних РЛС дозволяє зменшити вплив КГ ЛВ на якість ІЗ;
- маються певні межі як КГ ЛВ так і різниці у відношенні сигнал/шум для первинної та вторинних РЛС при перевищенні котрих ефекту від модернізації структури обробки СВ не мається.

6. Наведено порівняльний аналіз якості виявлення ПО вторинними РЛС при використанні попередньої та подальшої МО СВ. Показано, що використання попередньої МО СВ більш переважно, у порівнянні з наступною МО, яка використовується в існуючих вторинних РЛС.

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ВТОРИННИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Якість ІЗ споживачів системи КПП, як показано нами вище, визначається завадостійкістю первинних та вторинних (ідентифікаційних) РЛС. Не вирішення інформаційної задачі ідентифікаційними РЛС, що викликані низькою завадостійкістю існуючих СІ, приводять, як нами показано вище, до жахливих ситуацій. Все це показує потрібність вирішувати задачу підвищення завадозахищеності систем ідентифікації та вторинних РЛС загалом. Розглянемо варіанти підвищення завадостійкості вторинних РЛС які значною мірою визначає якість інформаційного обслуговування споживачів системи КПП.

4.1. Постановка задачі захисту вторинних систем спостереження від навмисних корельованих завад

Наведені вище дослідження завадостійкості вторинних РЛС показали, що не виключаючи з обслуговування НКЗ досягти прийнятних показників завадостійкості вторинних РЛС неможливо.

Відомо, що основою подавлення завад є різниця між корисним сигналом і завадою. У існуючих вторинних РЛС реалізується принцип обслуговування заявки, тобто СЗ. Це визначило реалізацію принципу відкритих СМО з відмовами при їх побудові. Сама ж мережа вторинних РЛС реалізована на несинхронному принципі. Несинхронна мережа вторинних РЛС дозволяє ефективно подавляти на запитувачах внутрішньосистемні завади, утворені сусідніми вторинними РЛС. Однак саме це дозволяє зацікавленій стороні здійснювати паралізацію вторинних РЛС постановкою НКЗ. Отже, така реалізація сучасних вторинних РЛС утрудняє їхнє використання в конфліктних ситуаціях. Дійсно, інтенсивність ПСЗ в існуючих вторинних РЛС можна визначити як

$$\lambda_c = \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i(T_i) + \lambda_l + \sum_{j=0}^{M-1} \lambda_j(T_j), \quad (4.1)$$

де $\lambda_i(T_i)$ – інтенсивність потоку СЗ від i -го запитувача з періодом проходження T_i ; λ_l – інтенсивність потоку помилкових СЗ, що утворилися з ХІЗ і сумарного потоку СЗ своїх запитувачів і ХІЗ (тобто за рахунок хибної тривоги першого і другого роду); λ_j – інтенсивність потоку НКЗ запитувачів зацікавленої сторони, що подавляють та несанкціоновано використовують відповідач, з періодом проходження T_j .

Таким чином, з принципу обслуговування, побудови й організації мережі впливає, що у сучасних вторинних РЛС відсутні і просторові, і часові різниці між сигналами і НКЗ, що утрудняє створення завадостійких вторинних РЛС.

Пошук шляхів переходу до завадостійких вторинних РЛС, призводить до необхідності створення різниць між корисними сигналами і НКЗ. Створення просторових різниць можливе, однак вимагає значних матеріальних витрат і ускладнює функціонування таких систем. Простіше створити часові різниці між корисними сигналами і НКЗ, яким в даний час приділяється основна увага.

Часові різниці між корисними сигналами і НКЗ призводить до зміни принципу організації мережі вторинних РЛС. Перехід від несинхронної мережі до синхронної мережі (СМ) вторинних РЛС дозволяє штучно створити часові різниці між корисними сигналами та завадами. При реалізації СМ вторинних РЛС сумарний потік СЗ можна записати як

$$\lambda_c = \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i(T_0(t)) + \lambda_1 + \sum_{j=0}^{M-1} \lambda_j(T_j), \quad (4.2)$$

де $T_0(t)$ – період проходження СЗ, єдиний для всієї СМ вторинних РЛС. Як впливає з (4.2) часові різниці між корисними сигналами і НКЗ виявляються в час надходження. Дійсно, оскільки шкала часу (ШЧ) ЛВ узгоджена зі ШЧ всіх елементів СМ вторинних РЛС, то корисні СЗ надходять на відповідач у синхронні, а НКЗ – у несинхронні моменти часу. При цьому необхідно відзначити, що поняття синхронності тісно пов'язане з поняттям одночасності. Дійсно, у пунктах розташування систем вторинної локації повинні одночасно вироблятися однойменні часові імпульси. Саме ж поняття одночасності в загальній теорії відносності не є однозначним. Однак можна стверджувати, що єдиним несуперечли-

вим визначенням одночасності є таке. Для аналізу будь-яких явищ у рамках загальної теорії відносності можна ввести деяку чотиривимірну систему координат (СК), яка має одну часову координату (можна назвати координатний час даної СК) і три просторових. Дві події, фіксовані в деякій СК значеннями (t_1, x_1, y_1, z_1) і (t_2, x_2, y_2, z_2) , вважаються одночасними щодо цієї СК, якщо відповідні їм значення часової координати збігаються: $t_1 = t_2$. Надалі таке визначення одночасності (і відповідне йому визначення синхронізації годин) будемо називати координатним. Зазначене визначення дозволяє ввести в рамках загальної теорії відносності самоузгоджену єдину ШЧ у будь-яких областях простору–часу і з будь-якою розумною точністю. Той факт, що вибір СК, за координатним часом якої виробляється синхронізація, довільний, не повинен викликати занепокоєння: від синхронізації за координатним часом однієї СК легко перейти до синхронізації за координатним часом будь-якої іншої СК. Це твердження дуже важливе для реалізації синхронних мереж систем вторинної локації. Дійсно, вторинні РЛС функціонують на деякому регіональному рівні. У цьому випадку для узгодження СМ вторинних РЛС необхідною умовою є наявність загального джерела синхронізації, тобто джерела, за часом якого синхронізуються часові шкали СМ усіх вторинних РЛС. Відлік же часу в вторинних РЛС може бути довільний, але відомий.

Як систему, координатний час якої дозволяє здійснювати синхронізацію місцевого часу розглянутої СМ розосереджених систем вторинної локації зручно використовувати координатну систему глобальних супутникових систем навігації чи подібну їй.

Таким чином, перехід до СМ вторинних РЛС дозволяє НКЗ перевести в несинхронну заваду, методи захисту від якої добре вивчені. Зокрема, одним з найефективніших методів захисту від несинхронних імпульсних завад є міжперіодна обробка прийнятих сигналів.

Цей принцип співпадає з загальною концепцією ІЗ користувачів системи контролю ПП. Дійсно, як помічено вище, в склад формуляру ПО входить час отримання координат цього ПО. Тобто можна стверджувати, що існуючі інфо-

рмаційні системи, за рахунок проведення 4D вимірювань, будуються на принципах синхронних мереж отримання інформації. Перехід до прив'язки моментів випромінювання сигналів до конкретних моментів часу ШЧ мережі дозволить перейти до синхронних ІМ.

Перехід до СМ вторинних РЛС дозволяє істотно розширити принципи обслуговування заявок і принципи побудови систем. Розглянемо більш докладно ці принципи.

4.2. Класифікація способів спадкоємного переходу до завадостійких вторинних систем спостереження повітряного простору

На рис. 4.1. наведена класифікація можливих варіантів спадкоємного переходу до завадостійких вторинних РЛС. За принципом побудови мережі вторинних РЛС поділяються на синхронні і несинхронні мережі.

При цьому помітимо, що при модернізації і розробці вторинних РЛС повинен дотримуватися принцип спадкоємності. З цією метою підкреслимо, що перехід до СМ повинен бути здійснений так, щоб в будь-який момент часу був можливий і зворотний перехід.

У СМ вторинних РЛС робота всіх елементів системи реалізується на єдиному часі мережі. Кожна з вхідних у СМ вторинних РЛС може бути побудована за принципом обслуговування запитувача чи обслуговування відповідача. У вторинних РЛС, що реалізують перший принцип у ЛВ, обслуговується конкретний запитувач, а в вторинних РЛС, реалізованих на другому принципі – обслуговується вся система.

У вторинних РЛС, реалізованих на базі СМ, можливе керування потоками сигналів і запиту і відповіді. Можливість проведення міжперіодної обробки у відповідачі дозволяє стверджувати, що на обслуговування до розглянутої вторинної РЛС надходять тільки СЗ СМ. Таким чином, сумарний потік СВ у СМ вторинних РЛС можна оцінити як

$$\lambda_0 = P_0 \lambda_{cc}(T_0(t)). \quad (4.3)$$

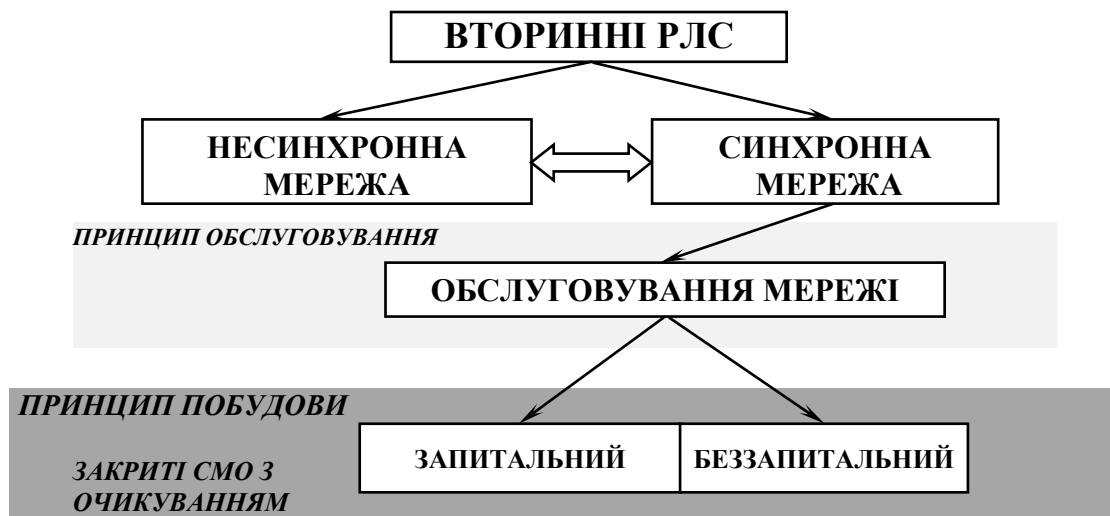


Рисунок 6 – Методи спадкоємного переходу до завадостійких вторинних РЛС

Як випливає з вищевикладеного, керування потоками СЗ у СМ вторинних РЛС не тільки знижує їх загальну інтенсивність, але і виключає можливість несанкціонованого використання ЛВ вторинних РЛС. Усе це дозволяє значно підвищити завадостійкість вторинних РЛС. Необхідно відзначити, що використання СМ у вторинних РЛС дозволяє від СМО з відмовами перейти до СМО з очікуванням. У цьому випадку за час спостереження за ПО T_c ЛВ може обслужити $N = \lfloor T_c / T_o \cdot k \rfloor$ запитувачів, де k – кількість відповідей конкретному запитувачу, яка необхідна для виконання критерію початку пачки.

Основними методами побудови вторинних РЛС з обслуговуванням мережі є: запитальні і беззапитальні. У таких вторинних РЛС вдається уникнути обслуговування НКЗ ЛВ, синхронну внутрішньосистемну заваду, а також значно знизити інтенсивність потоку СВ.

У вторинній РЛС час обслуговування всіх заявок, що надійшли на інтервалі часу аналізу T_o , вибирається з умови $T_{ob} = T_o - t_p(t)$, де $t_p(t)$ – відомий, постійно мінливий часовий інтервал. Таким чином, у таких системах незалежно від кількості заявок на часовому інтервалі аналізу, вони обслуговуються одночасно в момент часу, наведеному вище. При такій реалізації керування потоками сигналів кодуванню підлягає часовий інтервал $t_p(t)$, у той час як при першому способі керування потоками в СМ вторинних РЛС – $T_0(t)$. Незалежно від

кількості запитувачів кількість СВ ЛВ для розглядаємого способу буде визначатися часовим інтервалом аналізу. Це значно знижує потік внутрішньосистемних завад у каналі відповіді. Оскільки обслуговуванню підлягає будь-як сигнал запиту, дешифрований у межах інтервалу часу аналізу, то при роботі вторинних РЛС можливе одержання необхідної інформації від ЛВ як за своїм сигналом запиту, так і за сигналом запиту будь-якого запитувача. Це обумовлено тим, що даний метод реалізує принцип обслуговування мережі. Така побудова вторинних РЛС знімає проблему реалізації розосереджених вторинних РЛС, а також часового узгодження сигналів, що надходять системами первинної і вторинної локації.

У беззапитальних СМ РЛС часовий процес кожного пункту погоджується з регіональним часом. Отже, при виконанні умови $T_i(t) - t_c \neq T_j(t) - t_s$, де t_c – часова база використовуваного СВ; t_s – час затримки поширення сигналу між i -м і j -м пунктами вторинних РЛС, сигнали відповіді не можуть збігтися в часі і, отже, подавити один одного. Оскільки при перебуванні ПО у безпосередній близькості один від одного можливе відключення вторинних РЛС одного з них, то наведена умова завжди здійсненна.

Реалізація беззапитальних СМ РЛС дозволяє не тільки виключити далеке виявлення ПО, але і значно знизити інтенсивність потоку СВ. Зниження інтенсивності потоків СВ дозволяє перейти від інтервально-часових кодів, що використовуються в даний час у вторинних РЛС, до малоенергетичних сигналів з великою базою, що дозволить приховати роботу вторинних РЛС від зацікавленої сторони.

Варто зазначити, що в СМ вторинних РЛС з'являється можливість реалізації імітостійких режимів роботи не на принципі кодування сигналів, як це зроблено в існуючих вторинних РЛС, а на принципі кодування часу, що дозволяє значно знизити часовий інтервал, який займає даний сигнал. Це дозволить як підвищити завадостійкість, так і приховати роботу таких вторинних РЛС.

Розглянемо зазначені методи створення завадостійких вторинних РЛС, реалізованих на базі СМ, більш докладно.

4.3 Оцінка завадостійкості синхронних мереж вторинних систем спостереження

За способом реалізації синхронні мережі вторинних систем можливо розділити:

- синхронні мережі з обслуговуванням сигналів запитувача;
- синхронні мережі з обслуговуванням сигналів відповідача.

Розглянемо завадостійкість вторинних РЛС з зазначеною реалізацією.

4.3.1 Оцінка завадостійкості синхронних мереж вторинних систем спостереження з обслуговуванням сигналів запитувача. Як показано вище, використання СМ вторинних РЛС дозволяє формувати потоки сигналів вторинних РЛС без взаємодії. Це призводить до усунення накладення СВ при достатніх відстанях між ПО, тобто при виконанні умови

$$\Delta R/c > t_c, \quad (4.4)$$

де ΔR – мінімально можлива відстань між ПО; t_c – максимальна тривалість сигналу вторинних РЛС. Однак у таких системах не усунута, хоча і значно ослаблена, можливість постановки навмисних ХІЗ.

Дослідимо завадостійкість СМ вторинних РЛС, для чого розглянемо особливості впливу завад на приймання ІЧК, особливості утворення хибних тривоги. Сумарний потік сигналів являє собою суму потоків сигналів вторинних РЛС, з інтенсивністю λ_1 , і потоку імпульсів ХІЗ, з інтенсивністю λ_0 .

Проведемо дослідження завадостійкості структури СМ вторинних РЛС у вигляді відкритої СМО без відмов, запропонованої вище, при спільній дії потоку сигналів вторинних РЛС і потоку навмисної ХІЗ. Дослідження завадостійкості будемо проводити при використовуваних на практиці алгоритмах обробки СВ у вторинних РЛС, а також при зміні даних алгоритмів з метою підвищення завадостійкості вторинних РЛС.

При дії на вхід апаратури обробки сигналів вторинних РЛС одночасно ХІЗ і ПСЗ будуть спостерігатися явища, що призводять до виключення чи помилкового формування СВ:

- високочастотне подавлення сигналів вторинних РЛС даного об'єкта при збігу в часі імпульсів ХІЗ і імпульсів ПСЗ і несприятливих фазових співвідношеннях;
- подавлення сигналів вторинних РЛС у результаті інерційності схем обробки прийнятих сигналів;
- формування СВ при утворенні хибної тривоги першого роду;
- формування сигналу відповіді при утворенні хибної тривоги другого роду.

Визначимо імовірність цих подій припустивши, що ХІЗ діє на імпульси вторинних РЛС даної РЛС незалежно один від одного, що відсутня взаємодія потоків сигналів вторинних РЛС різних повітряних ПО і що максимальна величина бічні пелюстки АКФ використовуваного сигналу вторинних РЛС дорівнює одиниці. Припустимо також, що тривалість імпульсів потоків ХІЗ і сигналів вторинних РЛС однакова і дорівнює тривалості імпульсів корисного сигналу τ_0 .

Спільна дія ХІЗ та сигналів вторинних РЛС призводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів сигналу вторинних РЛС при несприятливих фазових співвідношеннях, у результаті чого зменшується інтенсивність потоку сигналів вторинних РЛС.

Імовірність того, що хоча б один імпульс ХІЗ збіжиться в часі з імпульсом сигналу вторинних РЛС і подавити його, може бути визначена з наступного співвідношення:

$$P_p = \gamma[1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)].$$

З урахуванням n імпульсів сигналу вторинних РЛС імовірність подавлення складає:

$$P_1 = 1 - (1 - P_p)^n. \quad (4.5)$$

Імовірність подавлення сигналів вторинних РЛС внаслідок інерційності схем обробки може бути визначена в такий спосіб

$$P_2 = 1 - (1 - P_f)^n,$$

де P_f – імовірність подавлення одиночного імпульсу сигналу вторинних РЛС через інерційності схеми обробки.

Імовірність того, що хоча б один імпульс завади потрапить у небезпечний випереджальний інтервал і придушить імпульс корисного сигналу, дорівнює

$$P_f = 1 - \exp(-\lambda_0 \tau_f).$$

Імовірність неспотвореного приймання сигналів вторинних РЛС на вході апаратури міжперіодної обробки можна записати як:

$$P_0 = \prod_{i=1}^2 (1 - P_i). \quad (4.6)$$

Розрахунки за виразом (4.6) представлені на рис. 4.2. Як випливає з рис. 4.2 створення СМ дозволяє значно збільшити завадостійкість вторинних РЛС.

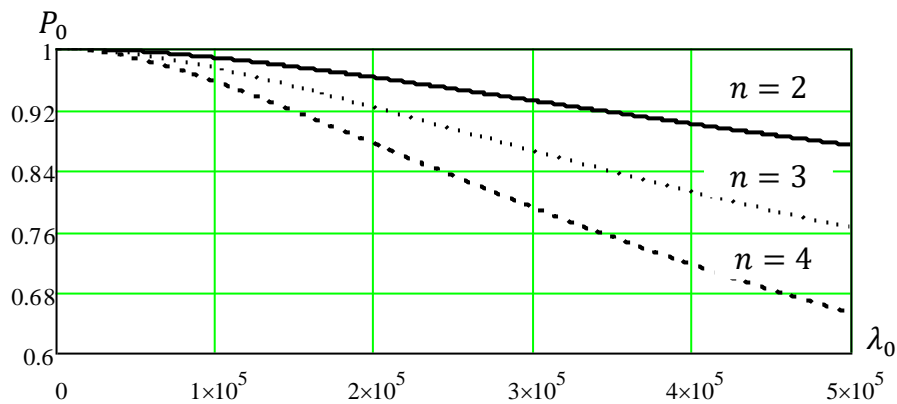


Рисунок 4.2 – Оцінка коефіцієнта готовності літакового відповідача

Апаратура обробки прийнятих сигналів вторинних РЛС реалізує алгоритм виявлення пачки сигналів, що надходять, за правилом « k з m ». У цьому випадку загальну імовірність ідентифікації державної приналежності СМ можна записати як

$$P_{id} = \sum_{i=k}^m C_m^i P_o^i (1 - P_o)^{m-i}. \quad (4.7)$$

Розрахунки за виразом (4.7) представлені на рис. 4.3 при $k/m = 3/5$ для різних значностей СЗ. Як випливає з представлених залежностей, вплив навми-

сної ХІЗ на завадостійкість СМ вторинних РЛС значно ослаблений в порівнянні з існуючими вторинними РЛС.

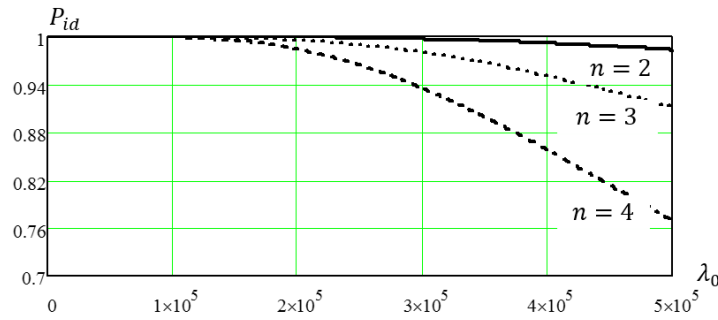


Рисунок 4.3 – Імовірність ідентифікації ПО

4.3.2. Оцінка завадостійкості синхронних мереж вторинних систем спостереження з обслуговуванням сигналів відповідача. Одним з методів підвищення завадостійкості вторинних РЛС, що реалізують принцип обслуговування мережі, є спосіб обслуговування сигналів відповідача.

Суть цього способу полягає у тому, що запитувачі вторинних РЛС здійснюють огляд простору відомим методом. СЗ приймаються і дешифруються ЛВ протягом деякого часового інтервалу аналізу T_a , що може бути визначений з такого співвідношення

$$T_a = T_o \beta_a / (k \cdot 360^\circ), \quad (4.8)$$

де T_o – період огляду, β_a – ширина діаграми спрямованості антени запитувача, k – постійний коефіцієнт, що враховує фактор необхідної кількості випромінювання СВ. Таким чином, розглянутий спосіб, за рахунок реалізації принципу відповіді не на кожен СЗ, а на певну кількість СЗ, що надійшли протягом інтервалу часу аналізу T_a , одним СВ усім запитувачам, дозволяє зняти проблему пропускної спроможності вторинних РЛС. При цьому необхідно відзначити, що одночасно з підвищення пропускної спроможності системи зростає і її завадостійкості, тому що імовірність прийому неспотвореного СЗ на інтервалі часу T_a значно вища, у порівнянні з існуючим методом обробки СЗ.

Час випромінювання СВ ЛВ узгоджується з визначеним часом СМ, єдиним для всієї мережі вторинних РЛС. Дослідимо запропонований метод докладніше,

для цього розглянемо завадостійкість даного методу, для чого оцінимо імовірність обслуговування потоку сигналів запиту ЛВ на часовому інтервалі аналізу T_a і, на основі цього, оцінимо завадостійкість синхронної мережі вторинних РЛС з обслуговуванням відповідача.

Оцінимо завадостійкість розглянутого способу вторинних РЛС при дії потоку СЗ і потоку НКЗ і ХІЗ. Для цього окремо розглянемо КГ ЛВ при дії зазначених потоків СЗ і ХІЗ, а також імовірність ідентифікації державної приналежності ПО.

Легко помітити, що при одночасній дії на вхід аналізатора ЛВ ХІЗ і ПСЗ будуть спостерігатися такі несприятливі для правильного приймання СЗ явища:

- подавлення СЗ даної вторинної РЛС через накладення випереджальних СЗ сусідніх вторинних РЛС, що призводить до спотворення прийнятого сигналу;
- подавлення СЗ даної вторинної РЛС через накладення випереджальних СЗ сусідніх вторинних РЛС, випромінених по бічних пелюстках;
- високочастотне подавлення імпульсів СЗ даної вторинної РЛС при збігу за часом імпульсів ХІЗ і ПСЗ і несприятливих фазових співвідношеннях;
- подавлення СЗ у результаті інерційності схем вхідних формувачів дешифратора.

Перераховані ситуації призводять до неможливості правильного приймання на часовому інтервалі T_a СЗ. Крім того, наявність ХІЗ призводить до помилкового утворення СЗ та при відсутності справжніх СЗ, ЛВ робить хибну відповідь.

Визначимо імовірності цих подій припустивши, що ХІЗ і ПСЗ діють на СЗ даної вторинної РЛС незалежно один від одного.

Нехай на вхід ЛВ надходить ХІЗ інтенсивністю λ_0 , ПСЗ, що вимагає випромінювання СВ, інтенсивністю λ_1 , і ПСЗ, випромінених по бічних пелюстках ДС запитувача, інтенсивністю λ_2 . При цьому припустимо, що тривалість імпульсів потоку ХІЗ і ПСЗ однакова і дорівнює тривалості імпульсів корисного сигналу τ_0 .

Спільна дія ХІЗ і ПСЗ призводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів ХІЗ і ПСЗ при несприятливих фазових співвідношеннях, у результаті чого зменшується інтенсивність ПСЗ і ХІЗ.

Імовірність того, що хоча б один імпульс ХІЗ збіжиться за часом з імпульсом ПСЗ і подавить його, дорівнює:

$$P_p = \gamma[1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)].$$

З урахуванням P_p інтенсивності потоків λ_1 і λ_2 можна визначити як

$$\lambda_1^1 = \lambda_1(1 - P_p)^n, \quad \lambda_2^1 = \lambda_2(1 - P_p)^n.$$

Імовірність того, що хоча б один СЗ потрапить у випереджальний інтервал і придушить СЗ даної вторинні РЛС за рахунок накладення імпульсів ПСЗ, визначається як

$$P_1 = 1 - \exp(-\lambda_1^1 t_1).$$

Інтенсивність потоку хибних n -імпульсних кодів, утворених їх ХІЗ, можна визначити з такого співвідношення:

$$\lambda_p = n\lambda_0^n(\tau_0 - \tau_c)^{n-1},$$

де τ_c – задана величина селекції імпульсів за тривалістю.

Імовірності того, що хоча б один СЗ потрапить у випереджальний інтервал і подавити декодування СЗ даної вторинні РЛС за рахунок часу прийому імпульсів ПСЗ, випромінених по бічних пелюстках ДС запитувача обчислюються відповідно як:

$$P_2^1 = 1 - \exp(-\lambda_2^1 t_2) \text{ і } P_2^2 = 1 - \exp(-\lambda_p t_1).$$

Сумарна імовірність подавлення СЗ даної вторинної РЛС за рахунок часу прийому сигналів, випромінених по бічних пелюстках ДС антени запитувача й утворених з ХІЗ помилкових СЗ, визначається як:

$$P_2 = 1 - (1 - P_2^1)(1 - P_2^2).$$

Імовірність того, що хоча б один імпульс з потоку ХІЗ і ПСЗ накладається на імпульс СЗ даної вторинної РЛС і подавити його, складає

$$P_{10} = \gamma[1 - \exp(-\lambda_c \tau_0)],$$

де $\lambda_c = \lambda_0 + \lambda_1^1 + \lambda_2^1$.

З урахуванням n - імпульсного СЗ імовірність подавлення СЗ складе

$$P_3 = 1 - (1 - P_{10})^n.$$

Імовірність подавлення СЗ даної вторинної РЛС у результаті появи на позиції сигналу подавлення помилкового імпульсу подавлення, утвореного з завад, можна записати як:

$$P_4 = (1 - P_p)P_{10}.$$

Імовірність подавлення СЗ внаслідок інерціальності вхідних формувачів ЛВ P_5 може бути визначена з виразу (4.5), із заміною λ_0 на λ_c .

Імовірність одноразової декодування СЗ можна визначити як

$$P_a = \prod_{i=1}^5 (1 - P_i). \quad (4.8)$$

Розрахунки за виразом (4.8) представлені на рис. 4.4 для $n = 2$. Розрахунки зроблені при $\lambda_0 = 20000, 40000$ і 60000 . Як випливає з рис. 4.4 при збільшенні інтенсивності ПСЗ імовірність неспотвореного прийому СЗ зменшується і досягає 0,65 при $\lambda_1 = 5000$ і $\lambda_0 = 20000$ і 0,58 при $\lambda_1 = 5000$ і $\lambda_0 = 40000$. Розрахунки зроблені при $\lambda_2 = 5\lambda_1$.

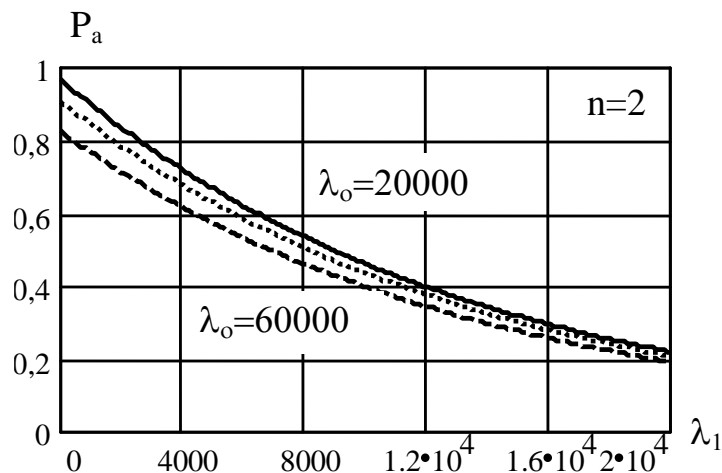


Рисунок 4.4 – Імовірність аналізу

Імовірність випромінювання відповіді ЛВ розглянутої вторинної РЛС, з урахуванням інтервалу часу аналізу, можна визначити з такого співвідношення:

$$P_o = 1 - (1 - P_a)^m. \quad (4.9)$$

Розрахунки за виразом (4.9) представлені на рис. 4.5 для $n = 2$ при $m = 3$.

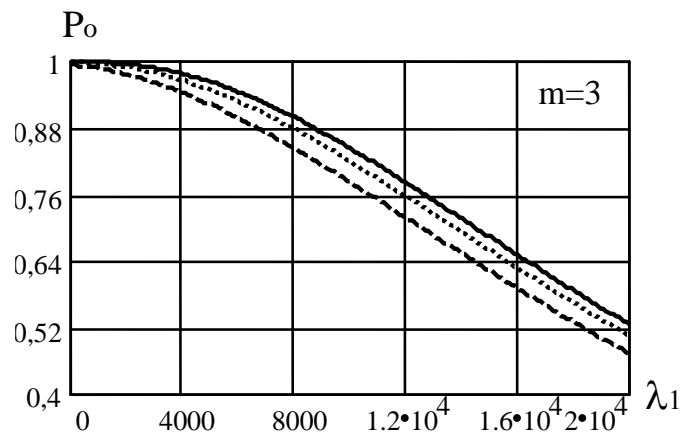


Рисунок 4.5 – Оцінка коефіцієнта готовності літакового відповідача

На рис. 4.6 і 4.7 представлені залежності імовірності випромінювання відповіді при $n = 2$ і $m = 5$ і 7 відповідно. Як випливає з представлених залежностей при $m > 7$ коефіцієнт готовності ЛВ при розглянутих інтенсивностях потоків СЗ практично становить одиницю, що вказує на високу завадостійкість запропонованого способу ідентифікації державної приналежності. Наведені залежності вказують на істотну залежність коефіцієнта готовності ЛВ вторинних РЛС з обслуговуванням відповідача від n і m .

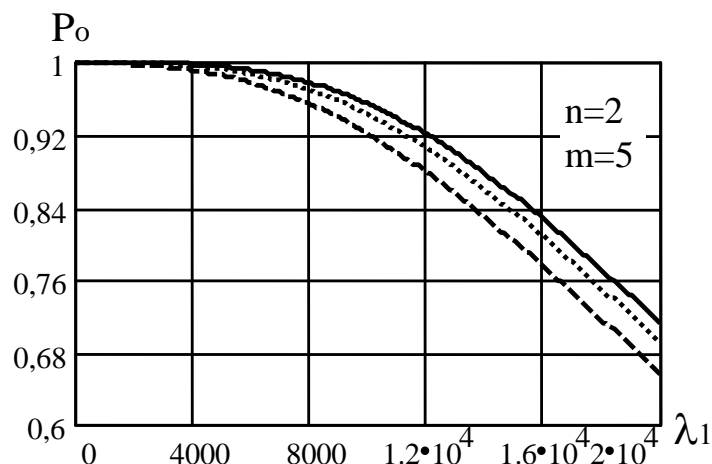


Рисунок 4.6 – Оцінка коефіцієнта готовності літакового відповідача

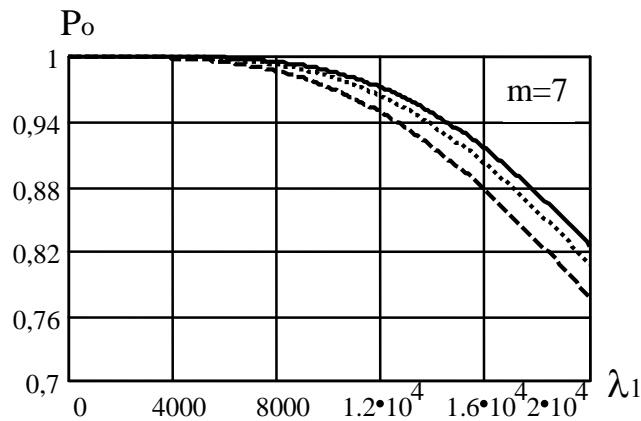


Рисунок 4.7 – Оцінка коефіцієнта готовності літакового відповідача

Імовірність хибного випромінювання СВ ЛВ, за рахунок утворення хибного СЗ із ХІЗ і відсутності на часовому інтервалі T_a справжнього СЗ, можна визначити з такого співвідношення

$$F = P_{ol}(1 - P_o), \quad (4.10)$$

де P_{ol} визначається як

$$P_{ol} = 1 - (1 - P_2^2)^m. \quad (4.11)$$

Розрахунки за виразом (4.10) з урахуванням (4.11) для різних n і m представлені на рис. 4.8 і 4.9. З наведених залежностей випливає, що запропонований спосіб вторинних РЛС з обслуговуванням відповідача характеризується прийнятними імовірностями хибної тривоги. Необхідно відзначити, що хибні відповіді даного способу призводять до ситуації беззапитального варіанта вторинні РЛС і не впливають на імовірність одержання СВ, зокрема сигналів ідентифікації повітряних ПО. Наведені залежності вказують на істотну залежність імовірності хибної тривоги від n (при збільшенні n з 2 до 3 імовірність хибної тривоги знижується на порядок) і m (при збільшенні m з 3 до 7 знижується з 0,18 до 0,13 при $\lambda_1 = 20000$).

Розглянемо вплив потоку сигналів запиту на імовірність одержання інформації про ПО.

Апаратура обробки прийнятих СВ запитувача реалізує алгоритм виявлення пачки СВ, що надходять, який полягає у виявленні « k з m » СВ. Якщо позначити імовірність відповіді ЛВ як P_o і розглядати її постійною для всієї пачки СВ, то

імовірність першого виявлення пачки сигналів апаратурою запитувача можна визначити з такого співвідношення

$$P_{ob} = \sum_{i=k}^m C_k^m P_o^i (1 - P_o)^{m-i}. \quad (4.12)$$

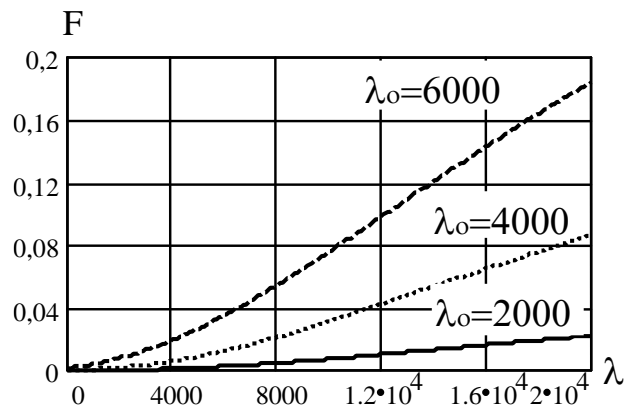


Рисунок 4.8 – Імовірність хибної тривоги

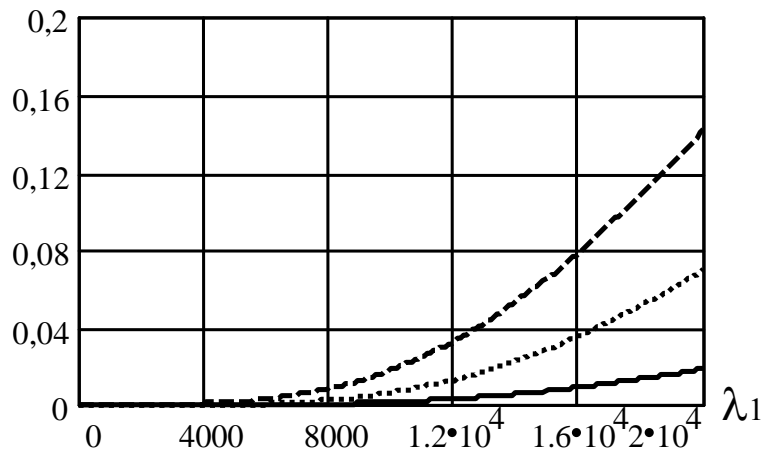


Рисунок 4.9 – Імовірність хибної тривоги

Виходячи з того, що за час сканування антени запитувача, відбувається опромінення відповідача пачкою з N СЗ, то імовірність ідентифікації виявленого ПО може бути визначена з такого співвідношення

$$P_c = \sum_{j=m}^N C_m^N P_{ob}^j (1 - P_{ob})^{N-j}. \quad (4.13)$$

Підставляючи (4.12) у (4.13) остаточно одержуємо вираз для оцінки імовірності ідентифікації виявлених ПО у такому вигляді

$$P_c = \sum_{j=m}^N C_m^N \left[\sum_{i=k}^m C_k^m P_o^i (1 - P_o)^{m-i} \right]^j \left[1 - \sum_{i=k}^m C_k^m P_o^i (1 - P_o)^{m-i} \right]^{N-j}. \quad (4.14)$$

Розрахунки за виразом (4.14) з урахуванням вищевикладеного наведені на рис. 4.10 і 4.11. На цих рисунках представлені залежності імовірності ідентифі-

кації ПО при дії потоку СЗ при $n = 2$, $m = 3, 5, 7$, $N=10$ і 20 та $k/m = 4/4$. Як впливає з представлених залежностей при $m > 7$ спостерігається досить висока завадостійкість.

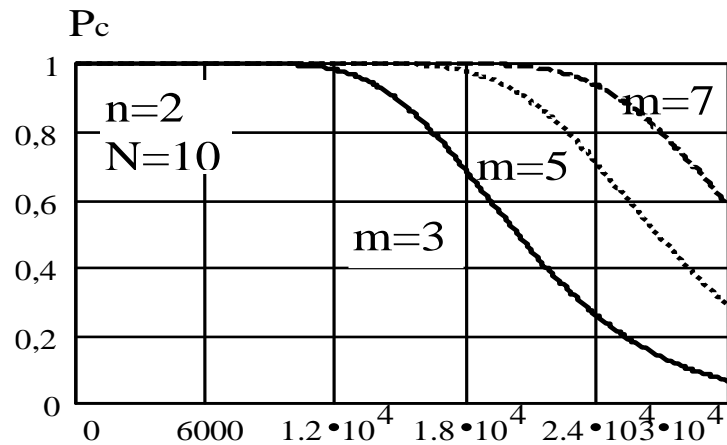


Рисунок 4.10 – Оцінка ідентифікації ПО

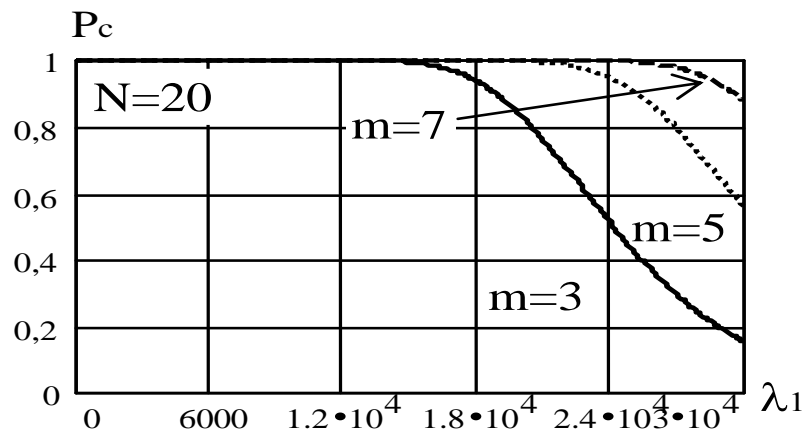


Рисунок 4.11 – Оцінка ідентифікації ПО

З рис. 4.10 і 4.11 випливає, що завадостійкість запропонованого способу реалізації вторинних РЛС з обслуговуванням відповідача на базі СМ значно перевищує завадостійкість існуючих способів реалізації вторинних РЛС, що вказує на високу його ефективність.

Таким чином, проведені дослідження завадостійкості запропонованого способу реалізації вторинних РЛС показали значну його перевагу над існуючими вторинними РЛС.

4.4. Використання методу рознесеного прийому у синхронних мережах вторинних радіолокаційних систем

Використання рознесених та мережевих систем первинних РЛС [1,30,81] призводить до значного поліпшення завадостійкості останніх. Дійсно багатопозиційним РЛС властиві знижена уразливість до застосування протирадіолокаційних ракет та чутливість до навмисних завад. Однак, зазначені переваги рознесених систем первинних РЛС неможливо одержати, не вирішивши проблем вторинних РЛС. Дійсно, на приймальних пунктах первинної РЛС необхідна інформація, отримана вторинною РЛС. Розташування вторинних РЛС на приймальному (невипромінюючому) пункті первинної РЛС цілком її демаскує і зводить нанівець основну перевагу рознесеної локації (живучість).

Розглянемо можливі варіанти створення рознесених вторинних РЛС, які дозволяють уникнути зниження живучості рознесених систем первинної локації й одночасно підвищити окремі характеристики самих вторинних РЛС. Такі можливості надає організація розглянутої нами СМ вторинних РЛС.

Щоб уникнути демаскування приймальної позиції первинної локації не можна розташовувати там запитувач вторинної РЛС. Можливими варіантами створення поля вторинної локації, яка дозволить здійснити приймання СВ ЛВ у пункті розташування приймальної позиції первинної локації можуть бути:

- використання запитувача з неспрямованою антеною, приймального пункту вторинних РЛС зі спрямованою антеною, розташованого на приймальній позиції первинної рознесеної РЛС (надалі – перший варіант);
- використання запитувача зі спрямованою і приймального пункту з неспрямованою антенами (другий варіант).

Як бачимо з першого варіанта, використання слабкоспрямованої передавальної антени запитувача не дозволяє випромінювати імпульс ПБП. Однак це і не потрібно, тому що мається на увазі, що на території розташування рознесеної вторинної РЛС не передбачається одночасна робота багатьох запитувачів. ЛВ, у цьому випадку, постійно здійснюють відповідь з частотою, обумовленою

частотою запуску запитувача рознесеної вторинної РЛС. Це дозволяє значно знизити інтенсивність потоку СЗ і тим самим значно підвищити завадостійкість вторинних РЛС.

В другому варіанті, використовуючи спрямовану антену запитувача, вдається випромінювати імпульс ПБП, і, отже, відповідачі здійснюють виборчу відповідь.

В обох розглянутих варіантах організації рознесеної вторинної локації обчислення координат ПО здійснюється звичайними (для рознесеної локації) методами.

Для створення поля вторинних РЛС на всій контрольованій території необхідне використання певної кількості запитувачів. Це зумовить те, що приймач ЛВ буде приймати деяку кількість СЗ від різних запитувачів. Однак використання СМ визначає приймання цих сигналів на синхронній шкалі часу, що дозволяє здійснювати міжперіодну обробку прийнятих СЗ. Для визначення на борту ПО номера запитувача можливе формування ортогональних СЗ кожним із запитувачів. Це збільшує можливості використання часу як криптографічної й об'єднуючої змінної.

Зробимо порівняльну характеристику розглянутих варіантів організації роботи систем первинної і вторинної локації в рознесеному режимі.

Оцінимо характеристики потоків сигналів запиту і відповіді у рознесених вторинних РЛС. Як відзначалося вище, у розглянутих рознесених вторинних РЛС з'являється можливість здійснення в ЛВ міжперіодної обробки прийнятих СЗ. Це виключає можливість несанкціонованого використання ЛВ протилежною стороною. Для доказу цього зробимо порівняння інтенсивності потоків сигналів запиту і відповіді в існуючій і розглянутій вторинних РЛС.

Інтенсивність потоку СЗ в існуючих вторинних РЛС можна записати як (4.1). Як впливає зі співвідношення (4.1) на обслуговування приймаються всі потоки СЗ. Це обумовлено принципом будови існуючої вторинні РЛС.

Сумарний потік СВ в існуючій системі вторинних РЛС можна визначити як

$$\lambda_o = \lambda_1 P_o.$$

У розглянутій рознесеній системі вторинних РЛС із використанням СМ, сумарний потік СЗ, що надходить на вхід ЛВ можна записати як

$$\lambda_1 = \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i (T_p(t)) + \lambda_p + \sum_{j=0}^{M-1} \lambda_j (T_j),$$

де $T_p(t)$ – період проходження СЗ «своїх» запитувачів.

Виходячи з того, що час випромінювання СЗ у всіх елементах СМ рознесеної вторинні РЛС відомий, з'являється можливість реалізації міжперіодної обробки прийнятих СЗ. Наявність міжперіодної обробки дозволяє уникнути несанкціонованого використання ЛВ наших ПО (тому що зацікавленій стороні невідома програма часу формування СЗ), а також значно послабити вплив потоку помилкових СЗ. Отже, сумарний потік СВ у розглянутій рознесеній системі вторинних РЛС можна оцінити як

$$\lambda_0 = P_o \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i (T_p(t)).$$

Таким чином, порівнюючи отримані вирази можна стверджувати, що розглянута система вторинних РЛС виключає несанкціоноване використання ЛВ протилежною стороною.

Оцінимо завадостійкість рознесених вторинних РЛС при спільній дії потоку сигналів запиту і навмисних корельованих і некорельованих завад. Дослідимо завадостійкість рознесених вторинних РЛС при створенні радіолокаційного поля вторинних радіолокаційних засобів з використанням одного пункту запиту з неспрямованою антеною. Будемо досліджувати завадостійкість, як літакового відповідача, так і всієї системи в цілому при спільній дії ПСЗ і ХІЗ.

При дії на вхід ЛВ рознесеної вторинні РЛС одночасно ПСЗ і ХІЗ будуть спостерігатися явища, які зроблять сигнал відповіді запитувачам неможливим:

- подавлення СЗ даної вторинної РЛС через утворення з ХІЗ випереджальних хибних сигналів запиту, що викликають випромінювання коду відповіді (хибна тривога першого роду);

- подавлення СЗ даної вторинної РЛС через утворення з ХІЗ і ПСЗ випереджальних кодів запиту, що викликають випромінювання коду відповіді (хибна тривога другого роду);
- високочастотне подавлення імпульсів кодів запиту даної вторинної РЛС при збігу за часом імпульсів ХІЗ і ПСЗ і несприятливих фазових співвідношеннях;
- подавлення коду запиту в результаті інерціальності схем вхідних формувачів дешифратора.

Зробимо визначення імовірностей цих подій припустивши, що ХІЗ і ПСЗ діють на коди запиту даної вторинної РЛС незалежно один від одного.

Нехай на вхід відповідача надходять ХІЗ інтенсивністю λ_0 а ПСЗ, що викликають випромінювання СВ мають інтенсивність λ_1 . При цьому припустимо, що тривалість імпульсів потоку ХІЗ і ПСЗ однакова і дорівнює тривалості імпульсів корисного сигналу τ_0 . Імовірність того, що хоча б один код запиту потрапить у випереджальний інтервал і подавить запит СЗ вторинної РЛС за рахунок часу паралізації ЛВ t_1 при випромінюванні сигналу відповіді, визначається як

$$P_1 = 1 - \exp(-\lambda_3 t_1),$$

де λ_3 – середня кількість хибних кодів, що утворилися з ХІЗ і викликають випромінювання сигналу відповіді.

Середню кількість помилкових n – імпульсних кодів, що викликають випромінювання СВ, можна визначити як

$$\lambda_3 = n\tau_0^n \lambda^{n-1} (1 - \tau_c/\tau_0),$$

де τ_c – задана величина селекції імпульсів за тривалістю.

Як відомо, спільна дія ХІЗ і ПСЗ викликає утворення хибних, кодів відповіді. Імовірність утворення хибних кодів запиту, викликаних сумісною дією ХІЗ і ПСЗ можна записати як

$$P_2 = n(n - 1)P_{01},$$

де P_{01} – імовірність утворення хибного імпульсу.

Спільна дія ХІЗ і ПСЗ призводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів ХІЗ і ПСЗ при несприятливих фазових співвідношеннях, у результаті чого зменшується інтенсивність ПСЗ.

Імовірність того, що хоча б один імпульс ХІЗ збіжиться за часом з імпульсом ПСЗ і подавить його, може бути визначена зі співвідношення

$$P_p = \gamma[1 - \exp(-\lambda_o \tau_o)].$$

З урахуванням n імпульсів коду запиту імовірність подавлення коду запиту складе

$$P_3 = 1 - (1 - P_p)^n.$$

Імовірність подавлення сигналів запиту, внаслідок інерційності вхідних формувачів ЛВ, може бути визначена як

$$P_4 = 1 - (1 - P_f)^n,$$

де P_f – імовірність подавлення одиночного імпульсу коду через інерціальність формувача, яку можна визначити як

$$P_f = 1 - \exp(-\lambda_o \tau_f).$$

З огляду на вищевикладене, імовірність випромінювання відповіді на запит конкретної вторинної РЛС може бути записана так

$$P_o = \prod_{i=1}^4 (1 - P_i). \quad (4.15)$$

Як випливає з наведених виразів основний внесок у зниження коефіцієнта готовності ЛВ, розглянутого варіанта будови рознесеної системи вторинної локації, робить імовірність, яка визначається інтенсивністю потоку ХІЗ і кількістю імпульсів коду запиту. Час паралізації ЛВ t_1 , у зв'язку з малою інтенсивністю ПСЗ, незначний. На рис. 4.12 наведені залежності коефіцієнта готовності ЛВ вторинної РЛС від інтенсивності ХІЗ. Як випливає з представлених залежностей використання рознесеної вторинної локації дозволяє значно знизити сумарну інтенсивність потоку СЗ і цим значно збільшити КГ ЛВ навіть при значних

інтенсивностях ХІЗ. Порівняльна характеристика наведених розрахунків з результатами розрахунків завадостійкості ЛВ існуючих вторинних РЛС показує, що виграш по завадостійкості розглянутого варіанта реалізації рознесеної вторинні РЛС у порівнянні з існуючими досягає двох порядків і більше.

Розглянемо вплив потоку СЗ і хаотичної імпульсної завади на імовірність одержання інформації запитувачем вторинних РЛС у цілому, з урахуванням КГ ЛВ і системи обробки прийнятих СВ. Апаратура обробки прийнятих СВ реалізує алгоритм виявлення пачки СВ, що надходять, при виконанні критерію « k з m ». Якщо розглядати коефіцієнт готовності ЛВ постійним для всієї оброблюваної пачки СВ, то імовірність першого виявлення пачки сигналів апаратурою запитувача можна визначити з виразу (4.14) з урахуванням (4.15).

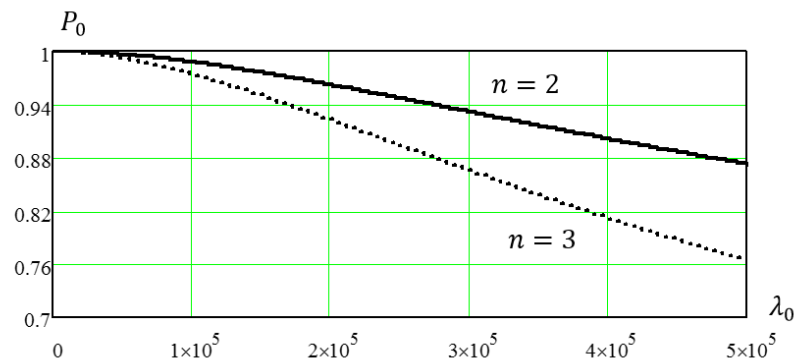


Рисунок 4.12 – Оцінка коефіцієнта готовності літакового відповідача

Розрахунки за виразом (4.14) з урахуванням (4.15) для різних N і $k/m = 4/4$ представлені на рис. 4.13 і 4.14. Як випливає з представлених залежностей, використання розглянутого варіанта побудови рознесеної вторинної РЛС дозволяє не тільки забезпечити узгодження роботи систем первинної і вторинної локації, але і значно підвищити (більше двох порядків) завадостійкість самої вторинної РЛС. Дійсно, як бачимо з рис.4.15 при $N = 10$ і інтенсивності потоку ХІЗ $\lambda_0=500000$ імовірність одержання СВ ЛВ складає 0,994, що не можливо для існуючих вторинних РЛС.

Порівняльна характеристика потоків сигналів запиту і відповіді для розглянутих варіантів побудови рознесених вторинних РЛС показує, що потік СЗ у них однаковий. Потік же СВ значно менший для рознесеної вторинної РЛС, ви-

конаної за другим варіантом. Отже, коефіцієнт готовності ЛВ, розглянутих варіантів однаковий, а імовірність ідентифікації виявлених ПО вторинною РЛС, виконаної за першим варіантом, менша в зв'язку з можливістю інтерференційного подавлення СВ ЛВ, які знаходяться на однакових сумарних відстанях. Таким чином, наведені вище вирази дозволяють оцінити імовірність ідентифікації рознесеною вторинною РЛС, виконаної за першим варіантом в такому вигляді

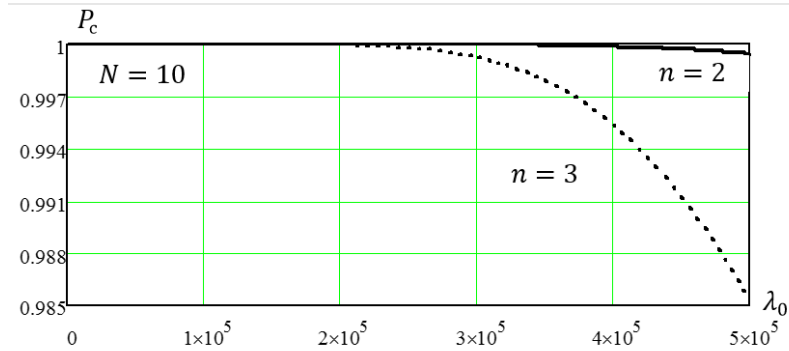


Рисунок 4.13 – Імовірність виявлення ПО

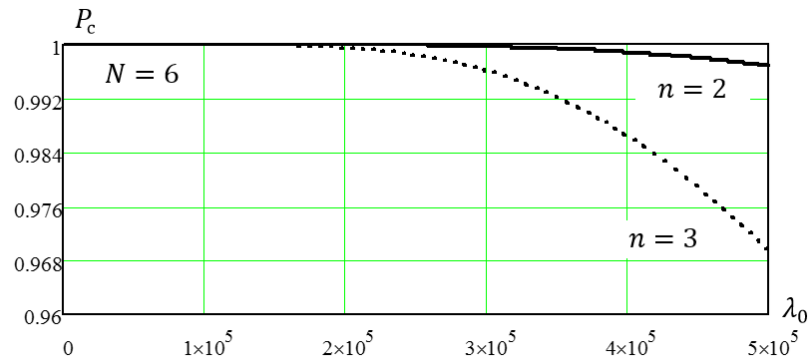


Рисунок 4.14 – Імовірність виявлення ПО

$$P_c = \sum_{j=m}^N C_j^N \left[\sum_{i=k}^m C_i^m (P_{po}P_o)^i (1 - P_{po}P_o)^{m-i} \right]^j \left[1 - \sum_{i=k}^m C_i^m (P_{po}P_o)^i (1 - P_{po}P_o)^{m-j} \right]^{N-j}, \quad (4.16)$$

де імовірність інтерференційного подавлення СВ визначається зі співвідношення

$$P_{po} = 1 - \gamma [1 - \exp(-M\lambda_1 n \tau_o)],$$

де M – кількість ЛВ на однаковій сумарній відстані.

Розрахунки за виразом (4.16), з урахуванням (4.15) при $M = 50$ і $r = 2$ представлені на рис. 4.15 і 4.16. З представлених залежностей бачимо, що перший варіант будови рознесеної вторинні РЛС незначно поступається по імовірності ідентифікації виявлених ПО, однак значно перевершує по завадостійкості існуючі вторинні РЛС.

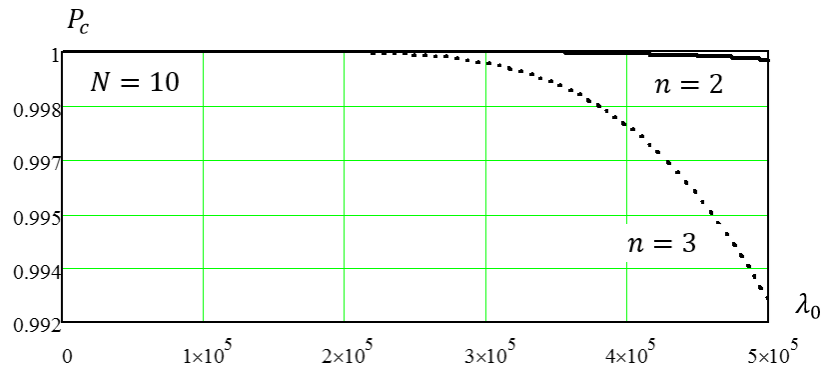


Рисунок 4.15 – Імовірність виявлення ПО

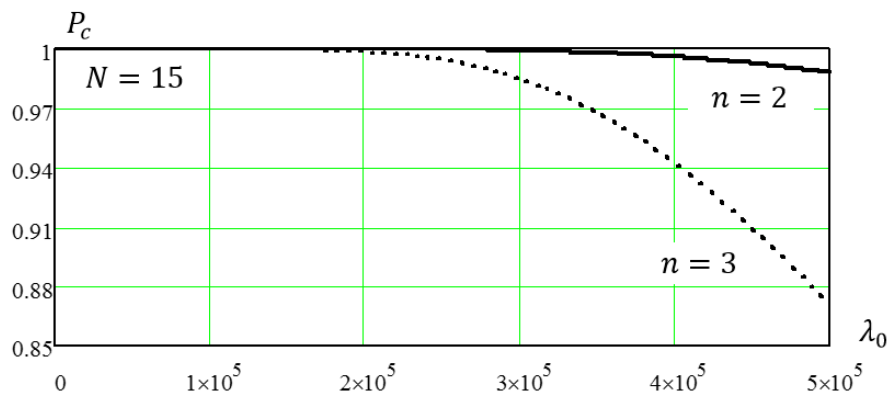


Рисунок 4.16 – Імовірність виявлення ПО

Таким чином використання рознесеного принципу побудови вторинної РЛС дозволяє виключити демаскування первинної рознесеної РЛС та значно підвищити завадостійкість вторинних РЛС. Все це дозволяє зробити висновок, що використання рознесеного прийому у вторинній РЛС дозволить підвищити імовірність ідентифікації та одержання польотної інформації від літальних апаратів наземними радіолокаційними засобами і, як наслідок, призводить до підвищення надійності і безпеки польотів літальних апаратів.

4.5. Оцінка завадостійкості беззапитальних вторинних систем спостереження

Як показано на рис.4.1, одним з методів підвищення завадостійкості вторинних РЛС, що реалізують принцип обслуговування мережі РЛС є адресний метод з кодування тільки сигналу відповіді [64], тобто беззапитальний метод. Як нами помічено, беззапитальні методи реалізації вторинних систем спостереження розглядаються в багатьох відомих роботах. При цьому слід зазначити, що в більшості відомих робіт розглянуті беззапитальні методи котрі реалізуються на єдиній (синхронній) шкалі часу. Однак, включення до складу польотної інформації, що передається з борту ПО, просторових координат ПО дозволяє реалізувати адресний за відповіддю метод передачі ПІ і, як наслідок, реалізувати беззапитний метод ідентифікації ПО при реалізації кодування системи координат.

Оцінимо імовірність неспотвореної передачі ПІ запропонованим варіантом переходу від вторинних РЛС (у яких здійснюється обчислення координат ПО на запитувачі) до вторинних каналів передачі ПІ (у яких координати ПО закладаються у склад передаваної ПІ).

Імовірність неспотвореної передачі ПІ інформації будемо оцінювати за виразом

$$P_{pri} = P_{10}P_{01},$$

де P_{10} - імовірність подавлення інформаційного розряду передаваної інформації у каналі відповіді некорельованою завадою, P_{01} - імовірність появи інформаційного розряду видаваної дією некорельованої завади у каналі відповіді.

Розрахунки імовірності передачі неспотвореної передачі інформації з адресною відповіддю $P_{pri} = f(K, \lambda_1)$, де K – кількість розрядів інформації що передаються; λ_1 - інтенсивність завад в каналі передачі інформації, наведено на рис.4.17.

Наведені розрахунки дозволяють зробити наступні висновки:

– реалізація каналу передачі ПІ з включенням у склад передаваної інформації просторових координат ПО дозволяє реалізувати адресний метод відповіді, що призводить до суттєвого підвищення завадостійкості вторинних РЛС, за рахунок переходу від обслуговування окремого запитувача до обслуговування мережі вторинних РЛС;

– збільшення кількості розрядів передаваної інформації у каналі передачі, як потребує АЗС, навіть без зміни закону модуляції сигналів, показує досить суттєву завадостійкість.

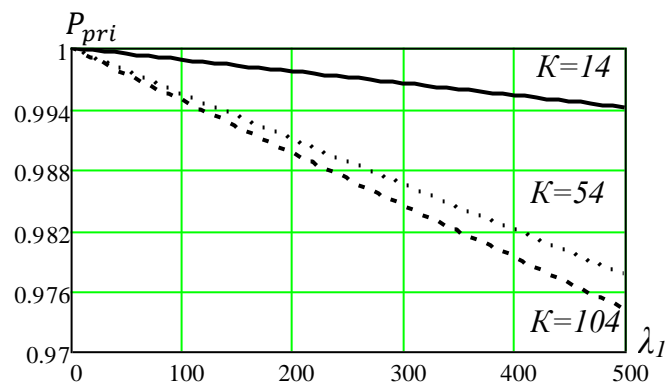


Рисунок 4.17 – Імовірність передачі неспотвореної інформації каналом передачі ПІ

Висновки за розділом 4

1. Показано, що основним способом захисту вторинних РЛС від навмисних корельованих завад є перехід на синхронний принцип побудови мережі вторинних РЛС. У цьому випадку прийом корисних сигналів здійснюється на синхронній основі, а навмисна корельована (імітуюча) завада приймається як несинхронна завада, методи захисту від якої відомі.
2. Наведено класифікацію можливих методів спадкоємного переходу до завадостійких вторинних РЛС на базі синхронної мережі. Показано, що при переході до синхронної мережі вторинних РЛС можна перейти від обслуговування заявки (запитів), що є в існуючих системах, до обслуговування абонента і обслуговування мережі.

3. Серед методів, що реалізують принцип обслуговування абонентів, розглянуті синхронні мережі вторинних РЛС з обслуговуванням сигналів запитувача та сигналів відповідача. Наведено методики і результати розрахунку завадостійкості таких систем. Наведені дослідження завадостійкості показали, що вторинні РЛС, реалізовані на таких принципах, можна віднести до завадостійких систем, так як в них виключена можливість обслуговування навмисних корельованих завад і значно знижено вплив навмисних некорельованих завад.
4. Показано, що використання методу рознесеного прийому у синхронних мережах вторинних радіолокаційних систем дозволяє виключити з обслуговування навмисні корельовані завади, що дозволяє підвищити завадостійкість вторинних систем з одного боку, а з другого боку – дозволяє виключити демаскування позиції первинної приймальної позиції, що підвищує енергетичну прихованість і, як наслідок, підвищує завадозахищеність.
5. Показано, що однією з можливостей реалізація принципу беззапитальної мережі вторинних РЛС є включення у склад передаваної інформації просторових координат ПО. Наведено методику оцінки завадостійкості розглянутої адресної вторинної системи спостереження. Результати розрахунку завадостійкості мають суттєві переваги в розглянутих вторинних РЛС в порівнянні з існуючими вторинними РЛС.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дисертаційній роботі приведені нові рішення актуальної науково-практичної задачі підвищення завадостійкості радіолокаційних систем за рахунок спадкоємного переходу до інформаційних мереж радіолокаційних систем повітряного простору та розробки методів захисту останніх від внутрісистемних та навмисних корельованих та некорельованих завад.

Отримані при дослідженнях наукові і практичні результати зводяться до наступного:

1. Досліджено тенденції розвитку, класифікацію та основні характеристики РЛС спостереження ПП та показано, що основними джерелами інформації в системі КПП є первинні та вторинні РЛС. Проведений аналіз показав, що принципи побудови існуючих первинних та вторинних РЛС, взаємодія між ними при наданні інформації про повітряну обстановку зумовили низьку завадостійкість та енергетичну прихованість останніх. Показано, що задачі обробки сигналів та інформації РЛС спостереження ПП зумовили етапність обробки сигналів та первинної обробки інформації РЛС, що практично унеможливила сумісну оптимізацію як виявлення, так і оцінки положення ПО і, як наслідок, привело до зниження якості ІЗ користувачів системи КПП.

2. Створено інформаційну модель сумісної РЛС спостереження ПП, яка включає дистанційну та дві локальні підсистеми спостереження та є основою інформаційного забезпечення системи КПП у складі первинної та вторинної РЛС, котрі сумісно дають користувачеві інформацію про те, «хто» знаходиться, «де» і «коли», що дозволяє моделювати різні потреби як до якості, так і до кількості інформації, що потребує споживач.

3. Розроблено загальну структуру обробки інформації на базі первинної та вторинної радіолокаційних РЛС, в котрій здійснюється виявлення та оцінка місцеположення ПО за даними РЛС, обробка польотної інформації, поєднання координатних та польотних даних вторинної РЛС, порівняння координатних даних ПО, отриманих первинною та вторинною РЛС, і на основі цього скла-

дання формуляру ПО в складі вектору місцеположення ПО, матриці точності оцінки місцеположення, польотної інформації, ідентифікації ПО за ознакою «свій-чужий» та часу складання формуляру. Визначено, що ПЯ ІЗ споживачів системи КПП є якість обробки інформації, що є добутком імовірності виявлення ПО кожним радіолокатором, імовірності порівняння та об'єднання інформації первинної та вторинних РЛС.

Показано, що для сумісної РЛС у складі первинної та вторинних РЛС значний вплив на інтегральний показник якості ІЗ чинить як КГ ЛВ вторинних РЛС, котрий може управлятися зацікавленою стороною за рахунок постановки корельованих завад, так і відношення сигнал/шум первинної та вторинної РЛС.

4. Синтезовано оптимальну, за критерієм Неймана-Пірсона, структуру виявлення сигналів в мережі первинних та вторинних РЛС спостереження ПП, яка враховує вагове об'єднання результатів каналного виявлення сигналів як первинних, так і вторинних РЛС при формуванні інформаційного пакету, що дозволяє підвищити якість виявлення сигналів та зменшити вплив коефіцієнта готовності літакового відповідача вторинної РЛС на якість виявлення. Якість виявлення ПО з використанням синтезованої структури виявлення сигналів в порівнянні з структурою, що використовується в даний час, збільшується в 1,66 разів при використанні методу накопичення + об'єднання та в 1,33 рази при використанні методу об'єднання + накопичення при відношенні сигнал/шум $q = 1.88$. Наведені розрахунки якості ІЗ синтезованою структурою показали, що кращі показники мають місце при використанні методу обробки сигналів, заснованого на накопиченні з наступним об'єднанням. Так при $q = 2.3$ та $m = 2$ якість ІЗ збільшується в 1.25 рази.

Розроблено структуру обробки інформації на основі радіолокаційних СС ПП, у котрій, завдяки виконанню послідовної централізованої процедури обробки сигналів та первинної обробки інформації, вдається здійснити сумісну оптимізацію як виявлення, так і вимірювання координат ПО. Величина аналогового порогу виявлення сигналів використовується в якості параметру при сумісній оптимізації обробки даних спостереження. Визначено, що для оптимізації

виміру стану ПО повинні передаватися у складі формуляру ПО матриці точності виміру параметрів сигналу.

5. Синтезовано оптимальну, за критерієм Неймана-Пірсона, структуру виявлення ПО мережею РЛС спостереження ПП яка формує об'єднану інформацію на основі вагового об'єднання попередніх вирішень всіх часових каналів обробки результатів каналного виявлення та зводиться до вибору одного з вирішальних правил і до вибору відносного порогу виявлення сигналів, що забезпечує таке значення імовірності хибної тривоги каналного виявлення, яке при вибраному вирішальному правилі дає необхідне значення результуючої імовірності хибного виявлення ПО. Показано, що при логіки обробки $\frac{1}{4}$ ліпшу якість виявлення ПО дає схема накопичення-виявлення, а для логіки $\frac{3}{4}$ – схема виявлення – накопичення, а також що схема виявлення-накопичення менш чутлива до коефіцієнта готовності літакового відповідача.

6. Розроблено методи підвищення завадостійкості РЛС спостереження ПП за рахунок: спадкоємного переходу до мережної побудови як первинних, так і вторинних РЛС; оптимізації обробки сигналів запиту в літакових відповідачах, оптимізації обробки сигналів відповіді літакових відповідачів вторинних РЛС та спадкоємного переходу до єдиної інформаційної мережі РЛС у якій розв'язується протиріччя сумісного функціонування первинних та вторинних РЛС. Показано, що запропоновані методи дозволили підвищити завадостійкість РЛС ПП завдяки переходу до інформаційних мереж радіолокаційних систем повітряного простору та оптимізації обробки сигналів запиту і відповіді та інформації вторинних РЛС.

Оптимізована структура обробки СВ вторинних РЛС за рахунок виконання спочатку МО приймаємих сигналів, а після декодування СВ. Наведені розрахунки ІЗ користувачів показали, що модернізована структура обробки СВ вторинних РЛС підвищує якість ІЗ користувачів та зменшує вплив КГ ЛВ на якість ІЗ. Однак маються певні межі як КГ ЛВ так і різниці у відношенні сигнал/шум для первинної та вторинних РЛС при перевищенні котрих ефекту від модернізації структури обробки СВ не мається.

Показано, що основним способом захисту вторинних РЛС від навмисних корельованих завад є перехід на синхронний принцип побудови мережі вторинних РЛС. У цьому випадку прийом корисних сигналів здійснюється на синхронній основі, а навмисна корельована (імітуюча) завада приймається як несинхронна завада, методи захисту від якої відомі.

Наведено класифікацію можливих методів спадкоємного переходу до завадостійких вторинних РЛС на базі синхронної мережі. Показано, що при переході до синхронної мережі вторинних РЛС можна перейти від обслуговування заявки (запитів), що є в існуючих системах, до обслуговування абонента та обслуговування мережі.

Серед методів, що реалізують принцип обслуговування абонентів, розроблено методи з обслуговуванням сигналів запитувача та сигналів відповідача. Наведено методики і результати розрахунку завадостійкості таких вторинних РЛС. Показано що вторинні РЛС, реалізовані на таких принципах, можна віднести до завадостійких систем, так як в них виключена можливість обслуговування навмисних корельованих завад і значно знижено вплив навмисних некорельованих завад.

Показано, що однією з можливостей реалізації принципу беззапитальної мережі вторинних РЛС є включення у склад передаваної інформації просторових координат ПО. Наведено методику оцінки завадостійкості розглянутої адресної вторинної системи спостереження. Результати розрахунку завадостійкості мають суттєві переваги в розглянутих вторинних РЛС в порівнянні з існуючими вторинними РЛС.

7. Отримані в роботі теоретичні та практичні результати впроваджено в Харківському регіональному структурному підрозділі Державного підприємства обслуговування повітряного руху України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы / В.Я. Аверьянов. – Минск: Наука и техника, 1978. - 182 с.
2. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев и др.; под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. – СПб.: Политехника, 2004. – 446 с.
3. Агаджанов П.А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / Агаджанов П.А., Воробьев В.Г., Кузнецов А.А. – М.: Транспорт, 1980. – 342 с.
4. Азов В. Концепция создания единой информационно-управляющей структуры ВС США /В. Азов // Зарубежное военное обозрение. – 2003. – №1. – С. 3 – 10.
5. Алексеев А. Единая система управления объединенными ВВС и ПВО НАТО в Европе / А. Алексеев, В. Владимирский // Зарубежное военное обозрение. – 2000. № 10. – С. 27 – 33.
6. Андрусевич В.А. Оптимізація структури обробки сигналів відповіді вторинних РЛС ПП /В.А. Андрусевич // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків: ХУПС, 2014. №1(38). С. 64-66.
7. Андрусяк А.И., Дем'янчук В.С., Юр'єв Ю.М. Мережа авіаційного зв'язку / А.И. Андрусяк, В.С. Дем'янчук, Ю.М. Юр'єв. – К.: НАУ, 2001. – 448 с.
8. Анодина Т.Г. Автоматизация и управление воздушным движением / Т.Г. Анодина, А.А. Кузнецов, Е.Д. Маркович. – М.: Транспорт, 1992. – 280 с.
9. Анодина Т.Г. Управление воздушным движением / Т.Г. Анодина, С.В. Володин, В.П. Куранов, В.И. Мокшанов. – М.: Транспорт, 1988. – 232 с.
10. Анодина Т.Г. Моделирование процессов в системе управления воздушным движением / Т.Г. Анодина, В.И. Мокшанов.– М.: Радио и связь, 1993. – 263 с.

11. Бакуменко Б.В. Адресні методи підвищення заводозахищеності систем радіолокаційного впізнавання на основі кодування сигналами запиту та відповіді координат повітряних об'єктів: дис. канд. техн. наук: 05.12.17: захищ. 04.06.2008 затвердж. 21.09.2008 / Б.В. Бакуменко. – Харків: ХАІ, 2008. – 164 с.
12. Булай А.М. Методи підвищення заводостійкості систем вторинної радіолокації: дис. канд. техн. наук: 05.12.17: захищ. 22.01.2007: затвердж. 15.04.2007 / А.М. Булай. – Харків: ХІРЕ, 2007. – 170 с.
13. Вакин С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: Сов. Радио, 1968. – 444 с.
14. Варганесян В.А. Радиозлектронная разведка / В.А. Варганесян – М.: Воениздат, 1975. – 323 с.
15. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития / В.С. Верба. – М.: Радиотехника, 2008. – 432 с.
16. Глобус И.А. Двоичное кодирование в асинхронных системах / И.А. Глобус. – М.: Связь, 1972. – 153 с.
17. Голик Ф.В. Вторичные радиолокационные системы УВД и системы предупреждения столкновений. НПИ / Ф.В. Голик. – Новгород: 1985. – 168 с.
18. Грачев В.В. Радиотехнические средства управления воздушным движением / В.В. Грачев, В.М. Кейн – М.: Транспорт, 1975. – 237 с.
19. Давыдов П.С. Радиолокационные системы летательных аппаратов / П.С. Давыдов, В.П. Жаворонков, Г.В. Кашеев – М.: Транспорт, 1977. – 342 с.
20. Давыдов П.С. Авиационная радиолокация: Справочник / П.С. Давыдов, А.А. Сосновский, И.А. Хаймович. – М.: Транспорт, 1984. – 224 с.
21. Дубровский В.И. Организация радиотехнического обеспечения в системе УВД. Рациональное оснащение районных центров / В.И. Дубровский, Г.А. Крыжановский, В.А. Солодухин – М.: Транспорт, 1985. – 164 с.
22. Дудник П.И. Многофункциональные радиолокационные системы / П.И. Дудник, А.Р. Ильчук, Б.Г. Татарский; под ред. Б.Г. Татарского. – М.: Дрофа, 2007. – 283 с.

23. Заволодько Г.Е. Інформаційна модель спостереження повітряного простору / Г.Е. Заволодько, А.І. Обод, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС, 2015. – № 13 (137). – С. 23-26.

24. Заволодько Г.Е. Аналіз якості об'єднання інформації в інформаційній мережі СС ПП / Г.Е. Заволодько, А.І. Обод, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС, 2016. – №5(142). – С. 15–17.

25. Заволодько Г.Е. Інформаційна модель спостереження повітряного простору / Заволодько Г.Е., Обод А.І., Андрусевич В.А. // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХПІ». – 2016. Ч.IV.С. 122.

26. Зайцев Д.В. Многопозиционные радиолокационные системы. Методы и алгоритмы обработки информации в условиях помех / Д.В. Зайцев. – М.: Радиотехника 2007. – 114 с.

27. Информационные технологии в радиотехнических системах. / [В.А. Васин, И.Б. Власов, Ю.М. Егоров и др.]; Под ред. И.Б. Федорова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 672 с.

28. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания: пер. с англ. – И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман; М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

29. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 342 с.

30. Кондратьев, В.С. Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков; под ред. проф. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986.

31. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.

32. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин – Киев: КВиЦ, 2000. – 428 с.

33. Кондратьев В.С. Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков; под ред. проф. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986.
34. Лившиц А.Р. Многоканальные асинхронные системы связи / А.Р. Лившиц. – М.: Связь, 1972. - 256 с.
35. Лихарев В.А. Цифровые методы и устройства в радиолокации / В.А. Лихарев. – М.: Сов. радио, 1973. - 367 с.
36. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания [Справочник] / Маляренко А.С. – Харьков: ХУПС, 2007. – 78 с.
37. Международные стандарты и рекомендуемая практика: Авиационная электросвязь. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Системы обзорной радиолокации и предупреждения столкновений. – 2-е изд. – ИКАО, 1998. – Т. IV
38. Международные стандарты и рекомендуемая практика: Авиационная электросвязь. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Системы передачи цифровых данных. – 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 1995 (с учетом поправки 76 от 01.11.01). – Т. III. – Ч. 1.
39. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи / Д. Миддлтон – М.: Сов. радио, 1962. – 467 с.
40. Мультилатерация и слежение ADS-B / Кузнецов А.П. // Журнал Аэронавигация. – 2011. – №2. – 40 - 45 с.
41. Розвиток теорії обробки інформації та ідентифікація об'єктів у єдиній інформаційній мережі систем спостереження: звіт про НДР (закл.) 11.08.12 / НТУ ХПІ ДР. НТУ «ХПІ». – Харків, 2012 рік. – №0110U001250.
42. Обод І.І. Інформаційна мережа радіолокаційних систем повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.:ХНУРЕ, 2015. – 270 с.
43. Обод І.І. Структура та показники якості обробки інформації радіолокаційних систем повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А.

Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 8(115). – Х.: ХУПС. – 2013. – С. 80-83.

44. Обод І.І. Порівняльний аналіз двох методів обробки сигналів відповіді вторинних радіолокаційних систем / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 1(117). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 41-43

45. Обод І.І. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 4(120). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 53-56

46. Обод І.І. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах вторинних радіолокаційних систем повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. - Вип. 4(41). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 8-11

47. Обод І.І. Оптимізація обробки даних в мережах радіолокаційних систем повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, Г.Е. Заволодько, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 3(140). – Х.: ХУПС. - 2016. - С. 97-99

48. Обод І.І. Методи розв'язування протиріч спільного функціонування первинних та вторинних радіолокаційних систем повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Кафедра систем: Збірник наукових праць. – Х.: НТУ «ХП». - 2014. - С. 192-200

49. Обод І.І. Структура та показники якості обробки інформації радіолокаційних систем повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2014. Ч.IV.с. 110.

50. Обод І.І. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах вторинних радіолокаційних систем повітряного простору

ру / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей 4 міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». – Харків.: – 2014. С. 8.

51. Обод І.І. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2015. Ч.IV.С. 122.

52. Обод І.І. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, Заволодько Г.Е., В.А. Андрусевич // Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2016. Ч.IV.С. 122.

53. Обод І.І. Аналіз функціональної архітектури спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2016. Ч.IV.С. 122.

54. Обод І.І. Ефективність інформаційного забезпечення системи контролю повітряного простору та його захисту / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2016. Ч.IV.С. 122.

55. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба / А.И. Палий. - М.: Воениздат, 1989. – 350 с.

56. Перевезенцев, Л.Т. Радиолокационные системы аэропортов / Л.Т. Перевезенцев, А.В. Зеленков, В.Н. Огарков. – М.: Транспорт, 1981. – 344 с.

57. Про об'єднану цивільно-військову систему організації повітряного руху України. Постанова КМУ від 19 липня 1999 р. N 1281.

58. Про затвердження Програми розбудови державної системи використання ПП України на 2002-2006 роки України. Стратегія інтеграції України до Європейського Союзу. Указ Президента України від 11.06.1998 № 615/98.

59. Програма розвитку державної системи використання ПП України на 2010-2014 роки, постанова Кабінету Міністрів України від 13.01.2010, № 44.

60. Програма інтеграції України до Європейського Союзу. Указ Президента України від 14.09.2000 № 1072/2000.

61. Радиолокационное оборудование автоматизированных систем управления воздушным движением: Учебник для вузов / Под ред. А.А. Кузнецова. – М.: Транспорт, 1995. – 344 с.

62. Радиотехнические системы. / Под ред. Ю.М. Казаринова. - М.: Высшая школа, 1990. - 496 с.

63. Сергеев А., Тюрин М. Американская система радиолокационного опознавания МК12 // Зарубежное военное обозрение. – 1983. - № 8. – С. 55-58.

64. Спосіб ІЗ користувачів: пат. 88840 МПК G 01 S 13/00 / Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. – Опубліковано. 10.04.2014. – 4 с.

65. Спосіб мережної обробки інформації: пат. 92812 МПК G 01 S 13/02 Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. – Опубліковано. 10.09.2014. – 4 с.

66. Стрельников В.І. Тенденції розвитку Військово-Повітряних Сил України з урахуванням досвіду воєнних конфліктів кінця ХХ сторіччя // Наука і оборона. - 2000. - № 2.

67. Стрельницький О.О. Оцінка якості ІЗ споживачів системою спостереження повітряного простору / Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. // Матеріали 18-го Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроника и молодежь в XXI веке», Том 3, Харків: ХНУРЕ, 2014, – с. 95

68. Стрельницький О.О. Якість інформаційного забезпечення споживачів на основі сумісної обробки інформації систем спостереження повітряного простору / О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 5(121). – Х.: ХУПС. - 2014. - С. 94-96.

69. Стрельницький О.О. Розподілена обробка інформації у мережах систем спостереження повітряного простору / О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 2(118). – Х.: ХУПС. - 2014. - С. 69-71.

70. Стрельницький О.О. Інформаційна модель локальної системи спостереження повітряного простору / О.О. Стрельницький, Г.Е. Заволодько, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 1(138). – Х.: ХУПС. - 2016. - С. 44-46.

71. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору / [В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко] – К.: МОУ, 2004. – 271 с.

72. Ткаченко В.І. Характер дій ОЗС НАТО по території Югославії в рамках операції «Союзницька сила». – Харків: ХВУ, 1999.

73. Ткачов В.В. Об'єднана цивільно-військова система організації повітряного простору України – реально безпечний простір для користувачів / В.В. Ткачов // Наука и оборона. – 1999. – № 2. – С. 13-16.

74. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, І.І. Обод і ін. – К.: МОУ, 2004. - 271 с.

75. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации; [пер. с англ.] / А. Фарина, Ф. Студер – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

76. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы / В.А. Чердынцев - Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 369 с.

77. Шебшаевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев. – М.: Радио и связь, 1982. – 272 с.

78. Шишов Ю.А. Многоканальная радиолокация с временным разделением каналов / Ю.А. Шишов, В.А. Ворошилов. - М.: Радио и связь, 1987. - 144 с

79. Шоу Н., Симолюнас А. Пропускная способность сети вторичных радиолокационных станций для системы УВД // ТИИЭР. – 1970, – № 3. – С. 165-169.

80. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы / В.А. Чердынцев. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 369 с.
81. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. - М.: Радио и связь, 1993. - 408 с.
82. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации / М.С. Ярлыков. - М.: Радио и связь, 1985. – 342 с.
83. Ярлыков М.С., Черняков М.В. Оптимизация асинхронных адресных систем радиосвязи / М.С. Ярлыков, М.В. Черняков. - М.: Связь, 1979. - 215 с.
84. ATM User Requirements Document (URD) Volume 1. FCO.ET1.ST04.DEL01. 5 January 1999. EUROPEAN ORGANISATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION.: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.scribd.com/doc/48445383/15/General-Comments-Regarding-the-Interim-Version-of-the-ATM2000-Strategy>
85. Dawood M. Generalised wideband ambiguity function of a coherent ultrawideband random noise radar / M. Dawood, R.M. Narayanan // IEEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, vol. 150, no. 5, pp. 379 - 386, October 2003.
86. ICAO FAA Workshop On ADS B And Multilateration Implementation. Mexico City, 6 to 8 September 2011.: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mexico.icao.int/Meetings/Seminars/ADSBMLT/SummaryofDiscussions.pdf>
87. Quirk K.J. An MSK waveform for radar applications / K.J. Quirk, M. Srinivasan // in Proc. of GLOBECOM 09, Honolulu, Hawaii, USA, doi: 10.1109/GLOCOM.2009.5425647, Dec. 2009.
88. Ikeda Akira. New SSR system / Ikeda Akira, Takano Hisao // NEC Rec. And Develop. – 1982. – № 66. – P.36 – 43.
89. Les systems secondaires // Telonde. – 1983. – № 1. – P.16-18.
90. Lok J.J. C² for the air warrior // Jane's International Defense Review. – October 1999. – V.2. – P. 53-59.
91. Local Single Sky Implementation (LSSIP) UKRAINE. (Formally known as LCIP). Years 2010-2014. Level 1 [Электронный ресурс]: План впровадження Єдиного європейського неба для України (LSSIP): за даними Міністерства ін-

фраструктури України Державне підприємство обслуговування повітряного руху України. – Режим доступу: http://uksatse.ua/doc/16_1_LSSIP_en.pdf

92. Marchetti G., Verrazzni L. Decoding-degarbling in monopulse secondary surveillance radar // Radar-82: Int. Conf. London. – 1982. – P.215-219.

93. Multilateration (MLAT) Concept of use Edition 1.0 – September 2007.: [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.bangkok.icao.int/edocs/cns/mlat_concept.pdf

94. Multilateration & ADS-B: executive reference guide.: [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.multilateration.com, <http://www.multilateration.com/downloads/MLAT-ADS-B-Reference-Guide.pdf>

95. Piccini P. Theoretical and experimental evaluation of monopulse SSR in actual environment // Rec. CIE Int.Conf.Radar, Beijing. – 1986. – P. 140-148.

96. Saddik G.N. Ultra-wideband multifunctional communications/radar system / G.N. Saddik, R.S. Singh, and E.R. Brown // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 55, no. 7, pp. 1431-1437, July 2007.

97. Shrawan C. Surender. Performance Analysis of Communications & Radar Coexistence in a Covert UWB OSA System / Shrawan C. Surender, Ram M. Narayanan, Chita R. Das. // in Proc. GLOBECOM 2010, Miami, FL, USA, doi: 0.1109/GLOCOM.2010.5683837, Dec. 2010.

98. Sievens M.C. New developments in secondary-surveillance radar / M.C. Sievens // J. Inst. Eng. Electron. and Telecommun. Eng. Div. – 1985 – № 1. – P.22-26.

99. Surender S.C. UWB Noise-OFDM netted radar: Physical layer design and analysis / S.C. Surender, R.M. Narayanan // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Accepted Dec. 2009, In Press.

100. Surender S.C. UWB Noise-OFDM netted radar: Physical layer design and analysis / S.C. Surender, R.M. Narayanan // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Accepted Dec. 2009, In Press.

101. Strelnytskiy A.A. Data processing optimization in the aerospace surveillance system network / A.A. Strelnytskiy, G.E. Zabolodko / V.A. Andrusovich // Telecommunications and Radio Engineering. – 2016. – № 75 (13). – P. 1193-1200.

102. Strelnytskyi O.O. Optimization of structure for processing of response signals from airspace monitoring systems / Strelnytskyi O.O. //Materials of the 7-th International conference «Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals «USUWBIS-2014»», 15-19 September, 2014, Kharkiv, Ukraine, pp. 63-65

103. Strelnytskyi A.A. Data processing optimization in the aerospace surveillance system network / A.A. Strelnytskyi, G.E. Zanolodko/ V.A. Andrusovich // Telecommunications and Radio Engineering. 2016, 75 (13), p. 1193-1200

104. Farina A. Survey of data processing systems in netted radar / A. Farina. // Elec. Technol. 1985, № 2, p. 48-55.

105. Farina A. Position accuracy in netted and bistatic radar / A. Farina, E. Hanle. // IEEE Trans. Aerosp. And Electron. Syst. 1983, 19, № 4, p. 513-520.

106. Farina A. Multiradar tracking systems using radial velocity measurements / A. Farina. // IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems. 1979, № 6, p. 555-563.

107. Farina A. Radar and Sensor netting: Present and Future / A. Farina, F.A. Studer. //Microwave Journal. 1986, № 1, p. 97-124.

ДОДАТОК А

**АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІ-
ДЖЕНЬ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Заступник директора
 Харківського регіонального
 структурного підрозділу
 Державного підприємства
 обслуговування повітряного руху України
 П. М. Чупіков

А К Т

впровадження наукових результатів роботи Андрусевича Володимира Анатолійовича

Комісія у складі:

голови комісії ЧУПШКОВА Петра Михайловича – заступника директора із
 ЗНС Харківського регіонального структурного підрозділу,

та членів комісії:

ЄФРЕМОВА Миколи Васильовича – провідного інженер-програміста
 комплексу автоматизованого обслуговування повітряного руху;

ЄФРЕМОВА Олександра Васильовича – провідного інженера з
 автоматизованих систем управління повітряного руху;

констатує, що наукові результати роботи Андрусевича Володимира
 Анатолійовича «Рекомендації по підвищенню завадостійкості радіолокаційних
 інформаційних засобів» використовувались в якості рекомендацій при
 плануванні заходів по модернізації радіолокаційних систем з метою
 підвищення якості інформаційного забезпечення.

Голова комісії



Handwritten signature of P. M. Chupikov

П. М. Чупіков

Члени комісії

Handwritten signature of M. V. Efremov

М. В. Єфремов

Handwritten signature of O. V. Efremov

О. В. Єфремов



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
 Національного технічного
 університету «Харківський
 політехнічний інститут»

проф. А.Марченко

10.06.2018

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Андрусевича Володимира Анатолійовича за темою «Методи підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору» в НДР «Розвиток теорії обробки інформації та ідентифікація об'єктів у єдиній інформаційній мережі систем спостереження» (ДР № 0110U001250).

Комісія у складі: голови – к.т.н., проф. Заполовський М.Й., членів: д.т.н., проф. Серков О.А.; к.т.н., доц. Поштаренко В.М.,

дійшла висновку, що наступні результати дисертаційної роботи Андрусевича В.А. використані у НДР, зокрема:

розробка та дослідження методів підвищення завадостійкості запитальних систем спостереження повітряного простору в умовах дії внутрісистемних та навмисних корельованих і некорельованих завад.

Голова комісії

М.Й.Заполовський

Члени комісії

О.А. Серков

В.М. Поштаренко

ДОДАТОК Б**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІ-
ДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – 270 с.
2. Обод І.І. Структура та показники якості обробки інформації систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 8(115). – Х.: ХУПС. – 2013. – С. 80-83.
3. Андрусевич В.А. Оптимізація структури обробки сигналів відповіді запитальних систем спостереження повітряного простору / В.А. Андрусевич // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Вип. 1(38). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 64-66.
4. Обод І.І. Порівняльний аналіз двох методів обробки сигналів відповіді запитальних систем спостереження / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 1(117). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 41-43
5. Обод І.І. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. - Вип. 4(120). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 53-56
6. Обод І.І. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Вип. 4(41). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 8-11
7. Стрельницький О.О. Розподілена обробка інформації у мережах систем спостереження повітряного простору / О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 2(118). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 69-71.
8. Стрельницький О.О. Якість інформаційного забезпечення споживачів на основі сумісної обробки інформації систем спостереження повітряного

простору / О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 5(121). – Х.: ХУПС. – 2014. – С. 94-96.

9. Заволодько Г.Е. Інформаційна модель спостереження ПП / Г.Е. Заволодько, А.І. Обод, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 12(137). – Х.: ХУПС. – 2015. – С. 23-26.

10. Стрельницький О.О. Інформаційна модель локальної СС ПП / О.О. Стрельницький, Г.Е. Заволодько, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 1(138). – Х.: ХУПС. – 2016. – С. 44-46.

11. Обод І.І. Оптимізація обробки даних в мережах СС ПП / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, Г.Е. Заволодько, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 3(140). – Х.: ХУПС. – 2016. – С. 97-99

12. Заволодько Г.Е. Аналіз якості об'єднання інформації в інформаційній мережі СС ПП / Г.Е. Заволодько, А.І. Обод, В.А. Андрусевич // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 5(142). – Х.: ХУПС. – 2016. – С. 15-17.

13. Strelnytskiy A.A. Data processing optimization in the aerospace surveillance system network / A.A. Strelnytskiy, G.E. Zavalodko / V.A. Andrusevich // Telecommunications and Radio Engineering, 2016. – 75 (13). – p. 1193–1200

14. Спосіб інформаційного забезпечення користувачів: пат. 88840, МПК G 01 S 13/00 (2014.01); заявл. 18.06.2013; опубл. 10.04.2014. Бюл. № 7. / Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. – Опубліковано. 10.04.2014. – 4 с.

15. Спосіб мережної обробки інформації: пат. Пат. 92812 МПК G 01 S 13/02 (2006.01); заявл. 24.02.2014; опубл. 10.09.2014. Бюл. №17. / Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. – Опубліковано. 10.09.2014. – 4 с.

16. Обод І.І. Структура та показники якості обробки інформації систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХПІ». – 2014. Ч.IV.с. 110.

17. Обод І.І. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей 4 міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». – Харків.: – 2014. С. 8.

18. Стрельницький О.О. Оцінка якості інформаційного забезпечення споживачів системою спостереження повітряного простору / Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. // Матеріали 18-го Міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроника и молодежь в XXI веке», Том 3, Харків: ХНУРЕ, 2014, – с. 95

19. Обод І.І. Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич // Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків.: НТУ «ХП». – 2015. Ч.IV.С. 122.

20. Заволодько Г.Е. Інформаційна модель спостереження повітряного простору / Заволодько Г.Е., Обод А.І., Андрусевич В.А. // Тези доповідей XXIV Міжнародної НПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХП», 2016. – Ч. IV. – С. 122.