

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

АНДРУСЕВИЧ ВОЛОДИМИР АНАТОЛІЙОВИЧ



УДК 621.396.96

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

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Стрельницький Олексій Олександрович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, доцент кафедри комп'ютерної
радіоінженерії та систем технічного захисту інформації

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Павліков Володимир Володимирович
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
проректор з наукової роботи

кандидат технічних наук, доцент
Бакуменко Борис Володимирович
Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба, професор кафедри тактики
радіотехнічних військ

Захист відбудеться «24» жовтня 2019 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр-т Науки, 14, ауд. № 13.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, Харків, пр-т Науки, 14.

Автореферат розісланий 18 вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Успішне виконання завдань, що стоять перед Повітряними Силами Збройних Сил України, визначається рівнем інформаційного забезпечення (ІЗ), яке надають первинні та вторинні радіолокаційні системи (РЛС) спостереження повітряного простору (ПП). ІЗ полягає в одержанні споживачем координатної інформації спостережуваного повітряного об'єкта (ПО), інформації про державну приналежність ПО, а також додаткової польотної інформації про його стан і параметри руху. Таким чином, можливо стверджувати, що досить повну картину повітряного простору дають спільно первинні й вторинні РЛС. Первинні РЛС надають інформацію «де» знаходиться ПО, а вторинні, тобто системи ідентифікації (СІ) за ознакою «свій-чужий» – «хто» він. Тільки наявність достовірної інформації від первинних РЛС та систем ідентифікації дозволяє прийняти правильне рішення. Останнє дозволяє стверджувати, що якість ІЗ користувачів повною мірою визначається завадостійкістю первинних та вторинних радіолокаційних систем.

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

Наявність навмисних та ненавмисних завад знижує, а в де-яких випадках і унеможлиблює, видачу достовірної інформації про ПО. Дійсно, існуючі вторинні РЛС мають ряд специфічних особливостей побудови й функціонування, які не дозволяють віднести ці системи ні до завадостійких, ні до завадозахищених систем і, як наслідок, мають низьку якість ІЗ споживачів. Неправильне визначення державної належності ПО під час бойових дій неодмінно призводить до тяжких наслідків. Так, у в ході однієї з операцій в Іраку зафіксовано 17 випадків застосування зброї по своїх літаках та військах через неправильне визначення державної належності.

Таким чином, тема дисертаційної роботи, яка присвячена розробці й дослідженню методів підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації ХНУРЕ 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 системи спостереження» ДР № 0110U001250.

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

Науково-технічною задачею роботи є розробка та дослідження методів підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС спостереження

повітряного простору в умовах дії внутрісистемних та навмисних корельованих і некорельованих завад.

Для вирішення поставленої задачі необхідно вирішити такі часткові задачі:

1. Провести порівняльний аналіз принципів побудови, особливостей функціонування, завадостійкості та енергетичної прихованості існуючих радіолокаційних систем в умовах дії внутрісистемних і 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 процес радіолокаційного спостереження повітряного простору.

Предметом дослідження є методи підвищення завадостійкості РЛС 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; методи 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 максимальної правдоподібності.

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

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

3. Вперше синтезовано структуру первинної 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 підвищило 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 повітряного простору.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

– розглянуті методи підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору враховують навмисні та ненавмисні, корельовані та некорельовані завади як у каналі запиту, так і у каналі відповіді та можуть бути використані для розроблення вимог до модернізації існуючих систем спостереження;

– 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 систем спостереження.

Результати дисертаційної роботи реалізовані в рамках НДР «Розвиток теорії обробки інформації та ідентифікація об'єктів у єдиній інформаційній мережі систем спостереження» ДР № 0110U001250 та в Харківському регіональному структурному підрозділі Державного підприємства обслуговування повітряного руху України (акт впровадження результатів роботи).

Практичне значення також визначається отриманими патентами на корисну модель «Спосіб інформаційного забезпечення користувачів» (№ 88840) та «Спосіб мережної обробки інформації» (№ 92812).

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: синтез та аналіз структури обробки сигналів сумісних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору [1, 8, 15-20]; структура обробки інформації радіолокаційних систем з сумісною оптимізацією як виявлення, так і точності виміру координат повітряних об'єктів [1, 2-6]; синтез та аналіз структури первинної обробки інформації радіолокаційних систем спостереження, та методи підвищення завадостійкості вторинних систем спостереження, які ґрунтуються на спадкоємному переході до синхронних мереж вторинних радіолокаційних систем [1, 7-14].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи були представлені та апробовані на: XXII, XXIII, XXIV Міжнародній НПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків.: НТУ 2014, 2015, 2016); Міжнародній НТК «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». – Харків: – 2014; 18 Міжнародний молодіжний форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харьков: ХНУРЕ, 2014).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 20 наукових публікаціях, з них: 1 монографія, 11 статей у фахових виданнях України, 1 стаття – у закордонному періодичному виданні (наукометрична база Scopus), 2 патенти України, 5 тез доповідей у матеріалах науково-технічних конференцій та форумів.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 179 сторінок, з них 46 рисунків по тексту; 9 таблиць по тексту; список використаних джерел з 162 найменувань на 19 сторінках, 22 додатків на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, визначені мета та основні задачі дисертаційного дослідження, сформульовані нові наукові положення, що виносяться на захист, визначена практична значимість отриманих результатів та представлені дані про їх реалізацію, наведені публікації автора і його особистий внесок.

У **першому розділі** показано, що одним з основних принципів організації ІЗ системи контролю повітряного простору 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 повітряного простору, радіоелектронної боротьби і вогневого ураження з метою забезпечення узгодженої роботи органів управління в ході підготовки і ведення бойових дій та розподіленого автоматизованого добування в реальному масштабі часу інформації від різних засобів розвідки і спостереження, обробки та

оптимального її розподілу між засобами ураження. Наведено тенденції розвитку, класифікацію систем спостереження (СС) повітряного простору та показано, що основним джерелом інформації про повітряну обстановку є первинні та вторинні системи спостереження, завадостійкість яких визначає якість ІЗ користувачів і котрі є основою створення мережі ІЗ повітряного простору. Показано, що задачі обробки інформації системи спостереження повітряного простору зумовили етапність обробки сигналів та даних СС, що практично унеможливило сумісну оптимізацію як виявлення, так і оцінки положення ПО при сучасному підході до процесу обробки інформації в радіолокаційних системах спостереження повітряного простору.

На підставі аналізу стану вирішення задачі завадостійкості РЛС повітряного простору сформульовані перспективні можливості її вирішення.

Другий розділ присвячено синтезу структури обробки сигналів та інформації на базі сумісних радіолокаційних СС.

Показано, що основою ІЗ є первинні та вторинні (запитальні) РЛС, котрі сумісно дають користувачеві інформацію про те, «хто» знаходиться «де» і «коли». Наводиться інформаційна модель такої сумісної РЛС спостереження ПП, котра включає дистанційну та дві локальні підсистеми спостереження, що дозволяє моделювати різні потреби, як до якості, так і кількості інформації, що потребує споживач.

Формуляр ПО формується з етапу первинної обробки інформації і включає: поточний вектор стану з відповідною матрицею точності, складений на основі виміру координат ПО первинною СС; польотну інформацію; ідентифікацію ПО за ознакою «свій-чужий» та час складання формуляра, що дозволяє перейти до 4D вимірювань.

Розроблена структура ІЗ на базі сумісних РЛС, у якій для формування формуляра ПО виконуються такі основні операції обробки сигналів та інформації:

- виявлення сигналів за даними кожного каналу сумісної РЛС;
- результуюче виявлення ПО за даними каналного виявлення сигналів сумісної РЛС;
- оцінку параметрів сигналів та координат ПО кожним каналом сумісної РЛС;
- поєднання результатів оцінки вектору стану ПО;
- прийом та декодування польотної інформації каналом вторинної РЛС;
- об'єднання координатної та польотної інформації за даними вторинної РЛС;
- поєднання інформації первинної та вторинної РЛС.

Показано, що інтегральним показником якості обробки інформації для сумісної РЛС може бути імовірність ІЗ

$$P_{inf} = D_{11}D_{12}D_{13}P_{okp}P_{poe1}P_{poe2}, \quad (1)$$

яка є складовою імовірностей виявлення ПО первинною, вторинною та ідентифікаційною РЛС; P_{okp} – імовірність об'єднання координатних і польотних даних; P_{poe1}, P_{poe2} – імовірності поєднання даних первинної і вторинної РЛС, відповідно; D_{11}, D_{12}, D_{13} – ймовірність виявлення первинної РЛС, ймовірність виявлення вторинної РЛС, ймовірність виявлення системи «свій-чужий» відповідно.

Таким чином, інтегральний показник якості (1) враховує всі показники якості обробки інформації окремих РЛС і, як наслідок, підвищення окремого показника якості обробки інформації сумісною РЛС призводить до підвищення запропонованого інтегрального показника якості. Синтезовано структуру виявлення сигналів на базі сумісних РЛС, яка враховує інформацію як первинних, так і вторинних РЛС на основі вагового об'єднання результатів каналного виявлення при формуванні інформаційного пакету. Показано, що алгоритм виявлення при об'єднанні попередніх рішень всіх каналів обробки має вигляд

$$L = \sum_{i=1}^k Q_i x_i + \sum_{j=1}^{R-k} Q_j x_j \geq z_0, \quad (2)$$

де $Q_i = \ln\left(\frac{D_i}{1-D_i} \frac{1-F_i}{F_i}\right)$; $Q_j = \ln\left(\frac{P_{0j} D_j}{1-P_{0j} D_j} \frac{1-F_i}{F_i}\right)$; z_0 – поріг, який визначається заданою вихідною ймовірністю тривоги F ; R – загальна кількість РЛС; k – кількість первинних РЛС; Q_i, Q_j – вагові коефіцієнти для первинних та вторинних РЛС, відповідно; x_i, x_j – рішення, щодо виявлення сигналів, які прийняті первинними та вторинними РЛС, відповідно; D_i, D_j – умовні ймовірності виявлення сигналів первинними та вторинними СС; F_i, F_j – умовні ймовірності хибної тривоги первинної та вторинної СС; P_0 – коефіцієнт готовності літакових відповідачів вторинних СС.

Алгоритм оптимального виявлення ПО (2) зводиться до підсумовування вагових коефіцієнтів, обумовлених формами діаграм спрямованості антен відповідного каналу сумісної СС, відповідної до позицій пачки, де $x_i = 1$. Характерною рисою вирішального пристрою виявлення ПО у сумісній СС є наявність двох порогів. Перший поріг встановлюється в граничних пристроях виявлювача сигналів кожного з каналів спільної СС. Цей поріг аналоговий і за допомогою тільки його можна змінювати умовну ймовірність хибної тривоги на виході спільного виявлювача ПО. Другий поріг устанавлюється в граничному обладнанні спільного виявлювача ПО і є порогом виявлення ПО. У даному алгоритмі з'являється можливість реалізації двох варіантів виявлення ПО: поєднання і подальшого накопичення (рис.1) та накопичення і подальшого поєднання (рис.2).

Наведені розрахунки дозволяють зробити наступні висновки:

- при збільшенні числа поєднуваних каналів спільної СС 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 $m = 1$ ймовірність ІЗ збільшується в 1,5 рази.

Запропоновано структуру ІЗ користувачів на основі СС ПП у котрій, завдяки виконанню послідовної централізованої процедури обробки сигналів та первинної обробки інформації вдається здійснити сумісну оптимізацію як виявлення ПО, так і вимірювання координат ПО.

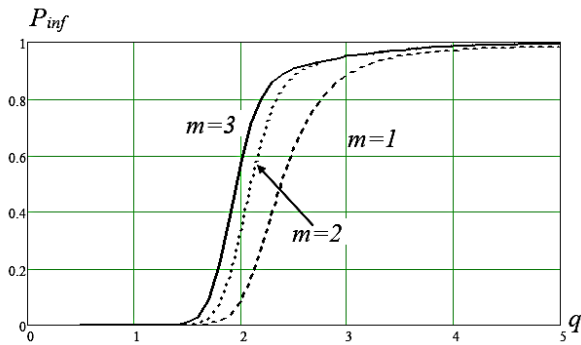


Рисунок 1. Залежність $P_{inf} = f(q, m)$, де q – співвідношення сигнал/шум; m – кількість каналів виявлення

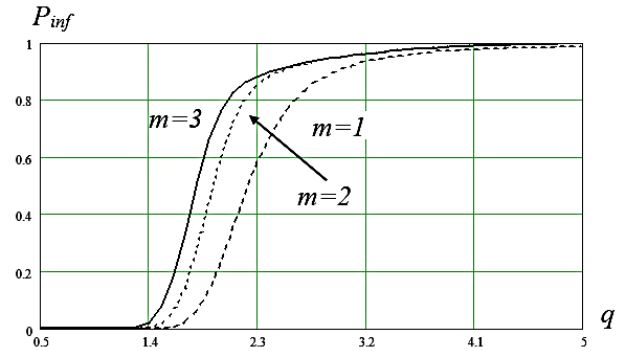


Рисунок 2. Залежність $P_{inf} = f(q, m)$, де q – співвідношення сигнал/шум; m – кількість каналів виявлення

Показано, що сумісна оптимізація етапів обробки даних мережі СС можлива тільки при розподіленій обробці інформації. Величина аналогового порогу виявлення сигналів використовується в якості параметра оптимізації при сумісній оптимізації обробки даних спостереження. Для оптимізації виміру стану ПО матриці точності виміру параметрів сигналу та координат ПО попередніх етапів обробки інформації передаються у складі формуляру ПО.

Розглянуто місце систем автоматичного залежного спостереження у єдиній системі ІЗ користувачів, наведені математичні моделі оцінки імовірності хибної тривоги та ризику цілісності координатної інформації мовного автоматичного залежного спостереження на основі порівняння міток горизонтального положення ПО від двох незалежних СС, та розроблено алгоритм забезпечення цілісності інформації мовного автоматичного залежного спостереження з використанням зазначених моделей.

У **третьому розділі** наведено класифікацію методів підвищення завадостійкості РЛС спостереження ПП. Як слідує з вищенаведеного, підвищити завадостійкість можливо за рахунок підвищення завадостійкості первинних та вторинних РЛС, зокрема за рахунок оптимізації обробки сигналів відповіді вторинних РЛС та оптимізації сумісної обробки сигналів первинних та вторинних РЛС (рис.3). Однак ці методи не вирішують головної задачі ІЗ,



Рисунок 3 – Методи підвищення завадостійкості РЛС ПП

пов'язаної з низькою завадозахищеністю первинних та вторинних РЛС, розв'язати котру можливо тільки завдяки спадкоємному переходу до єдиної інформаційної мережі РЛС.

Синтезовано структуру виявлення ПО при централізованій обробці інформації у мережі СС. Показано, що оптимальний, по критерію Неймана-Пірсона, алгоритм виявлення ПО при об'єднанні попередніх вирішень всіх часових каналів обробки:

$$L = \sum_{r=1, i=1, j=1}^{R, M, N} Q_{rij} x_{rij} \lesseqgtr z_0, \quad (3)$$

де $R(M, N)$ - кількість СС у мережі (елементів дозволу за дальністю та азимутом), $Q_{rij} = \ln(D_{rij}(1 - F_{rij}) / (1 - D_{rij})F_{rij})$ - вага каналу обробки, z_0 поріг, що визначається ймовірністю F (хибного виявлення ПО). При розподіленій обробці у цьому разі є дві схеми: «ВН» – виявлення сигналів та накопичення і «НВ» – накопичення сигналів та виявлення. Результати розрахунку наведені на рис.4,5. Порівняльні характеристики рис.4 показують, що для логіки $3/4$ - схема «ВН» більш доцільна. Проведені дослідження показали що схема «ВН» має меншу залежність від впливу коефіцієнта готовності літакового відповідача (ЛВ).

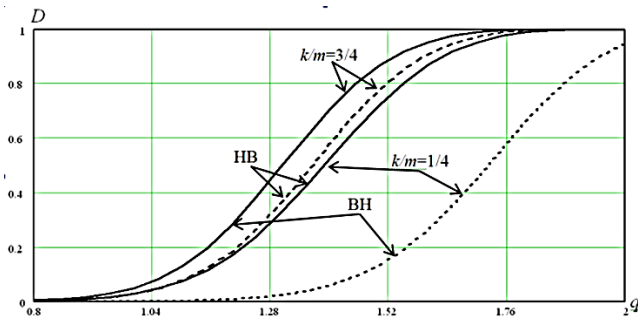


Рисунок 4. Залежність $D = f(q, k/m)$

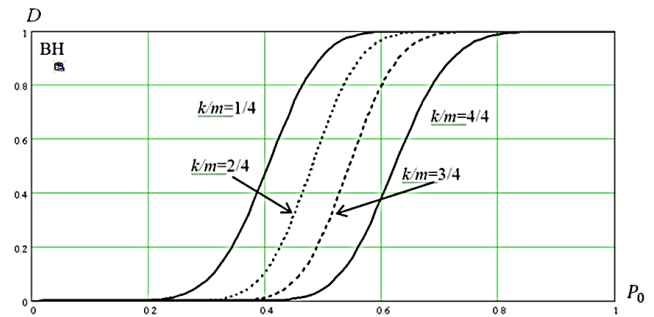


Рисунок 5. Залежність $D = f(P_0, k/m)$

У подальшому в роботі розглянуті питання підвищення завадостійкості вторинних СС та проаналізовано весь цикл обробки інформації вторинних СС за порядком: виявлення сигналу запита на ЛВ – виявлення сигналів відповіді на запитувачі – виявлення ПО.

Розглянуто питання оптимізації виявлення сигналів у вторинних СС та показано, що необхідно урахувувати на запитувачі якість роботи відповідача, а у відповідачі – функції цін для вторинної РЛС у цілому. Це є специфічною особливістю виявлення сигналів, оптимальної за байсовим критерієм вторинної РЛС.

Проведено синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналу запиту в ЛВ вторинних РЛС які показали, 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 сигналу запиту;
- збільшення значності використовуваних сигналів запиту вторинних РЛС дозволяє підвищити ймовірність виявлення їх в ЛВ.

Проведена оптимізація структури обробки сигналів відповіді вторинних РЛС спостереження ПП, за рахунок зміни порядку виявлення ПО за сигналами відповіді та оцінка впливу флуктуаційної завади у каналі відповіді, та коефіцієнта готовності ЛВ на ймовірність ІЗ користувачів на етапі первинної обробки інформації вторинних РЛС (рис.6).

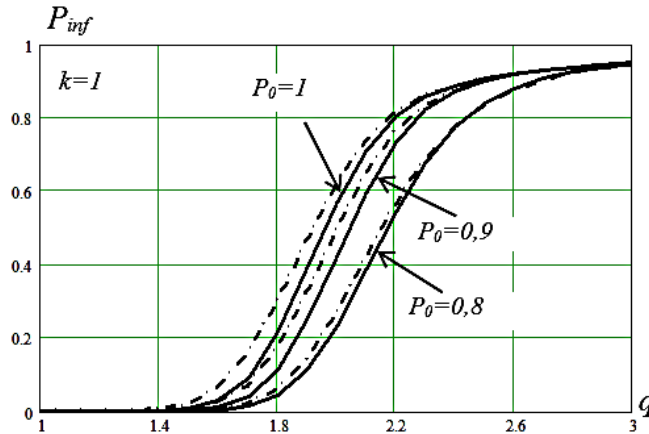


Рисунок 6. Залежність $P_{inf} = f(k, P_0, q)$

Наведені розрахунки ІЗ користувачів дозволяють зробити наступні висновки:

- модернізована структура обробки сигналів відповіді вторинних РЛС дозволяє підвищити якість ІЗ користувачів;
- модернізована структура обробки сигналів відповіді вторинних РЛС дозволяє зменшити вплив коефіцієнта готовності ЛВ на якість ІЗ;
- маються певні межі як коефіцієнта готовності ЛВ, так і різниці у відношенні сигнал/шум для первинної та вторинних РЛС, при перевищенні котрих ефекту від модернізації структури обробки сигналів відповіді немає.

Наведено порівняльний аналіз якості виявлення ПО вторинними РЛС при використанні попередньої та подальшої міжперіодної обробки сигналів відповіді. Показано, що використання попередньої міжперіодної обробки сигналів відповіді більш переважно, у порівнянні з наступною міжперіодною обробкою, яка використовується в існуючих вторинних РЛС.

Четвертий розділ містить результати дослідження методів підвищення завадостійкості вторинних РЛС спостереження ПП.

Пошук часових різниць між корисними сигналами і навмисними корельованими завадами призводить до зміни принципу організації мережі вторинних РЛС (рис. 7). Перехід від несинхронної мережі до синхронної мережі (СМ) вторинних РЛС дозволяє штучно створити часові різниці між корисними сигналами і навмисними чи ненавмисними завадами і, як наслідок, виключити із обслуговування сигнали запиту чи сигнали відповіді. Дійсно, у вторинних СС, 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 запитальної СС надходять тільки сигнали запиту СМ. Сумарний потік сигналів відповіді у СМ вторинних СС можна оцінити як $\lambda_0 = P_0 \lambda_{cc}(T_0(t))$.

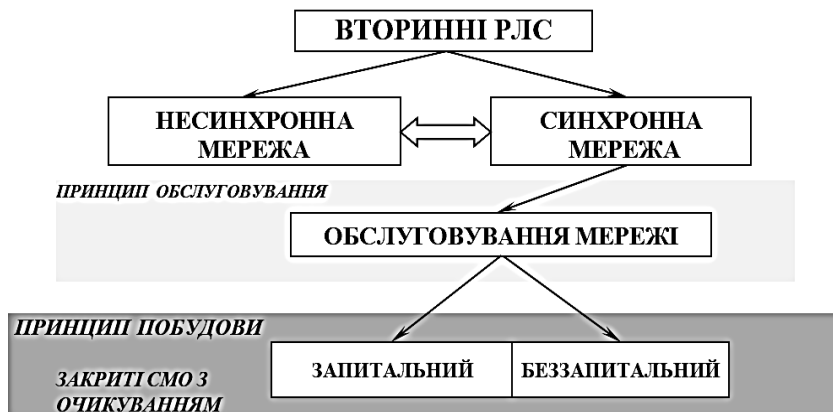


Рисунок 7. Методи спадкоємного переходу до заводостійких вторинних РЛС

Керування потоками сигналів запиту у СМ вторинних СС не тільки знижує їх загальну інтенсивність, але і виключає можливість несанкціонованого використання ЛВ вторинних СС. Усе це дозволяє значно підвищити заводостійкість вторинних СС. Необхідно відзначити, що використання СМ у вторинних СС дозволяє від систем масового обслуговування з відмовами перейти до систем масового обслуговування з очікуванням. У цьому випадку за час спостереження за ПО T_c ЛВ може обслужити $N = [T_c/T_o \cdot k]$ 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 навмисних корельованих завод ЛВ, синхронну внутрішньосистемну заваду, а також значно знизити інтенсивність потоку сигналів відповіді.

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.

У беззапитальних СМ РЛС часовий процес кожного пункту погоджується з регіональним часом. Отже, при виконанні умови $T_i(t) - t_c \neq T_j(t) - t_z$, де t_c – часова база використовуваного сигналу відповіді; t_z – час затримки поширення сигналу між i -м і j -м пунктами вторинних РЛС, сигнали відповіді не можуть збігтися в часі, 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.

Показано, що за способом реалізації синхронні мережі вторинних РЛС можливо розділити:

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

Для синхронних мереж, з обслуговування запитувачів, характерним являється те, що на ЛВ здійснюється міжперіодна обробка сигналів запиту, що призводить до виключення з обслуговування несинхронних сигналів запиту. Ця

обставина визначає, що головною причиною не відповіді на сигнал запиту є високочастотне подавлення окремих імпульсів сигналу запиту вторинних СС при несприятливих фазових співвідношеннях. На рис. 8 наведено імовірність ідентифікації ПО $P_{id} = f(\lambda_0, k/m, n)$, де n – значність коду, k/m – критерій виявлення ПО, λ_0 – інтенсивність хаотичних імпульсних завад. Як випливає з представлених залежностей, вплив навмисної хаотичної імпульсної завади на завадостійкість СМ вторинних СС значно ослаблений в порівнянні з існуючими вторинними РЛС.

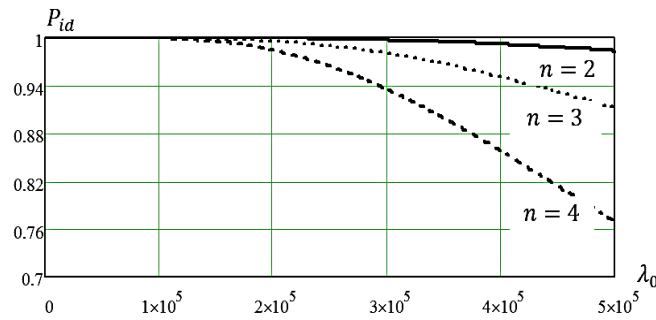


Рисунок 8. Імовірність ідентифікації ПО

Синхронні мережі з обслуговуванням сигналів відповідача реалізують принцип відповіді не на кожен сигнал запиту, а на певну кількість сигналів запиту, що надійшли протягом інтервалу часу аналізу, одним сигналом відповіді усім запитувачам, дозволяє послабити залежність завадостійкості від навмисних корельованих завад. На рис. 9 наведена імовірність ідентифікації ПО вторинною СС $P_c = f(N, m, \lambda_1)$, де N – пачка сигналів відповіді, m – коефіцієнт розрядки при формуванні сигналів відповіді, котрий визначається часом аналізу у літаковому відповідачі, λ_1 – інтенсивність потоку сигналів запиту. З рис.9 випливає, що завадостійкість запропонованого способу реалізації вторинних СС з обслуговуванням відповідача на базі синхронних мереж значно перевищує завадостійкість існуючих способів реалізації вторинних СС, що вказує на його високу ефективність.

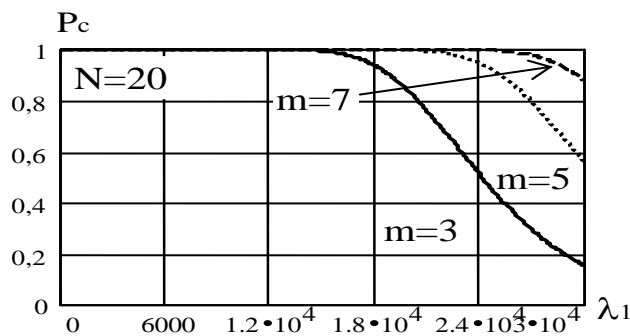


Рисунок 9. Імовірність ідентифікації ПО

Розглянуті 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.

Показано, що можливими варіантами створення поля вторинної локації, яка дозволить здійснити приймання сигналів відповіді 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;
- використання запитувача зі спрямованою і приймального пункту з неспрямованою антенами.

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 ПО.

Розглянуто адресний метод з кодування тільки сигналу відповіді, що дозволяє реалізувати принцип обслуговування мережі вторинних РЛС. Включення до складу польотної інформації, що передається з борту ПО, просторових координат ПО дозволяє реалізувати адресний за відповіддю метод передачі польотної інформації. 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.10. Як слідує з наведених розрахунків, включення до складу інформації просторових координат, що передається з літакового відповідача, знижує на соті долі імовірність передачі неспотвореної інформації.

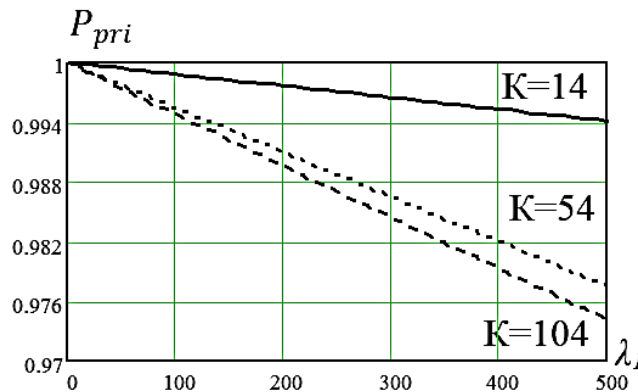


Рисунок 10. Імовірність ідентифікації ПО

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі приведені нові рішення актуальної науково-практичної задачі підвищення завадостійкості РЛС 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 контролю ПП 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 унеможливило сумісну оптимізацію як виявлення, так і оцінки положення ПО і, як наслідок, привело до зниження якості ІЗ користувачів системи контролю ПП.

2. Створено інформаційну модель сумісної РЛС спостереження ПП, яка включає дистанційну та дві локальні підсистеми спостереження, та є основою інформаційного забезпечення системи контролю ПП у складі первинної і 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 складання 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 інтегральний показник якості ІЗ споживачів системи контролю ПП 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 коефіцієнт готовності 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 логіці 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 і 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.

Оптимізовано структуру обробки сигналів відповіді вторинних РЛС за рахунок виконання спочатку міжперіодної обробки сигналів, що приймаються, а після декодування сигналів відповіді. Наведені розрахунки ІЗ користувачів показали, що модернізована структура обробки сигналів відповіді вторинних РЛС підвищує якість ІЗ користувачів та зменшує вплив коефіцієнта готовності ЛВ на якість ІЗ. Однак маютья певні межі як коефіцієнта готовності ЛВ, так і різниці у відношенні сигнал/шум для первинної та вторинних РЛС при перевищенні котрих ефекту від модернізації структури обробки сигналів відповіді немає.

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 інформації, що передається з борту ПО, 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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.

Здобувач обґрунтував та провів аналіз методів обробки даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

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.

Здобувач запропонував та провів аналіз показників якості обробки інформації радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

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

Здобувачем проведено аналіз методів обробки сигналів відповіді вторинних систем спостереження повітряного простору.

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

Здобувач запропонував мережевий принцип обробки сигналів та інформації в мережах систем первинної та вторинної радіолокації.

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

Здобувач провів синтез оптимальних, за критерієм Неймана-Пірсона, виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах

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.

Здобувач запропонував структуру обробки інформації в мережі радіолокаційних систем.

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.

Здобувач провів аналіз якості виявлення повітряних об'єктів.

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.

Здобувач обґрунтував складові системи радіолокаційного спостереження ПП.

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.

Здобувач обґрунтував інформаційну модель локальної системи спостереження.

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.

Здобувач обґрунтував процес оптимізації виявлення повітряних об'єктів в мережі систем спостереження повітряного простору.

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.

Здобувач провів аналіз якості об'єднання інформації в мережі РЛС.

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. (SCOPUS).

Здобувач обґрунтував оптимізацію виявлення та виміру координат повітряних об'єктів на етапі первинної обробки інформації.

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.

Здобувач запропонував метод інформаційного забезпечення користувачів системи контролю повітряного простору.

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.

Здобувач запропонував метод мережної обробки інформації первинних та вторинних радіолокаторів.

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 «ХП». – 2014. Ч.IV.с. 110.

Здобувач запропонував інтегральний показник якості обробки інформації первинного та вторинного радіолокаторів.

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.

Здобувач провів синтез оптимальних виявлювачів сигналів запиту в літакових відповідачах.

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, Харьков: ХНУРЕ, 2014, – с. 95

Здобувач розробив алгоритм виявлення ПО у ІМ СС.

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

Здобувач запропонував методи підвищення якості виявлення сигналів та ПО первинного та вторинного радіолокаторів.

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

Здобувач обґрунтував складові СС інформаційної моделі.

Андрусевич В.А. Методи підвищення завадостійкості радіолокаційних систем спостереження повітряного простору. – На правах рукопису.

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

Дисертація 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.

Андрусевич В.А. Методы повышения помехоустойчивости радиолокационных систем наблюдения воздушного пространства. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 2019 г.

В диссертационной работе приведено теоретическое обобщение и новое решение актуальной научно-практической задачи, которая заключается в повышении помехоустойчивости радиолокационных систем (РЛС) наблюдения воздушного пространства. Указанная задача решена путем разработки методов повышения помехоустойчивости РЛС на основе сетевого построения структуры информационного обеспечения с централизованной обработкой информации. Приведены тенденции развития, классификация и основные характеристики систем информационного обеспечения, и показано, что основным источником информации о воздушной обстановке в системе контроля воздушного пространства являются первичные и вторичные РЛС.

Анализ информационных средств показал, что система идентификации (СИ) по признаку «свой-чужой» является одним из основных источников информации в системе контроля воздушного пространства. Однако принципы

построения СИ, сети СИ, ответчиков и запросчиков, и особенности их технической реализации априори вызывают низкую помехоустойчивость и энергетическую скрытность вторичных РЛС, что приводит к низкому качеству информационного обеспечения этой информационной системой.

Разработана общая структура информационного обеспечения пользователей системы контроля воздушного пространства на базе совместной РЛС. Определен состав формуляра воздушного объекта (ВО) куда должны входить: вектор местоположение, матрица точности оценки местоположения, полетная информация, идентификация ВО по признаку «свой-чужой» и время составления формуляра. Определено, что интегральным показателем качества может быть вероятность информационного обеспечения, которая является составной вероятности обнаружения ВО, вероятности сравнения и объединения информации первичной и вторичной РЛС.

Синтезирована структура обнаружения сигналов на базе совместных РЛС воздушного пространства, которая учитывает, на основе весового объединения результатов канального выявления, информацию как первичных, так и вторичных РЛС при формировании информационного пакета, что позволило повысить качество информационного обеспечения пользователей.

Разработана структура информационного обеспечения пользователей на основе РЛС воздушного пространства в которой, благодаря выполнения последовательной централизованной процедуры обработки сигналов и первичной обработки информации удается осуществить совместную оптимизацию как выявления ВО, так и измерения координат ВО.

Синтезировано оптимальную структуру информационного обеспечения потребителей при распределенной обработке информации в синхронной сети РЛС на уровне выявления ВО. Показано что для малых логик обработки более целесообразна схема выявления и дальнейшего накопления, обеспечивает меньшую чувствительность к коэффициенту готовности самолетных ответчиков, а для больших логик - наоборот.

Разработаны математические модели оценки вероятности ложной тревоги и риска целостности и целостности координатной информации автоматического зависимого наблюдения на основе сравнения меток горизонтального положения ВО от двух независимых РЛС. Разработан алгоритм обеспечения целостности информации автоматического зависимого наблюдения с использованием указанных моделей.

На основе анализа принципов построения и принципов сочетания информации РЛС предложены методы повышения помехоустойчивости за счет преимущественного перехода к сетевой построения как первичных, так и вторичных РЛС воздушного пространства.

Синтезирована оптимальная структура обнаружителя ВО при распределенной обработке информации в синхронной сети РЛС и показано, что критерии выявления для различных схем обработки и логик обработки, различны, при оптимизации обнаружения ВО.

Синтезированы оптимальные обнаружители сигналов запроса в самолетных ответчиках вторичных РЛС и показано, что межканальное объединение

результатов обнаружения импульсов позволяет получить преимущества в пороговом отношении с/ш по сравнению с межканальным объединением результатов обнаружения сигналов запроса.

Приведена классификация возможных методов преемственного перехода к помехоустойчивым вторичным РЛС на базе синхронной сети. Показано, что реализация синхронной сети вторичных РЛС позволяет перейти к обслуживанию абонента и обслуживанию сети вторичных РЛС в целом.

Среди методов, реализующих принцип обслуживания абонентов, рассмотрены синхронные сети вторичных РЛС с обслуживанием сигналов запросчика и сигналов ответчика. Приведенные исследования помехоустойчивости показали, что вторичные РЛС, реализованные на таких принципах, можно отнести к помехоустойчивым системам.

Показано, что одной из возможностей реализации принципа беззапросной сети вторичных РЛС является включение в состав передаваемой информации пространственных координат ВО.

Ключевые слова: системы первичной и вторичной радиолокации, помехоустойчивость, помехозащищенность, преднамеренные коррелированные помехи, защита от помех, система контроля воздушного пространства, обработка информации, информационное обеспечение.

Andrusevich V.A. Methods to improve the noise immunity of radar surveillance of airspace – Manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.12.17 – radio and television systems. – Kharkiv National University of Radio Electronics, 2019.

Thesis 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.

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

Підп. до друку 16.09.19. Формат 60x84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим. Зам № 1/16.
Ціна договірна.

Віддруковано в типографії ФОП Андрєєв К.В.
61166, Харків, вул. Богомольця, 9, кв. 50
Свідоцтво про державну реєстрацію
№24800170000045020 від 30.05.2003 р.
ep.zakaz@gmail.com
тел. 063-993-62-73