

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ШИШАЦЬКИЙ Андрій Володимирович



УДК 621.396.2.019.4 (043.3)

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ
ЗАВАДОЗАХИСТУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ
ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ВПЛИВІВ**

05.13.06 – Інформаційні технології

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Київ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютеризованих систем управління Національного авіаційного університету, м. Київ.

Науковий консультант Робота виконана без консультування.

Офіційні опоненти: **ФЕСЕНКО Герман Вікторович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки факультету радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Міністерство освіти і науки України.

БАРАБАШ Олег Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Міністерство освіти і науки України.

КРАВЧЕНКО Юрій Васильович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мережевих та інтернет технологій. факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Міністерство освіти і науки України.

Захист відбудеться «___» _____ 2024 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.01 в Національному авіаційному університеті (зала засідань – каб. 6-102) за адресою: 03058, Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

З дисертацією можна ознайомитися на офіційному сайті <http://asdoc.nau.edu.ua/> та в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, Київ, проспект Любомира Гузара, 1, корпус 8б, каб. 20.

Автореферат розісланий «___» _____ 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к. т. н., ст. дослідник



Тетяна ОХРИМЕНКО

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Реалізація бойових можливостей сектору безпеки і оборони України істотно залежить від якісних показників системи управління та її матеріальної основи – системи зв'язку. В даний час бойова готовність, ймовірнісно-часові та оперативно-технічні характеристики систем управління і зв'язку є такими ж важливими показниками, як кількість і якість засобів збройної боротьби [1–5].

Існуюча система зв'язку не в повній мірі відповідає сучасним вимогам з стійкості, пропускнує спроможності, своєчасності, достовірності, живучості, технічного оснащення і не дозволяє забезпечити достатньо ефективне бойове застосування сучасних систем озброєння та військової техніки [3–7].

З метою підвищення ефективності функціонування мобільних компонентів систем зв'язку спеціального призначення в їх складі широко застосовуються засоби і системи радіозв'язку (СРЗ) [7–12]. Однією з тенденцій розвитку тактики загальновійськового бою є широке застосування засобів радіоелектронної протидії (РЕП). Як свідчить досвід бойових дій і локальних конфліктів останніх років, а також досвід проведення Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей (Операції об'єднаних сил та в ході відсічі повномасштабної збройної агресії російської федерації), засоби РЕП здатні з високою ефективністю та у короткий час здійснити придушення СРЗ, побудовані на традиційних принципах. Постійне вдосконалення засобів радіорозвідки та радіоперешкод, впровадження автоматизованих комплексів РЕП, розвиток нових форм та способів впливу на СРЗ спеціального призначення призвело за останні роки до істотного підвищення можливостей по придушенню засобів радіозв'язку.

Існуючі методи управління засобами завадозахисту СРЗ орієнтовані на статичні або квазістатичні умови їх функціонування і не можуть бути застосовані в системі управління СРЗ в умовах складної радіоелектронної обстановки. Об'єднання відомих результатів не дає вирішення проблеми ефективного використання ресурсів СРЗ в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів внаслідок низької оперативності адаптації до зміни сигнальної і перешкодової обстановки в каналах зв'язку, реалізації тільки централізованого принципу управління і необхідності передачі значних об'ємів службової інформації.

Таким чином, **існує протиріччя** між технічними характеристиками підсистеми управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення та технічними характеристиками засобів радіоелектронної протидії в частині деструктивному впливу на СРЗ спеціального призначення. Тому, наукова проблема, що пов'язана із розробкою інтелектуальних методів управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку в умовах дестабілізуючих впливів, є актуальною та важливою. Зазначена проблема обумовлюється об'єктивним протиріччям між постійним зростанням і удосконаленням дестабілізуючих впливів та неможливістю традиційними засобами забезпечити необхідний рівень завадозахищеності СРЗ спеціального призначення.

Вирішення даної проблеми має важливу наукову і воєнно-технічну спрямованість при створенні нового покоління інтелектуальних систем радіозв'язку для потреб сектору безпеки і оборони України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводилися в рамках Закону України “Про Національну програму інформатизації”, Указу Президента України №59/2020 “Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 18 лютого 2020 року “Про основні показники державного оборонного замовлення на 2020 рік та 2021, 2022 роки””, Указу Президента України від 22 березня 2017 року № 73/2017 “Про Державну програму розвитку Збройних Сил України на період до 2020 року”, Указу Президента України від 14 березня 2016 року № 92/2016 “Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України”, Указу Президента України №240/2016, “Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року “Про Стратегічний оборонний бюлетень України”.

Напрямки досліджень визначені відповідно до технічного завдання на науково-дослідну роботу, шифр “Моніторинг-СПВ” (реєстраційний №0117U000063д від 10.04.2017), які виконувалася Центральним науково-дослідним інститутом озброєння та військової техніки Збройних Сил України на замовлення Департаменту військово-технічної політики, розвитку озброєння та військової техніки Міністерства оборони України. Автор дисертаційного дослідження брав участь у цій науково-дослідній роботі як співвиконавець (в частині роботи, яка не містить інформації з обмеженим доступом).

Мета і завдання дисертації. Метою дисертаційної роботи є підвищення заводозахисності систем радіозв'язку в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів на основі інтелектуального управління їх засобами заводозахисту. Досягнення вказаної мети вимагає подальшого розвитку теорії і практики побудови інформаційних технологій підвищення заводозахисності СРЗ спеціального призначення, а також розробки методів розв'язання основних функціональних задач, що виникають у подібних випадках.

У результаті проведених досліджень у галузі підвищення заводозахисності СРЗ спеціального призначення, які виникли, у роботі, сформульовано наступні завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану та особливостей функціонування СРЗ спеціального призначення. Сформулювати проблеми інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення.

2. Розвинути теоретичні основи інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення. Розробити концепцію організації взаємодії моделей елементів СРЗ спеціального призначення.

3. Розробити сукупність математичних моделей функціонування СРЗ спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки.

4. Удосконалити метод оцінки та прогнозування стану СРЗ спеціального призначення.

5. Удосконалити метод оцінки радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення.

6. Удосконалити метод оцінки кіберзахисності СРЗ спеціального призначення

7. Розробити метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму.

8. Удосконалити метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення.

9. Розробити метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення.

Об'єкт дослідження: процеси управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення.

Предметом дослідження є методи інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.

Методи дослідження: Для вирішення наукової проблеми застосовані положення теорії сигналів, теорії заводостійкого кодування, теорії імовірності, теорії інформації, теорії потенційної заводостійкості, теорії графів, теорії штучного інтелекту, теорії матриць, теорії прийняття рішень, теорії інтелектуального управління, методи математичного програмування та методи імітаційного моделювання.

Дослідження відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології за пунктами 1, 2, 9 та 10, а саме: розроблено наукові і методологічні основи створення і застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої обробки інформації і інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення (п. 1); розроблено складові інформаційної технології для аналізу та синтезу функціональних моделей СРЗ спеціального призначення, процесів оцінки та управління заводо захищеністю, що автоматизуються (п. 2); створено складові інформаційної технології для розробки моделей і методів контролю, класифікації та забезпечення заводо захищеності інформації, а також для математичного моделювання похибок у трактах обміну даними в СРЗ спеціального призначення (п. 9); проведено моделювання антагоністичного конфлікту між СРЗ спеціального призначення та деструктивними чинниками із застосування відповідних інформаційних технологій (п. 10).

Наукова новизна одержаних результатів обумовлена розробленими моделями, методами підвищення заводо захищеності СРЗ спеціального призначення, котрі надали подальший розвиток відповідному науковому напрямку, та в межах яких отримані такі нові наукові результати:

вперше розроблена нова наукова концепція організації взаємодії моделей елементів СРЗ спеціального призначення, в якій на відміну від відомих здійснюється декомпозиція структури ієрархічної багаторівневої графової моделі системи з урахуванням числа зв'язків та математичних залежностей між окремими підграфами, що дозволяє здійснювати організацію взаємодії розрізнених моделей і їх узгодження по параметрам і характеристикам СРЗ;

вперше розроблена математична модель оцінки радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення, яка на відміну від існуючих, встановлює нові аналітичні залежності для дослідження характеристик сигналів засобу радіозв'язку (ЗРЗ) спеціального призначення та засобів радіоелектронного придушення (РЕП) за множиною показників, що дозволяє здійснювати організацію взаємодії розрізнених моделей і їх узгодження по параметрам і характеристикам СРЗ;

вперше розроблена математична модель захисту СРЗ спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів, в якій на відміну від існуючих, для виявлення та ідентифікації дестабілізуючих факторів використовується набір імунних детекторів, представлених у вигляді часових детекторів і детекторів пам'яті з заданим алгоритмом їх навчання, а також стратегію генетичної оптимізації, що дозволяє описати антагоністичний процес деструктивного впливу на СРЗ спеціального призначення;

вперше розроблено метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму, у якому на відміну від існуючих, структура СРЗ представляється в вигляді двомірної матриці інцидентності, а розрахунок значень цільової функції (ступеню РЕП) здійснюється з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій РЕП, що дозволяє синтезувати раціональну топологію СРЗ спеціального призначення при впливі РЕП;

вперше розроблено метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення, який на відміну від існуючих, після визначення ступеню впливу дестабілізуючих факторів, таких як вплив засобів РЕП, вогневого ураження та кібер впливу на СРЗ спеціального призначення, дозволяє визначити кількість необхідних сил та засобів зв'язку радіозв'язку, які необхідно додатково залучити для повноцінного функціонування СРЗ спеціального призначення;

удосконалено модель оцінки стану систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів, яка на відміну від існуючих дозволяє описати СРЗ спеціального призначення у вигляді нечіткої когнітивної моделі, що є знаковим орієнтованим графом, у якому вершинами видаються сутності, концепції, чинники, цілі та події, а дугами задається їх вплив один на одного в умовах складної радіоелектронної обстановки, що дозволяє описати стан радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення;

удосконалено метод оцінки радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення, який на відміну від існуючих при оцінці радіоелектронної обстановки додатково враховує тип невизначеності вихідних даних, а для підвищення оперативності обробки інформації здійснюється навчання баз даних з використанням удосконаленої процедури навчання, що дозволяє підвищити оперативність прийняття управлінських рішень щодо підвищення завадозахищеності СРЗ спеціального призначення;

удосконалено метод оцінки захищеності СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих, полягає у врахуванні типу невизначеності та зашумленості даних; врахуванні наявних обчислювальних ресурсів підсистеми аналізу кібербезпеки СРЗ; вибіркового задіяння ресурсів підсистеми аналізу кібербезпеки за рахунок підключення тільки необхідних типів детекторів; побудовою класифікаторів верхнього рівня за допомогою різних низькорівневих схем їх комбінування та агрегуючих композицій, що дозволяє підвищити оперативність прийняття управлінських рішень щодо підвищення завадозахищеності СРЗ спеціального призначення;

удосконалено метод інтелектуального управління параметрами та режимами СРЗ спеціального призначення, який на відміну від відомих здійснює комплексне управління параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня СРЗ спеціального призначення, що дозволяє проводити наскрізне управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення;

отримали подальший розвиток положення системного підходу до вирішення проблеми інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення, що дозволяє зменшити час на прийняття управлінських рішень в підсистемі інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення;

отримав подальший розвиток метод оцінки та прогнозування стану СРЗ, який відрізняється від відомих використанням нового типу нечітких когнітивних темпоральних моделей, орієнтованих на багатовимірний аналіз і прогнозування стану СРЗ в умовах невизначеності, що дозволяє підвищити оперативність прийняття управлінських рішень щодо підвищення завадозахищеності СРЗ спеціального призначення.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновані в дисертаційній роботі математичні моделі, методи дозволяють:

- 1) формалізувати процес функціонування СРЗ спеціального призначення при комплексному впливі навмисних перешкод, природніх завад та кібервпливу;
- 2) здійснювати оцінювання стану СРЗ спеціального призначення на рівнях взаємодії відкритих систем;
- 3) здійснювати вибір раціональних значень режимів роботи та параметрів ЗРЗ в СРЗ спеціального призначення;
- 4) підвищити ефективність функціонування перспективних систем і ЗРЗ в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів (в середньому на 15-30 %) за рахунок застосування запропонованих методів інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ;
- 5) забезпечувати проектування компонентів модемного обладнання СРЗ та ЗРЗ при комплексному впливі дестабілізуючих факторів.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені:

- у ТОВ «Телекарт-Прилад», під час модернізації засобів широкосмугового радіодоступу Р-402 (акт від 21.04.2017 р.);
- в Головному управлінні зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України, при розробці «Настанови з організації радіозв'язку у Збройних Силах України» від 31.07.2018 (акт від 11.10.2019 року);
- в ТОВ «ЕВЕРЕСТ ЛІМІТЕД», при модернізації польових маршрутизаторів з підтримкою VoIP телефонії «ТК ТИП-1», батальйонних телекомунікаційних комплектів «ТК ТИП-2» та бригадних телекомунікаційних комплектів «ТК ТИП-3», а також при побудові автоматизованої системи управління системою зв'язку ЗС України (акт від 18.12.2019 року);
- на кафедрі комп'ютеризованих систем управління факультету комп'ютерних наук та технологій Національного авіаційного університету, під час формування навчально-методичного комплексу освітнього компоненту та проведення

аудиторних занять із дисципліни «Методи захисту інформаційних систем спеціального призначення» (освітній рівень «магістр») та підготовки магістерських робіт. Зокрема, використані теоретичні положення щодо застосування методів оцінки захищеності СРЗ спеціального призначення та інтелектуального управління параметрами та режимами СРЗ спеціального призначення (акт від 02.10.2023 року).

Отримані результати дослідження призначені для використання, в першу чергу, на пунктах управління системою зв'язку, а також в наукових установах, що здійснюють розробку та модернізацію засобів радіозв'язку. Крім того, вони можуть знайти своє застосування в інших галузях, де виникає потреба аналізу радіоелектронної обстановки.

Особистий внесок здобувача. Дана робота є узагальненням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, виконаних автором самостійно.

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані особисто [44, 45]. Зі спільних публікацій в дисертаційну роботу включені лише результати, які отримані здобувачем особисто: в [1] запропоновані основні напрямки застосування псевдовипадкових послідовностей в СРЗ спеціального призначення; в [2] проведено аналіз основних напрямків підвищення скритності широкосмугових систем військового радіозв'язку; в [3] проведено аналіз основних технічних характеристик СРЗ з можливістю до самоорганізації; в [4] розроблено алгоритм та основні аналітичні залежності методу підвищення ефективності маршрутизації в СРЗ з можливістю до самоорганізації; в [5] проведено узагальнення математичного апарату для управління каналними та мережевими ресурсами систем військового радіозв'язку; в [6] запропоновані пропозиції до застосування ЗРЗ з технологією МІМО; в [7] проаналізовані основні процедури організації та ведення зв'язку в країнах членах НАТО; в [8] запропоновані математичні залежності для оцінки ефективності телекомунікаційних мереж тактичної ланки управління, що функціонують в умовах радіоелектронного подавлення; в [9] запропоновані основні математичні залежності та алгоритм реалізації методики адаптивного управління параметрами військових систем радіозв'язку; в [10] запропоновані основні математичні залежності при розробці концепції взаємодії елементів системи військового радіозв'язку; в [11] розроблено алгоритм інтегральної оцінки каналів з технологією МІМО; в [12] запропоновані основні математичні залежності та алгоритм реалізації методу підвищення завадозахищеності СРЗ з технологією псевдовипадкової перестройки робочої частоти; в [13] запропоновані основні математичні залежності методу нечіткої оцінки ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення стратегічного менеджменту; в [14] запропоновані математичні залежності методу комплексної обробки геопросторових даних; в [15] запропоновані основні математичні залежності та алгоритм реалізації методу навчання штучних нейронних мереж для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; в [16] запропоновані основні положення методологічних засад оперативного управління засобами завадозахисту військових СРЗ; в [17] запропоновані основні математичні залежності та алгоритм реалізації методу багатокритеріальної оцінки СРЗ спеціального призначення; в [18] запропоновані основні математичні залежності моделі розподілу навантаження СРЗ спеціального призначення; в [19] проведено аналіз методів підвищення ефективності динамічних

протоколів маршрутизації СРЗ з можливістю до самоорганізації; в [20] запропоновано пропозиції до імітаційної моделі для оцінки ефективності СРЗ спеціального призначення; в [21] запропоновані основні математичні залежності та алгоритм реалізації методу пошуку рішень для нейро-нечітких експертних систем оцінювання радіоелектронної обстановки; в [22] запропоновані основні математичні залежності методології комплексної обробки різнотипних даних; в [23] запропоновані основні математичні залежності та алгоритм реалізації методу багатокритеріальної оцінки ефективності СРЗ спеціального призначення; в [24] проведено аналіз математичних моделей мобільності компонентів СРЗ спеціального призначення; в [25] запропоновані основні пропозиції щодо підвищення заводо захищеності СРЗ спеціального призначення; в [26] запропоновані основні математичні залежності математичної моделі управління радіоресурсом СРЗ спеціального призначення; в [27] запропоновані основні математичні залежності та алгоритм реалізації методу оцінки та прогнозування стану об'єктів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень; в [28] запропонований алгоритм реалізації методики оцінки ефективності системи зв'язку оперативного угруповання військ; в [29] запропонований алгоритм реалізації методу оцінки та прогнозування радіоелектронної обстановки; в [30, 31] запропонований алгоритм реалізації методу та математичні співвідношення методу підвищення ефективності передачі інформації в СРЗ спеціального призначення; в [32] запропоновані основні методологічні принципи передачі інформації в СРЗ спеціального призначення; в [33] запропонований алгоритм реалізації та математичні співвідношення методу підвищення оперативності оцінювання стану об'єкту моніторингу; в [34] запропонований алгоритм реалізації та математичні співвідношення методики розподілу сил та засобів зв'язку в операціях угруповань військ (сил); в [35] запропоновані основні методологічні засади інтелектуальної обробки даних в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень; в [36] запропонований алгоритм реалізації та математичні співвідношення методики комплексного управління ресурсами систем зв'язку спеціального призначення; в [37] запропоновані основні математичні залежності комплексної обробки різнотипних даних; в [38–40] запропонований алгоритм оцінки та прогнозування стану об'єктів моніторингу в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень з застосуванням різних методів штучного інтелекту; в [41] запропоновані основні математичні залежності методики оцінювання параметрів сигналу з цифровими видами модуляції; в [42] запропоновані основні процедури вибору робочих частот в складній радіоелектронній обстановці; в [44] запропоновані основні математичні залежності моделі розподілу навантаження в телекомунікаційних системах спеціального призначення.

Апробація результатів дисертації. Про результати досліджень дисертаційної роботи доповідалося та їх було обговорено на наступних міжнародних конференціях: дев'ятій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Баку, Харків, Жиліна, 11–12 квітня 2019 р); XV міжнародній науковій конференції Харківського Національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології для захисту повітряного простору» (10 – 11 квітня 2019 року,

Харків); International conference «Modern information, measurement and control systems: problems and perspectives (MIMCS'2019)» (01-02 липня 2019 року, м. Баку); науково-практичній конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах» (5–6 вересня 2019, м. Чернігів); International scientific and practical conference «Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience» (Wloclawek, Republic of Poland, September 27–28, 2019); сьомій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (Черкаси, Харків, Баку, Бельсько-Бяла, 13–15 листопада 2019); 4th International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T-2017). (10–13 October 2017. Kharkiv, Ukraine); International scientific and practical conference «Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience» (Wloclawek, Republic of Poland, September 27–28, 2019); The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions. Informatics and cybernetics electronics, radio engineering and communications automation and computer engineering electrical engineering power engineering» (European network for academic integrity, Brno, April 27–28, 2018); IV міжнародній науково-практичній конференції, що присвячена 50-ій річниці кафедри інформаційних систем та технологій (21–22 жовтня 2021 року, Полтава); XXIII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку» (м. Дікірх (Люксембург, 7 серпня 2022 року); III International Scientific and Theoretical Conference «Formation of innovative potential of world science» (August 19, 2022. Tel Aviv, State of Israel: European Scientific Platform); XIX International Scientific and Practical Conference «Modern problems in science» (15–17 May 2022, Vancouver, Canada); XVII International Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic notes. Theory, methodology and practice» (May 03 – 06, 2022, Tokyo, Japan); XXXIV International Scientific and Practical Conference «Problems of the development of modern science» (August 30 – September 02, 2022, Madrid, Spain); XXIV міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку», (м. Орхус (Данія), 07 вересня 2022 р); XXXV International Scientific and Practical Conference Science «Development and the latest development trends» (September 06 – 09, 2022, Paris, France); XVI міжнародній науковій конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», (м. Харків, 15 – 16 квітня 2020 року); I міжнародній науково-практичній конференції «Стратегічні комунікації у сфері забезпечення національної безпеки та оборони: проблеми, досвід, перспективи» (НУОУ імені Івана Черняхівського, 1 жовтня 2020 р); International scientific conference «Interaction between science and technology in modern conditions» (Riga, the Republic of Latvia, November 3–4, 2022).

Публікації. Наукові положення, висновки і рекомендації, які виносяться на захист, одержані автором особисто. З наукових праць, які опубліковані у співавторстві, в дисертації використані лише ті ідеї і положення, які є результатом власних досліджень здобувача. За результатами дослідження опубліковано 65 наукових праць, зокрема у двох колективних монографіях, 43 наукових статтях, із них 25 наукових статей у наукових фахових виданнях України, 18 наукових статей у

виданнях, внесених до наукометричної бази даних Scopus; 20 праць, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаних джерел. Матеріал роботи викладено на 321 сторінках, у тому числі 36 рисунків, 11 таблиць і 53 сторінки використаних джерел із 321 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Для дослідження СРЗ спеціального призначення введемо наступні позначення вхідних параметрів, обмеження та допущення.

Параметри СРЗ: мережа представляється направленим графом $G = (V, E)$, де $V = \{v_i\}, i = \overline{1, N}$ – множина випадково розташованих засобів радіозв'язку (ЗРЗ), та $E = \{e_l\}, l = \overline{1, L}$ – множина радіоканалів між ЗРЗ (симетричні, напівдуплексні), N – загальна кількість ЗРЗ в СРЗ.

Параметри ЗРЗ v_i : $e_{z_i}(t)$ – ємність батареї ЗРЗ; $r_i(t) = [0 \dots r_{\max}]$ – швидкість передачі даних; $p_i(t) \leq p_{\max}$ – потужність передачі i -го вузла; $g_i^\xi(t) = [0 \dots g_{i\max}^\xi]$ – вхідне навантаження з потоків ξ -типу у момент часу t ; $\omega_i(t) = [0 \dots \omega_{\max}]$ – швидкість переміщення. Побудова маршруту між відправником та адресатом здійснюється за протоколом DSR (Dynamic Source Routing – динамічна маршрутизація від джерела), який забезпечує вузол-відправник інформацією про вузлів-сусідів v_k , що знаходяться на відстані одного-двох інтервалів ретрансляцій. Види кібер атак – DoS.

Параметри радіоканалу $(i, j) \in E$: пропускна спроможність $s_{ij}(t) \leq s_{ij\max}$; t_ξ^ξ – час затримки ξ -го типу трафіка; $\xi = \overline{1, 3}$ – тип трафіка (дані, мова, відео). Радіозв'язність між ЗРЗ в СРЗ підтримується одним із протоколів канального рівня (випадковий, із контролем несучої та ін.). Види перешкод – шумова в частині смуги, шумова загороджувальна перешкода, імітаційна.

Допущення: У межах зони з'єднання між ЗРЗ відбувається або безпосередньо, або шляхом побудови маршрутів з використанням мінімальної кількості ретрансляцій (зазвичай до трьох). Беручи до уваги те, що кожен ЗРЗ володіє інформацією про сусідні з ним ЗРЗ, а також децентралізований принцип управління СРЗ та динамічну природу їх функціонування (часті зміни топології СРЗ спричинені мобільністю усіх ЗРЗ), можна зробити висновок, що питання радіозв'язності доцільно розглядати окремо між кожною парою ЗРЗ, які утворюють h -й інтервал, а не на всьому маршруті передачі m_{ab} .

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження. Показано, що наукова новизна полягає у створенні моделей, методів з метою інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ, враховуючи ступінь деструктивного впливу на них.

У **першому розділі** наведено стислий огляд основних наукових праць, що стосуються тематики дисертаційної роботи, виконано аналіз тенденцій розвитку СРЗ

спеціального призначення. Визначені способи деструктивного впливу на СРЗ спеціального призначення, а також технічні засоби, які можуть бути застосовані з метою деструктивного впливу на них. Показано, що деструктивний вплив на СРЗ спеціального призначення не обмежується лише РЕП СРЗ спеціального призначення, а включає в себе комплексний радіоелектронний, кібер та вогневий вплив на СРЗ спеціального призначення.

Сформульовано завдання інтелектуального управління: виходячи з поточних значень характеристик стану СРЗ спеціального призначення, однозначно визначити рівні, підсистеми та елементи підсистем, на які здійснено деструктивний вплив, та види виявленого деструктивного впливу. З урахуванням зазначеного сформулювати відповідні управлінські рішення з застосуванням інтелектуальних методів управління параметрами та ресурсами СРЗ спеціального призначення.

У другому розділі запропоновано методологічні принципи інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення в складній радіоелектронній обстановці. На основі проведеного аналізу особливостей функціонування СРЗ спеціального призначення, задач, етапів і функцій управління ними визначимо базові положення системного підходу до реалізації процесів створення і інтелектуального управління режимами і параметрами СРЗ, які визначають: 1) обґрунтувати принципів побудови інтелектуальних систем управління СРЗ спеціального призначення; 2) сутність процесу інтелектуального управління режимами і параметрами СРЗ; 3) узагальнену схему рішення задач створення і інтелектуального управління режимами і параметрами СРЗ; 4) базисні принципи їх реалізації. Узагальнюючи зазначені вище особливості побудови інтелектуальних систем управління (ІСУ) СРЗ, а також виходячи з особливостей функціонування СРЗ, визначимо основні принципи побудови ІСУ СРЗ:

1. *Принцип ситуаційного управління.* Практична реалізація даного принципу з використанням сучасних інтелектуальних технологій передбачає наявність у складі ІСУ СРЗ бази знань про принципи побудови, цілі функціонування СРЗ, а також про особливості використання різних методів і алгоритмів управління СРЗ.

2. *Принцип ієрархічності.* Як зазначалося в першому розділі, перспективна СРЗ складатиметься з СРЗ декількох рівнів. Ієрархія їх підпорядкування обумовлена декомпозицією початкових цілей і завдань управління на рекурсивну послідовність вкладених складових.

3. *Принцип самоорганізації та самонавчання.* Даний принцип повинен передбачати у складі ІСУ СРЗ наявність та використання:

– засобів самооцінки поточного стану процесу управління (оцінка відповідності параметрів процесу управління наявними цілям управління СРЗ);

– засобів побудови математичних моделей об'єкта управління та зовнішнього середовища (підсистема ідентифікації);

– засобів формування правил доцільної поведінки відповідно до апріорної та поточної інформації про стан об'єкта управління, цілі управління і зовнішнього середовища (засоби планування та виконання дій щодо вирішення поставлених завдань);

– засобів поповнення бази знань новими правилами на основі „досвіду”, отриманого в процесі функціонування СРЗ.

4. *Принцип цілепокладання та управління в реальному масштабі часу.* Принцип цілепокладання полягає в можливості ІСУ формувати (модифікувати) цілі управління СРЗ чи окремими її елементами (вузлами) у реальному масштабі часу, залежно від ситуації, яка склалася в СРЗ, а також від вимог до якості обслуговування конкретного типу трафіка та вимог до точності та якості процесу управління.

Приймаючи до уваги непередбачувані умови функціонування СРЗ, а також множину завдань управління на різних рівнях моделі OSI, здійснення управляючих впливів інтелектуальною СУ у реальному масштабі часу можливо реалізувати лише програмним шляхом з використанням мікроконтролерів чи нейроконтролерів, в основі яких знаходиться множина моделей:

- СРЗ та її елементів – для оцінки ефективності складових всіх рівнів СРЗ;
- організації інформаційних ресурсів – для оцінки ефективності інформаційної підтримки прийняття рішень ІСУ СРЗ;
- зовнішнього середовища – для оцінки впливу контрольованих і неконтрольованих впливів на СРЗ та систему управління нею;
- оптимізаційних моделей – для оцінки ефективності методів (алгоритмів) управління і оптимізації рішень.

5. *Принцип функціональності управління.* Множину функцій, які повинна реалізувати ІСУ можна об'єднувати в наступні відносно незалежні групи: контроль елементів СРЗ та якості обслуговування трафіка; збір службової (контрольної) інформації про стан СРЗ; управління побудовою і підтримкою маршрутів; управління топологією СРЗ; управління безпекою; управління радіоресурсом; управління потоками даних; управління витратами енергоресурсу; корекція процесів оперативного управління на підставі прогнозування і планування дії СРЗ.

6. *Принцип розподіленості і координації взаємодії.* Перелічені вище функції підсистем інтелектуальної СУ СРЗ розподіляються між усіма ЗРЗ, які приймають участь у процесі передачі інформації (базовими станціями і мобільними користувачами). Рішення, що виробляються всіма підсистемами будь-якого рівня ієрархії, координуються підсистемою вищестоящего рівня, якій вони підпорядковані.

7. *Принцип оптимальності управління.* Вирішення цього завдання зазвичай забезпечується компромісом між оперативністю й обґрунтованістю керуючих впливів, що є однією з найбільш складних завдань, які підлягають вирішенню при побудові ІСУ СРЗ.

8. *Принцип автоматизації процесів управління.* Крім оцінки ситуації та оперативного прийняття рішень, посадові особи повинні вчасно довести цю інформацію до безпосередніх виконавців. Відповідно, з метою підвищення оперативності управління, обґрунтованості прийнятих рішень і зняття обмежень, обумовлених недосконалістю психофізіологічних можливостей людини, інтелектуальна СУ повинна передбачати комплексну автоматизація процесів управління СРЗ.

9. *Принцип використання технологій обробки знань в якості основного засобу боротьби з невизначеністю стану як зовнішнього середовища, так і параметрів*

СРЗ. Цей принцип визначає нову концепцію побудови СУ складними динамічними об'єктами – концепцію інтелектуальних систем управління.

Сформована наукова концепція організації взаємодії моделей елементів СРЗ спеціального призначення. В якості математичного образу глобальної СРЗ введемо неорієнтований зважений стохастичний граф $G = G(\mathbf{V}, \mathbf{E})$, множину вершин якого $\mathbf{V} = \{V_i; i = \overline{1, N}\}$ складають групи (опорні вузли зв'язку), а множину ребер (гілок) $\mathbf{E} = \{A_{ij}; i, j = \overline{1, N}; i \neq j\}$ – напрями зв'язку між вузлами зв'язку (ВЗ) V_i і V_j , утворені за допомогою однієї або декількох радіоліній, що здійснюють передачу оперативних повідомлень між ними (рис. 1). При цьому абоненти можуть виконувати функції відправників, одержувачів або ретрансляторів повідомлень. Кожній вершині $V_i \in \mathbf{V}$ і кожному ребру $E_{ij} \in \mathbf{E}$ можна поставити в відповідність вагові коефіцієнти, що характеризують оперативно-технічні і вартісні показники відповідних елементів СРЗ – абонентів і радіоліній.

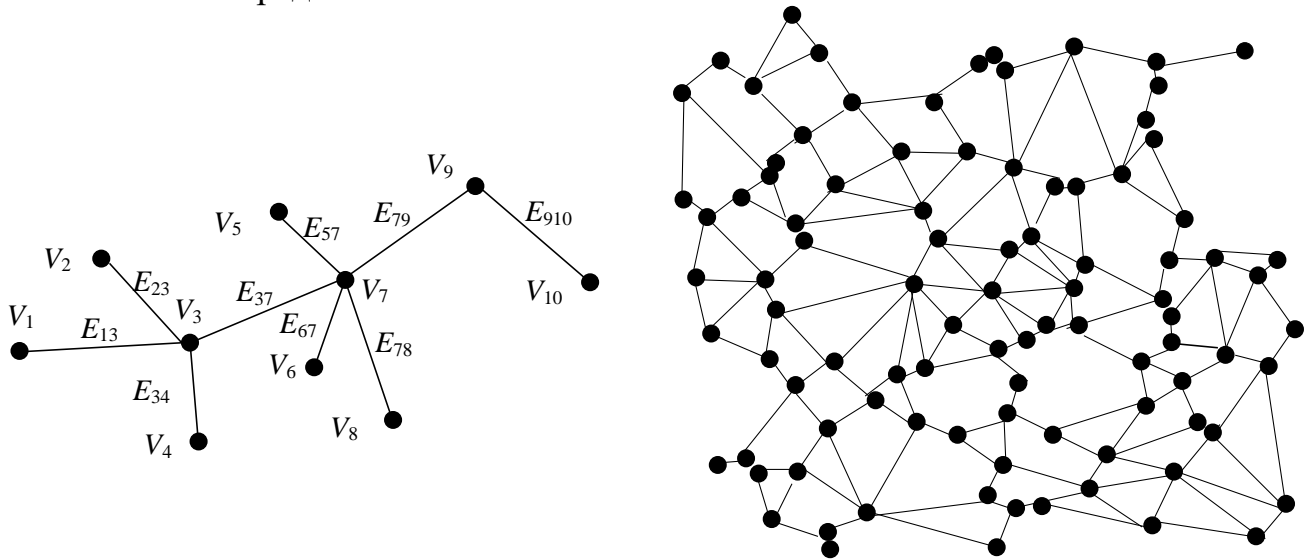


Рис. 1. Приклади структурних моделей СРЗ

Обґрунтовано принципи побудови підсистеми управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення. Структура підсистеми інтелектуального управління СРЗ представлена на рис. 2, де $X(T)$ – вектор заданих впливів; $Y(T)$ – вектор вихідних впливів; $\Sigma(T)$ – вектор помилки (відхилення) параметрів системи від заданого значення; $B_0(T), B_3(T), \mu(T), K(T)$ – вектори шуму, навмисних перешкод, селективних завмирань та кібер атак; $H(t)$ – вектор оцінок параметрів каналу зв'язку та стану СРЗ; $U(T)$ – вектор оптимальних стратегій управління СРЗ; $W(T)$ – вектор керуючих впливів; $\Delta H(T)$ – вектор корекції параметрів і режимів роботи СРЗ.

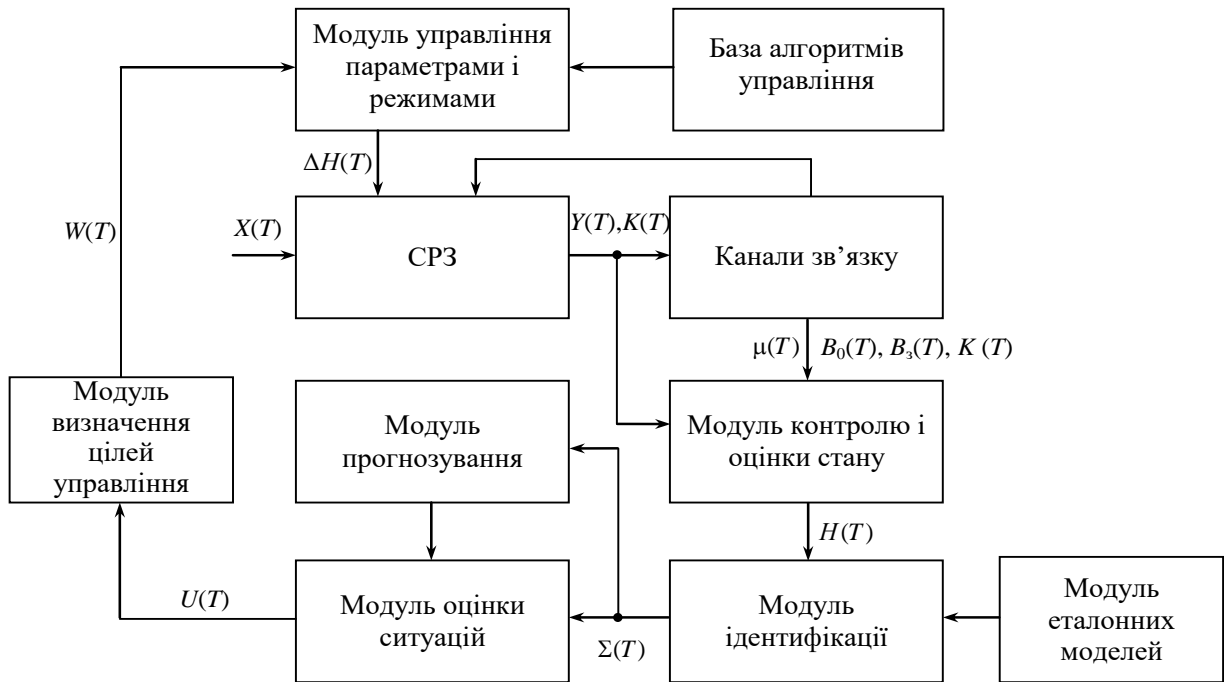


Рис. 2. Структура підсистеми інтелектуального управління радіоресурсом СРЗ

Також в даному розділі дисертаційного дослідження запропоновані моделі функціонування систем радіозв'язку на різних рівнях взаємодії відкритих систем, які дозволяють послідовно здійснити комплексну оцінку стану системи радіозв'язку спеціального призначення: математична модель оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення; модель оцінки стану систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів та математична модель захисту систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.

Зазначені моделі покладені в основу сукупності методів оцінки стану СРЗ спеціального призначення, які викладені в **третьому розділі дисертаційного дослідження**. На підставі розробленої в другому розділі дисертаційного дослідження математичної моделі оцінки радіоелектронної обстановки запропоновано удосконалений метод методу оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення. Основою для розробки удосконаленого методу оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення обрано метод Rete [1–8]. Метод складається з наступної послідовності дій.

1. *Введення вихідних даних для аналізу радіоелектронної обстановки.* На даному етапі відбувається введення початкової радіоелектронної обстановки, що притаманна зазначеному регіону.

2. *Формування бази знань (БЗ) з урахуванням невизначеності.* На зазначеному етапі відбувається формування БЗ за на підставі виразів (1)–(13). При перетворенні значень РЕО в нечіткі правила враховується значення невизначеності про джерела радіовипромінювання, відповідно до виразів (6)–(8) [2].

Формальна модель нейро-нечіткої бази правил буде мати вигляд (1):

$$\{P_n\} = \{\text{Rule}\}, \quad (1)$$

де Rule – правило нейро-нечіткої експертної системи. Кожне правило визначається наступним чином (2):

$$\text{Rule} = \langle C \rightarrow S \rangle, \quad (2)$$

де C – умова правила, S – наслідок правила.

Оскільки модель повинна забезпечувати подання граматичної структури правил з різного виду вкладеними умовами, буде використаний рекурсивний механізм опису вузлів і кінцевих вершин дерева умови правила. Параметр C визначається наступним чином (3):

$$C = \langle C_l, R, C_r \rangle, \quad (3)$$

де C_l – лівий вузол умови правила, R – відношення між вузлами правил, C_r – правий вузол умови правила. Далі розглянемо наведені параметри:

$$C_l = FC_l \parallel \text{Null} \parallel C, \quad (4)$$

$$C_r = FC_r \parallel \text{Null} \parallel C, \quad (5)$$

де FC_l – ліва кінцева трійка умови правила, FC_r – права кінцева трійка умови правила. Формули (4) та (5) дозволяють описати умови з різним ступенем вкладеності.

$$FC_l = \langle L, Z, W \rangle, \quad (6)$$

$$FC_r = \langle L, Z, W \rangle, \quad (7)$$

де L – лінгвістична змінна, Z – знак умови $Z = \{<, >, <=, >=, =, !=\}$; W – значення умови, яке визначається наступним чином (8):

$$W = L \parallel V, \quad (8)$$

де L – лінгвістична змінна, V – фіксоване значення (9).

$$V = T_i \parallel \text{const}, \quad (9)$$

де T_i – значення нечіткої змінної з терм-множин лінгвістичної змінної, const – константа. Зазначена модель допускає використання не тільки лінгвістичних змінних, але й класичних змінних. В цьому випадку їх значення може порівнюватися також з константами [9]. R – множина відношень між вузловими вершинами $R \subset (C_l \times C_r)$ або $R: C_l \rightarrow C_r$. Аналогічно параметру C визначається параметр S – наслідок правила.

$$S = \langle S_l, R, S_r \rangle, \quad (10)$$

де S_l – лівий вузол наслідку правила, R – відношення між вузлами наслідку правила, S_r – правий вузол наслідку правила.

$$S_l = FS_l \parallel \text{Null} \parallel S, \quad (11)$$

$$S_r = FS_r \parallel \text{Null} \parallel S, \quad (12)$$

де FS_l – ліва кінцева трійка наслідку правила, FS_r – права кінцева трійка наслідку правила. Формули (11) та (12) дозволяють описати наслідки з різним ступенем вкладеності.

$$FS_l = \langle L, \text{Op}, W \rangle, \quad (13)$$

$$FS_r = \langle L, \text{Op}, W \rangle, \quad (14)$$

де L – лінгвістична змінна, Op – операція, $\text{Op} = \{:=\}$, W – значення наслідку.

Дія 3 Пошук кінцевих трійок та навчання ШНМ (штучних нейронних мереж). На даному етапі роботи методу Rete виконується пошук близьких кінцевих трійок у всіх правилах продукційної бази знань.

Дія 4. Укрупнення відповідностей та навчання ШНМ. На даному етапі виконується рекурсивна процедура перевірки близькості проміжних вузлів дерев рішень. Дана процедура забезпечує укрупнення відповідностей між умовами в правилах бази знань. Також на зазначеному етапі відбувається навчання архітектури та параметрів ШНМ.

Дія 5. Перевірка метрики оцінки близькості та визначення помилки навчання ШНМ. На зазначеному етапі відбувається визначення метрики близькості отриманих рішень та визначення помилки навчання з метою прийняття управлінських рішень.

Також в даному розділі дисертаційного дослідження розроблено *метод оцінки та прогнозування стану системи радіозв'язку спеціального призначення, що складається з наступної послідовності дій:*

1. *Введення вихідних даних.* На даному етапі вводяться вихідні дані що наявні про СРЗ, що підлягає аналізу. Проводиться ініціалізація базової моделі стану СРЗ.

2. *Виявлення факторів та зв'язків між ними.* На даному етапі відбувається аналіз проблеми, визначення мети і завдань аналізу та прогнозування стану СРЗ, а також когнітивна структуризація наявної інформації про стан СРЗ:

$$s_{i(norm)}^{(t-l_i^j)} = \frac{s_i^{(t-l_i^j)} - s_{i(\min)}}{s_{i(\max)} - s_{i(\min)}}, l_i^j = 0, \dots, L_i^j, \quad (15)$$

де $s_{i(norm)}^{(t-l_i^j)}$ – нормоване значення; $s_{i(\max)}, s_{i(\min)}$ – максимальне та мінімальне значення, відповідно. Як правило множина факторів, зв'язків між ними, обмеження, накладаються на вхідні параметри, а також їх значення визначаються на основі наявної інформації за результатами запиту з бази знань. Необхідність залучення даних з бази знань обумовлена відсутністю або неповнотою вхідної інформації про СРЗ. В якості обмежень, що накладаються на фактори, розглядаються ресурси (обчислювальні, часові та просторові).

3. *Задання значень факторів та зв'язків між ними.* Дана процедура складається з наступних дій: обробка вихідних даних; нормування значень параметрів вершин, представлених у вигляді інтервалів, нечітких чисел; нормування значень зв'язків між вершинами, представлених у вигляді інтервалів, нечітких чисел; структуризація значень зв'язків між вершинами.

4. *Побудова НЧКМ (нечіткої когнітивної моделі).* Формування структури (попереднє структурне налаштування) НЧКМ полягає в завданні структурних взаємозв'язків (у вигляді відображаються часових лагів) між концептами НЧКМ, зважених нечіткими значеннями $w_{ij}^{(t-l_i^j)}$ їх впливу один на одного. В зазначеній роботі в якості НЧКМ FS_i , що реалізують нечіткі темпоральні перетворення F_i , пропонуються модифіковані моделі ANFIS-типу (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). НЧКМ забезпечують формування, зберігання і виведення прогнозованих нечітких значень відповідних компонентів багатовимірною часового ряду з

необхідними для НЧКМ часовими затримками.

Вхідними темпоральними нечіткими змінними моделі FS_i є $S_1' = \{\tilde{s}_3^{(t-1)}, \tilde{s}_3^{(t-3)}, \tilde{s}_4^{(t-3)}, \tilde{s}_5^{(t-3)}, \tilde{s}_1^{(t-3)}\}$, а її вихідними нечіткими темпоральними нечіткими змінними – $S_1' = \{\tilde{s}_1^{(t)}, \tilde{s}_1^{(t-1)}, \tilde{s}_1^{(t-2)}\}$. При побудові моделі спочатку визначаються міри істинності для поточних значень вхідних змінних щодо відповідності цих нечітких висловлювань передумов всіх правил моделі.

Після чого відбувається агрегування на основі операції Т-норми ступенів істинності передумов правил:

$$\alpha_p = \min \{\mu_L(\dots), \dots, \mu_H(\dots)\}. \quad (16)$$

Далі активізують укладення відповідних правил відповідно до ступенями істинності їх передумов на основі операції імплікації (тут, імплікації Мамдані - операції min-активізації):

$$\mu_{\tilde{M}} = \min \{\alpha_p, \tilde{M}\}. \quad (17)$$

Після чого здійснюється операція max-диз'юнкції, акумулюючи активізовані укладення всіх правил моделі:

$$\tilde{s}_1^{(t)} = \max \{\mu_{\tilde{M}}(\dots), \dots, \mu_{\tilde{H}}(\dots)\}. \quad (18)$$

Далі відбувається нормалізація, зберігання і виведення нечітких значень вихідних змінних моделі з необхідними для НЧКМ часовими затримками:

$$\tilde{s}_{1(norm)}^{(t)} = Z^0(\tilde{s}_1^{(t-1)}), \tilde{s}_{1(norm)}^{(t-2)} = Z^{-1}(\tilde{s}_1^{(t-1)}). \quad (19)$$

5. *Навчання ШНМ.* В зазначеній процедурі відбувається навчання ШНМ за допомогою розробленого в роботі [3] методу навчання ШНМ, що еволюціонують.

6. *Прогнозування стану СРЗ.* Багатовимірний аналіз і прогнозування стану складної системи / процесу виконується на основі структурно і параметрично налаштованої НЧКМ.

Запропоновано *метод оцінки кіберзахисності системи радіозв'язку спеціального призначення*, що складається з наступної послідовності дій.

1. *Введення вихідних даних.* На даному етапі відбувається введення вихідних даних про стан СРЗ. Визначається кількість джерел технічних засобів моніторингу, тип вихідних даних та їх обсяг.

2. *Визначення ступеня невизначеності вихідних даних.* На даному етапі визначається ступінь невизначеності вихідних даних на підставі попередніх досліджень автора. Ступінь невизначеності вихідних даних наступна: повна невизначеність; часткова невизначеність та повна обізнаність [2, 15].

3. *Побудова дерева класифікаторів.* Зазначений етап методу може бути охарактеризований як підготовчий, він містить у собі вибір структури окремих бінарних класифікаторів (детекторів): розмірності та числа шарів, параметрів і алгоритмів навчання, типів функцій активації, функцій належності та ядерних функцій [7–11]. Для кожного детектора складається набір навчальних правил. Задаючи різну сукупність таких наборів правил, можна сформувати групу детекторів, кожний з яких побудовано на основі штучної нейронної мережі, що еволюціонує. Детектори усередині кожної такої групи поєднуються в класифікатор

на основі підходів один-до-усіх (one-vs-all), один-до-одного (one-vs-one) або їх різних похідних варіацій [7–11].

4. *Визначення доступних апаратних обчислювальних ресурсів.* На даному етапі визначаються доступні апаратні обчислювальні ресурси мережі. На підставі чого визначаються можливі варіанти класифікації: бінарне класифікаційне дерево, генетичний алгоритм, нечіткі когнітивні моделі та ациклічний граф.

5. *Визначення належності стану захищеності СРЗ до певного класу.* У якості однієї з похідних варіацій попередніх підходів для комбінування детекторів може бути згадане класифікаційне бінарне дерево [7–11]. Формально така структура задається рекурсивно в такий спосіб:

$$CBT_{\mu} = \begin{cases} \langle F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}, CBT_{L_{\mu}}, CBT_{R_{\mu}} \rangle, & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \\ \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1. \end{cases} \quad (20)$$

де $\mu = \{0, \dots, m\}$ – вихідний набір міток класів, $L_{\mu} \subsetneq \mu$ – довільно згенерована або визначене підмножина; $\mu(\#L_{\mu} < \#\mu)$, $R_{\mu} = \mu \setminus L_{\mu}$ – ліве класифікаційне піддерево, $CBT_{R_{\mu}}$ – праве класифікаційне піддерево, $F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}$ – вузловий детектор, навчений на елементах множини $\{(x_l, 0) | \bar{c}_l \in L_{\mu}\}_{l=1}^M \cup \{(x_l, 1) | \bar{c}_l \in R_{\mu}\}_{l=1}^M$.

Об'єднання груп $F_j^{(i)}$ у класифікатор $F^{(i)}$ здійснюється на основі гібридного правила, що представляє собою суміш голосування більшістю й голосування max-wins:

$$F^{(i)}(z) = \left\{ \bar{c} \left| \underbrace{\sum_{j=1}^{q_i} [\bar{c} \in F_j^{(i)}(z)]}_{\Xi_i(\bar{c})} > \frac{1}{2} \cdot q_i \text{ AND } \Xi_i(\bar{c}) = \max_{\bar{c}' \in \{0, \dots, m\}} \Xi_i(\bar{c}') \right\}_{\bar{c}=0}^m. \quad (21)$$

В даній формулі за рахунок вимоги $\Xi_i(\bar{c}) > \frac{1}{2} \cdot q_i$ класифікатор $F^{(i)}$ стає нездатним вирішувати конфлікти, які виникають за умови $\#\left\{ \bar{c} \left| \Xi_i(\bar{c}) = \frac{1}{2} \cdot q_i \wedge \Xi_i(\bar{c}) = \max_{\bar{c}' \in \{0, \dots, m\}} \Xi_i(\bar{c}') \right\}_{\bar{c}=0}^m = 2$ (у цьому випадку виходом класифікатора є порожня множина \emptyset).

6. *Визначення параметрів захищеності СРЗ до відповідного класу.* Зазначений етап методу, виконуваний на стороні сенсорів (технічних засобів розвідки), полягає в складанні необроблених відомостей у класифікаційні блоки, виділенні їх параметрів і виконанні аналізу з використанням декількох паралельних алгоритмів шаблонного пошуку. У дослідженні використовувався інтервал зі значенням параметра L , рівним п'яти секундам. Довжина інтервалу, що L' згладжує, була обрана рівній однієї секунді. Зсув δ був установлений у пів секунди. подібний підхід дозволяє усунути рідкі по частоті й випадкові мережні сплески й тим самим знизити число неправильних спрацьовувань.

7. *Попередня обробка даних про ступінь захищеності СРЗ.* Перед безпосереднім навчанням детекторів виконується попередня обробка даних параметрів для зменшення ефекту їх сильної мінливості. Дана процедура включає

наступну послідовність дій: нормалізація компонентів вектору та мінімізація простору ознак.

8. *Ієрархічний обхід дерева класифікаторів по ширині.* Зазначений етап методу з погляду обчислювальних ресурсів є найбільш трудомістким і складається з наступних рекурсивно повторюваних послідовностей дій: обчислення залежностей поточного класифікатора, формування вхідних сигналів для поточного класифікатора та навчання поточного класифікатора.

У *четвертому розділі* дисертаційного дослідження розроблено сукупність методів інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ в залежності від радіоелектронної обстановки в системі та наявності інформації про дії системи радіоелектронного придушення.

Розроблено *метод синтезу раціональної топології систем радіозв'язку спеціального призначення.* Генетичний алгоритм, використання якого запропоноване в дослідженні, дозволяє знайти раціональну топологію СРЗ з урахуванням варіанту ведення радіоелектронного придушення противника.

Нехай середовище описується парою $X(t) = \{\Lambda(t), E(t)\}$, де $\Lambda(t)$ – контрольований стан СРЗ (потоки даних, пріоритетність абонентів, їх місце підключення до СРЗ та ін.); $E(t)$ – її неконтрольований стан (перешкода, стан противника). Аналогічно пара $B(t) = \{Y(t), H(t)\}$, що описує стан СРЗ: $Y(t)$ – її контрольований стан (середній час затримки пакетів в гілках мережі зв'язку, зв'язність СРЗ, ступінь навантаження вузлів комутації та ін.); $H(t)$ – неконтрольований стан (інтенсивність обслуговування пакетів в каналах та вузлах комутації та ін.). В якості основного критерію ефективності СРЗ спеціального призначення візьмемо максимум її пропускної здатності $\max C$. Він визначений на контролюємих станах системи та середовища:

$$C(t) = C(\Lambda(t), Y(t)). \quad (22)$$

Стан СРЗ $Y(t)$ в свою чергу залежить від згаданих $\Lambda(t)$, $E(t)$, $H(t)$, а також від управління $U(t)$:

$$Y(t) = F(\Lambda(t), E(t), H(t), U(t)), \quad (23)$$

де F – оператор системи, $U(t)$ – вибір вирішального методу управління радіоресурсом, топологією, маршрутизацією, навантаженням, безпекою, та якістю обслуговуванням СРЗ $\bar{Y}(t) = \Phi(\bar{Y}(t))$, стан середовища $\Lambda(t)$ та цілей $Z^*(t)$:

$$U(t) = U(\Lambda(t), \bar{Y}(t), Z^*(t)). \quad (24)$$

Метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму складається з наступної послідовності дій.

1. *Введення вихідних даних.* На даному етапі вводяться вихідні параметри мережі, кількість вузлів СРЗ, швидкість передачі інформації та початкова радіоелектронна обстановка. Сутність генетичного пошуку полягає в циклічній заміні однієї популяції наступною, більш пристосованою. Можна вважати, що вся популяція складається в часі з дискретних поколінь $\Omega^{(0)}$, $\Omega^{(1)}$, $\Omega^{(2)}$, ..., $\Omega^{(T)}$. Покоління $\Omega^{(t+1)}$ – це сукупність особин, батьки яких належать поколінню $\Omega^{(t)}$. Покоління $\Omega^{(0)}$ є

початковою популяцією. Процес формування покоління $\Omega^{(0)}$ називається *ініціалізацією*. Кожне наступне покоління є результатом циклу роботи генетичного алгоритму.

2. *Представлення топології мережі у вигляді хромосоми*. При застосуванні генетичного алгоритму для синтезу раціональної топології СРЗ необхідно представити цю топологію у вигляді хромосоми, яка по суті являє собою математичну модель СРЗ з відображенням її елементів та суттєвих зв'язків між ними.

3. *Ініціалізація початкової популяції*. При ініціалізації початкової популяції $\Omega^{b(0)}$ випадковим чином створюються N_b хромосом – матриць. При цьому необхідно враховувати обмеження на вигляд матриць, що будуть визначатись характером задачі, що вирішується. Також обмеження на вигляд хромосоми повинні враховуватись при застосуванні оператора мутації, який полягає в заміні одного або декількох генів хромосоми, вибраної випадковим чином з множини $\Omega^{b(t)}$, на протилежне значення, що стосовно досліджуваної топології мережі означає створення або ж видалення зв'язків між її елементами.

4. *Застосування операторів схрещування та мутації*. При схрещуванні хромосоми поточної популяції $\Omega^{b(t)}$ випадковим чином розбиваються на пари. Оператор схрещування здійснює обмін генів хромосом кожної пари. В результаті формується популяція хромосом–нащадків $\Omega^{c(t)}$ чисельністю N_c .

5. *Розпізнавання варіанту дій РЕП та оцінка ефективності* при варіанті топології $S \in \Omega^{\Sigma(t)}$, де $\Omega^{\Sigma(t)} = \Omega^{b(t)} \cup \Omega^{c(t)} \cup \Omega^{m(t)}$, здійснюється з використанням мультиагентного алгоритму, запропонованого в [10, 11].

На кожному t -му циклі роботи генетичного алгоритму для кожної хромосоми S множини $\Omega^{\Sigma(t)}$ розпізнається варіант дій РЕП та оцінюється його ефективність. Наступним кроком циклу генетичного алгоритму є *відбір* кращих N_b хромосом з популяції $\Omega^{\Sigma(t)}$ за значенням цільової функції. Отримані хромосоми утворюють нову популяцію $\Omega^{b(t+1)}$, яка являється початковою для наступного циклу генетичного алгоритму. Після виконання T циклів робота генетичного алгоритму припиняється.

6. *Проведення навчання системи*. Навчання системи відбувається на підставі розробленого в роботі [15] методу навчання. Таким чином, буде виконана адаптація чи настроювання топології СРЗ в умовах невизначеності. Аналіз значень цільової функції для отриманої множини хромосом $\Omega^{(T)}$ дозволяє визначити одну чи декілька раціональних топологій СРЗ.

Запропоновано *метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки*. Сутність новизни запропонованого методу в тому, що зазначений метод є сукупністю нових процедур, а саме [3, 4, 7, 9–27]: процедури вибору робочих частот; процедури вибору топології радіомережі; процедури вибору маршруту передачі інформації; процедури вибору режиму роботи засобів радіозв'язку.

Розглянемо основні процедури методу інтелектуального управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення.

1. *Введення початкових даних*. Вводяться дані системи радіозв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, а

також значення допустимої величини ймовірності бітової помилки $P_{б\text{ доп}}$ та мінімально швидкості передачі інформації $v_{i\text{ доп}}$ для кожного з елементів системи радіозв'язку та допустимого навантаження в СРЗ.

2. *Оцінка радіоелектронної обстановки.* Проводиться оцінювання радіоелектронної обстановки на ділянках мережі – вузлами-координаторами за сусідні вузли. На радіонапрямок – вузлами, що здійснюють передачу інформації за допомогою методу, що розроблений в третьому розділі дисертаційного дослідження [3, 4, 7, 9–27].

3. *Прогнозування стану радіоелектронної обстановки.* В основу даної процедури покладений метод оцінки та прогнозування стану СРЗ спеціального призначення, що розроблений в розділі 3 дисертаційного дослідження.

4. *Вибір робочих частот.* Зазначена процедура відрізняється від відомих, тим що вибір робочих частот відбувається наступним чином:

визначення кількості подавлених частотних діапазонів та ступеню їх придушення (коефіцієнтів перекриття стану каналу). Тобто якщо частотний канал подавлений повністю то він відсіюється та вважається таким, що він не придатний для передачі інформації, якщо частково – на ньому можливо проводити передачу інформації з мінімальною пропускну здатністю з використанням високоенергетичних сигнально-кодових конструкцій, а якщо канал вільний від перешкод то передача інформації відбувається з використанням високошвидкісних сигнальних конструкцій; визначаються еліпси суцільного придушення та зони порушення роботи засобів радіозв'язку; з використанням методу нелінійного програмування визначаються стратегії комплексів радіоелектронного придушення противника; на підставі даних отриманих після процедури прогнозування стану радіоелектронної обстановки проводиться вибір робочих частот. На підставі зазначеної інформації відбувається формування раціональної топології СРЗ.

5. *Формування топології СРЗ* відбувається на підставі методу, що наведений в розділі 4.1 дисертаційного дослідження.

6. *Управління маршрутизацією в СРЗ спеціального призначення.* Визначення маршруту передачі інформації відбувається на основі удосконаленого алгоритму DSR, удосконаленого за допомогою мурашиного алгоритму.

7. *Вибір режиму роботи.* Для вибору режиму роботи ЗРЗ пропонується використовувати енергетичну та частотну складову використання ресурсів системи (їх ефективності). Границі між енергетичною та частотною ефективністю не задовольняють вимогам для зміни режиму роботи, тому для уточнення пропонується ввести додатковий показник, а саме важливість радіоелектронної обстановки. Згортка часткових критеріїв якості до загального здійснюється з використанням певної схеми компромісів, яка визначає конкретний принцип оптимальності:

$$F_{opt} = \max F \{Im, \beta_E, C\}, \quad (25)$$

де F_{opt} – режим роботи засобу радіозв'язку, Im – коефіцієнт важливості радіоелектронної обстановки, β_E – енергетична ефективність СРЗ.

Відповідно до [33–35] важливість показників РЕО можна розглядати як

неметричний критерій корисності (НКК). В якості робочих режимів обрано гібридні режими роботи на основі багатоантенних систем, а саме: MIMO-OFDM (Multiple-Input Multiple-Output with Orthogonal Frequency Division Multiplexing); MIMO-UWB (Multiple-Input Multiple-Output with Ultra wideband signal); MIMO-FHSS (Multiple-Input Multiple-Output with Frequency-Hopping Spread Spectrum).

Неметричні часткові критерії корисності (НЧКК), які мають характеризувати режим роботи виступають частотна ефективність ЗРЗ (β_F); пропускна спроможність, ступінь використання радіочастотного ресурсу засобами РЕП.

8. *Вибір параметрів сигналу для режиму роботи.* Для кожного з режимів, проводиться вибір раціональних значень параметрів сигналу, де здійснюється початкове введення параметрів ЗРЗ та каналу зв'язку, відбувається вибір раціональних значень параметрів для кожного з режимів.

Удосконалено метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення. Пропонується проводити наскрізне управління ресурсами СРЗ спеціального призначення з відносним дотриманням ієрархії на кожному з рівні еталонної мережевої моделі взаємодії відкритих систем (Open Systems Interconnection (OSI)). Під ресурсами СРЗ спеціального призначення розуміється управління: просторовим ресурсом; часовим ресурсом; частотним ресурсом; резервом ЗРЗ.

Удосконалений метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення складається з наступної послідовності дій.

1. *Введення вихідних даних.* Вводяться вихідні дані про стан СРЗ спеціального призначення, вид операції угруповання військ (сил), а також завдання з організації зв'язку в угрупованні військ (сил).

2. *Введення інформації про ступінь апріорної невизначеності про стан СРЗ.* На даному етапі відбувається визначення ступеню невизначеності даних про стан СРЗ спеціального призначення на підставі робіт [17–22, 29]. Можливі ступені невизначеності інформації про стан СРЗ спеціального призначення: повна обізнаність, часткова невизначеність, повна невизначеність.

3. *Визначення управляючих впливів на СРЗ спеціального призначення.* На даному етапі на підставі опису стану СРЗ спеціального призначення визначаються управляючі впливи на фізичному, каналному та мережевому рівнях системи зв'язку спеціального призначення. В основу зазначеної процедури удосконаленого методу покладені розроблені в попередніх дослідженнях методи [2, 3, 17, 18, 37].

4. *Прогнозування стану СРЗ спеціального призначення.* На даному етапі відбувається прогнозування стану СРЗ спеціального призначення з визначеним складом сил та засобів зв'язку. Прогнозування стану СРЗ спеціального призначення на даному етапі відбувається за допомогою розробленого в попередніх дослідженнях підходів [2–20, 22–33].

5. *Визначення необхідних сил та засобів зв'язку, які необхідні для нарощування СРЗ спеціального призначення.*

Прийняття рішення про нарощування складу сил та засобів зв'язку угруповання військ (сил) приймається після неможливості вирішення завдань з організації зв'язку у існуючій організаційно-штатній структурі після дії 4.

Розглянемо детальніше зазначену процедуру визначення необхідних сил та

засобів зв'язку в СРЗ спеціального призначення. Завдання синтезу інформаційної технології управління процесами скоординованого функціонування та комплексного управління ресурсами систем спеціального призначення може бути сформульована як “завдання пошуку оптимальних керуючих впливів”. Зазначені завдання переводять СРЗ спеціального призначення, що розглядається, із заданого в необхідний структурний стан, що характеризує як поточний стан об'єктів, що входять в заданий тип структури, і стан відносин поміж них. Таким чином, необхідно значення стану існуючої та “нової” системи зв'язку угруповання військ (сил) $STC \langle U^t, S_{\delta}^{*tf} \rangle$ при яких [3, 7, 9, 18, 32]:

$$J_{\theta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{(\delta, \tilde{\delta})}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \underset{\langle U^t, S_{\delta} \rangle \in \Delta_g}{extr}^{*tf},$$

$$\Delta_g \left\{ \langle U^t, S_{\delta}^{*tf} \rangle \left| R_{\beta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{(\delta, \tilde{\delta})}^t \right) \leq \tilde{R}_g \right. \right\}, \quad (26)$$

де J_{θ} – вартісні, часові, ресурсні показники, що характеризують якість функціонування СРЗ спеціального призначення; $\theta \in \Theta$ – множина номерів показників; χ – множина індексів, що відповідають структурам СРЗ спеціального призначення; $T \in (t_0, t_f]$ – інтервал часу, на якому функціонує СРЗ та реалізується процес організації зв'язку; $X_{\chi}^t = \{X_{\chi l}^t, l \in L_{\chi}\}$ – множина елементів, що входять до складу структури динамічного альтернативного системного графа (ДАСГ) G_{χ}^t (множина вершин ДАСГ), за допомогою якого задається керована структурна динаміка СРЗ спеціального призначення в момент часу t ; $\Gamma_{\chi}^t = \{\chi_{\langle \chi l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$ – множина дуг ДАСГ типу G_{χ}^t , відображають взаємозв'язки між його елементами в час t ; $Z_{\chi}^t = \{z_{\langle \chi l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$ – множина значень параметрів, кількісно характеризують взаємозв'язок відповідних елементів ДАСГ; $F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t$ – опис впливу різних структур СРЗ спеціального призначення один на одного в момент часу t ; $\Pi_{\langle \delta, \tilde{\delta} \rangle}^t$ – композиції структурного стану СРЗ спеціального призначення з номерами $\delta, \tilde{\delta}$ в момент часу t ; Δ_g – множина динамічних альтернатив (множина структур та параметрів СРЗ спеціального призначення, “нової” та існуючої СРЗ спеціального призначення, а також множина програм їх функціонування); U^t – управляючі впливи, що дозволяють синтезувати структури СРЗ спеціального призначення, що нарощується і впроваджується; \tilde{R}_g – задані величини; “o” – операція композиції відображень; \mathbf{B} – множина номерів просторово-часових, технічних та технологічних обмежень, що визначають процеси реалізації програм нарощування та функціонування системи зв'язку спеціального призначення [3, 7, 9, 18, 32].

На етапі нарощування насамперед відбувається зміна параметрів функціонування елементів та підсистем СРЗ спеціального призначення.

У дослідженні пропонується розглянути СРЗ спеціального призначення як складний динамічний об'єкт, що складається з сукупності структур. Представимо процес програмного управління нарощуванням системи радіозв'язку спеціального

призначення:

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{r=1}^{p_s} u_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (27)$$

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (28)$$

$$\frac{dx_{rS_l}^{(s,l)}}{dt} = \omega_{rS_l}^{(s,l)}(t). \quad (29)$$

Обмеження на керуючі дії:

$$0 \leq u_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \left[e_n^{(s,l)} (1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{e}_n^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right] w_{nr}^{(s,l)}; \quad (30)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} V_n^{(s,l)} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \left[V_r^{(j)} (1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{V}_r^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right]; \quad (31)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} u_n^{(s,l)}(t) \leq \left[P_r^{(j)} (1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t)) + \bar{P}_r^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right]; \quad (32)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \left[\sum_{\pi \in G_c} (\alpha_\pi^{(s,l)} - x_\pi^{(s,l)}) + \sum_{k \in G_c} (\alpha_k^{(m,r)} - x_k^{(m,r)}) \right] = 0, \forall l; \quad (33)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \varepsilon_n, \forall n; \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \theta_r, \forall r; \quad (34)$$

$$\omega_{rS_l}^{(s,l)} (a_{S_l}^{(s,l)} - x_{S_l}^{(s,l)}) = 0; \quad (35)$$

$$w_{nr}^{(s,l)} \in \{0, u_{vln}^{(b,j)}\}; \gamma_r^{(m,\delta)}(t), \omega_{rS_l}^{(s,l)} \in \{0, 1\}. \quad (36)$$

Крайові умови:

$$\text{для } t = t_0 : x_n^{(s,b)}(t_0) = x_r^{(s,l)}(t_0) = x_{rS_l}^{(s,l)}(t_0) = 0; \quad (37)$$

$$\text{для } t = t_f : x_n^{(s,l)}(t_f) = a_n^{(s,l)}; x_r^{(s,l)}(t_f), x_{rS_l}^{(s,l)}(t_f) = x_{rS_l}^{(s,l)}(t_0) \in \mathbf{R}^1.$$

У співвідношеннях (27) – (37) прийнято такі позначення: $x_r^{(s,l)}$ – змінна характеризує стан виконання операції надання необхідних інформаційних послуг для виконання завдань зв'язку $A_v^{(b,j)}$. Верхній індекс “s” означає, що відповідна змінна входить до складу моделі програмного управління нарощуванням СРЗ спеціального призначення. Верхній індекс “l” означає операцію службову інформацію СРЗ спеціального призначення, який “споживає” інформаційний сервіс (послугу). $u_{nr}^{(s,l)}(t)$ – інтенсивність підтримки, $F_{<n,r>}^{(s,l)}$ операції сервісу (внутрішнього сервісу) ресурсом СРЗ спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$; $x_r^{(s,l)}$ – змінна, поточне значення якої чисельно дорівнює загальній тривалості залучення ресурсів СРЗ спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$; $w_{nr}^{(s,l)}(t)$ – тривалість використання $B_r^{(s,l)}$ ресурсу СРЗ спеціального призначення для підтримки інформаційного сервісу (внутрішніх сервісів або послуг) $D_{<l,n>}^{(s,b)}$ $w_{nr}^{(s,l)}(t) = 1$ якщо ресурс СРЗ спеціального призначення виділено та функціонує; $x_{rS_l}^{(s,l)}$ – чисельно визначає часовий інтервал від закінчення

обслуговування СРЗ спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$ внутрішнього сервісу $F_{<n,r>}^{(s,l)}$ до заданого кінцевого моменту часу; $\omega_{rsl}^{(s,l)}(t)$ – це допоміжна керуюча дія. Приймає значення “1”, якщо СРЗ спеціального призначення завершила обслуговування внутрішнього сервісу $F_{<n,r>}^{(s,l)}$; $V_n^{(s,l)}$ – обсяг пам’яті, необхідної для зберігання вихідних та проміжних даних, що виділяється для виконання операції внутрішнього обслуговування; $e_r^{(j)}, V_r^{(j)}, P_r^{(j)}$ – задані величини (константи), що характеризують максимальну інтенсивність реалізації внутрішніх сервісів на ресурсі СРЗ спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$ (до нарощування); $\gamma_r^{(m,\delta)}(t)$ – допоміжна керуюча дія, що приймає значення “1” у момент часу t , якщо здійснено перехід від існуючих $(e_r^{(j)}, V_r^{(j)}, P_r^{(j)})$ до нових $\bar{e}_r^{(j)}, \bar{V}_r^{(j)}, \bar{P}_r^{(j)}$ параметрам інформаційних ресурсів B_j у підсистемі СРЗ спеціального призначення; $a_n^{(s,l)}$ – обсяг операцій внутрішнього сервісу для підтримки заданого зовнішнього обслуговування; $\delta_{nr}^{(s,l)}(t)$ – функція дозволяє оцінити сумарну якість надання $F_{<n,r>}^{(s,l)}$ внутрішніх сервісів СРЗ спеціального призначення на етапі спільного функціонування та нарощування; $c_{nr}^{(s,l)}(t)$ – вартісна функція часу, що описує непрямі, тобто експлуатаційні витрати (адміністрування, технічна підтримка тощо), пов’язані з функціонуванням та нарощуванням конкретного інформаційного сервісу.

П’ятий розділ містить результати для оцінки ефективності запропонованих методів інтелектуального управління засобами заводозахисту системи радіозв’язку спеціального призначення розроблена імітаційна модель системи радіозв’язку, яка враховує характеристики СРЗ фізичного, каналного та мережевого рівнів, і має можливість в широких межах змінювати параметри і режими роботи ЗРЗ.

На основі аналізу отриманих у дисертаційній роботі результатів, запропоновані конкретні науково-технічні рекомендації щодо побудови високоєфективних систем та засобів радіозв’язку та вибору їх параметрів і режимів роботи в умовах складної сигнальної та заводової обстановки.

Проведені дослідження дозволили: оцінити взаємозв’язок між параметрами засобів і систем радіозв’язку та характеристиками систем радіоелектронного придушення та кібер впливу; виділити суттєві фактори, які впливають на процеси інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ; розрахувати значення показників ефективності функціонування методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ при зміні сигнальної та заводової обстановки; обґрунтувати переваги та недоліки розроблених методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ в порівнянні з раніше запропонованими; зробити висновок про необхідність застосування сукупності методів інтелектуального управління засобами заводозахисту у сучасних системах і засобах радіозв’язку спеціального призначення.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову проблему, що пов'язана із розробкою інтелектуальних методів управління засобами заводозахисту систем радіозв'язку в умовах дестабілізуючих впливів.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено аналіз сучасного стану та особливостей функціонування СРЗ спеціального призначення. На основі проведеного аналізу сформульовано проблеми інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення.

2. Розвинуто теоретичні основи інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення. Розроблено концепцію організації взаємодії моделей елементів СРЗ спеціального призначення, в якій на відміну від відомих здійснюється декомпозиція структури ієрархічної багаторівневої графової моделі системи з урахуванням числа зв'язків та математичних залежностей між окремими підграфами, що дозволяє здійснювати організацію взаємодії розрізнених моделей і їх узгодження по параметрам і характеристикам СРЗ. На основі розробленої концепції проведено розробку нового та удосконалення існуючого науково-методичного апарату інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ.

3. Розроблено сукупність математичних моделей функціонування СРЗ на різних рівнях взаємодії відкритих систем, які дозволяють послідовно здійснити комплексну оцінку стану СРЗ спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки:

– математична модель оцінки радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення;

– математична модель оцінки стану СРЗ спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів;

– математична модель захисту СРЗ спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.

Наведені вище моделі спрямовані на комплексну оцінку деструктивного впливу на СРЗ спеціального призначення, орієнтованого на вироблення адекватних управлінських рішень, щодо підвищення заводо захищеності СРЗ спеціального призначення та є складовими інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень інтелектуальних систем управління засобами заводо захисту СРЗ спеціального призначення.

4. Удосконалено метод оцінки та прогнозування стану СРЗ спеціального призначення, який відрізняється від відомих використанням нового типу нечітких когнітивних темпоральних моделей, орієнтованих на багатовимірний аналіз і прогнозування стану СРЗ в умовах невизначеності, що дозволяє підвищити оперативність прийняття управлінських рішень щодо підвищення заводо захищеності СРЗ спеціального призначення.

5. Удосконалено метод оцінки радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення, який на відміну від існуючих при оцінці радіоелектронної обстановки додатково враховує тип невизначеності вихідних даних, а для

підвищення оперативності обробки інформації здійснюється навчання баз даних з використанням удосконаленої процедури навчання, що дозволяє підвищити оперативність прийняття управлінських рішень щодо підвищення заводо захищеності СРЗ спеціального призначення.

6. Удосконалено метод оцінки кіберзахищеності СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих, полягає у врахуванні типу невизначеності та зашумленості даних; врахуванні наявних обчислювальних ресурсів підсистеми аналізу кібербезпеки СРЗ; вибіркоким задіяння ресурсів підсистеми аналізу кібербезпеки за рахунок підключення тільки необхідних типів детекторів; побудовою класифікаторів верхнього рівня за допомогою різних низькорівневих схем їх комбінування та агрегуючих композицій, що дозволяє підвищити оперативність прийняття управлінських рішень щодо підвищення заводо захищеності СРЗ спеціального призначення.

Запропоновані методи дозволяють підвищити оперативність оцінювання стану СРЗ спеціального призначення на 12-25% та є основою для вироблення подальших управлінських рішень з підвищення заводо захищеності СРЗ спеціального призначення.

7. Розроблено метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму, у якому на відміну від існуючих, структура СРЗ представляється в вигляді двомірної матриці інцидентності, а розрахунок значень цільової функції (ступеню РЕП) здійснюється з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій РЕП, що дозволяє синтезувати раціональну топологію СРЗ спеціального призначення при впливі РЕП.

8. Удосконалено метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення, який на відміну від відомих здійснює комплексне управління параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня СРЗ спеціального призначення, що дозволяє проводити наскрізне управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення.

9. Розроблено метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення, який на відміну від існуючих, після визначення ступеню впливу дестабілізуючих факторів, таких як вплив засобів РЕП, вогневого ураження та кібер впливу на СРЗ спеціального призначення, дозволяє визначити кількість необхідних сил та засобів зв'язку радіозв'язку, які необхідно додатково залучити для повноцінного функціонування СРЗ спеціального призначення.

Використання сукупності запропонованих методів дозволяє підвищити заводо захищеність на 16-26 % за рахунок наскрізного управління режимами та параметрами СРЗ спеціального призначення та визначення необхідного залучення сил та засобів радіозв'язку.

Достовірність наукових результатів, отриманих в дисертаційній роботі, забезпечена коректними постановками задач, використанням сучасного апробованого математичного апарату, підтверджена результатами імітаційного моделювання і збіжністю отриманих результатів з відомими в окремих випадках.

Запропоновані в дисертаційній роботі математичні моделі, методи дозволяють:

1) формалізувати процес функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення при комплексному впливі навмисних перешкод, природніх завад та кібер впливу;

2) здійснювати оцінювання стану систем радіозв'язку спеціального призначення на рівнях взаємодії відкритих систем;

3) здійснювати вибір раціональних значень режимів роботи та параметрів радіозасобів в системі радіозв'язку спеціального призначення;

4) підвищити завадозахищеність функціонування перспективних систем і засобів радіозв'язку в умовах комплексного впливу деструктивних факторів (в середньому на 15-30 %) за рахунок застосування запропонованих методів інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ;

5) забезпечувати проектування компонентів модемного обладнання систем і засобів радіозв'язку при комплексному впливі дестабілізуючих факторів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в інтересах Міністерства оборони України, оборонно-промислового комплексу України, а також вищих навчальних закладів України, що підтверджується актами реалізації та реалізовані:

– у ТОВ «Телекарт-Прилад», під час модернізації засобів широкосмугового радіодоступу Р-402 (акт від 21.04.2017 р.);

– в Головному управлінні зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України, при розробці «Настанови з організації радіозв'язку у Збройних Силах України» від 31.07.2018 (Акт впровадження результатів від 11.10.2019 року);

– в товаристві з обмеженою відповідальністю «ЕВЕРЕСТ ЛІМІТЕД», при модернізації польових маршрутизаторів з підтримкою VoIP телефонії «ТК ТИП-1», батальйонних телекомунікаційних комплектів «ТК ТИП-2» та бригадних телекомунікаційних комплектів «ТК ТИП-3», а також при побудові автоматизованої системи управління системою зв'язку ЗС України (акт впровадження результатів від 18.12.2019 року);

– на кафедрі комп'ютеризованих систем управління факультету комп'ютерних наук та технологій Національного авіаційного університету, під час формування навчально-методичного комплексу освітнього компоненту та проведення аудиторних занять із дисципліни «Методи захисту інформаційних систем спеціального призначення» (освітній рівень «магістр») та підготовки магістерських робіт. Зокрема, використані теоретичні положення щодо застосування методів оцінки захищеності СРЗ спеціального призначення та інтелектуального управління параметрами та режимами СРЗ спеціального призначення (акт впровадження результатів дисертаційного дослідження від 02.10.2023 року).

Результати впровадження підтверджено відповідними актами. Подальші дослідження будуть спрямовані на подальший розвиток запропонованих математичних моделей, методів підвищення завадозахищеності СРЗ спеціального призначення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Жук О. Г. Напрямки вдосконалення засобів радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / О. Г. Жук, Т. Г. Гурський, О. В. Кривенко, А. В. Шишацький // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – № 1. – 2016. – С. 25–34.
2. Кувшинов О. В. Аналіз шляхів підвищення скритності широкосмугових систем військового радіозв'язку / О. В. Кувшинов, А. В. Шишацький, В. В. Лютов, О. Г. Жук // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 1. – С. 24–28.
3. Налапко О. Л. Analysis of technical characteristics of the network with possibility to self-organization / О. Л. Налапко, А. В. Шишацький. // Сучасні інформаційні системи. – Харків, 2018. – №4, Том 2. – С. 78–86.
4. Nina Kuchuk, Amin Salih Mohammed, Andrii Shyshatskyi and Oleksii Nalapko. The Method of Improving the Efficiency of Routes Selection in Networks of Connection with the Possibility of Self-Organization (Scopus). International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2019. – №1.2., Vol. 8. – pp. 1–6. DOI: 10.30534/ijatcse/2019/0181.22019, **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.
5. Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems / О. Nalapko, R. Pikul, P. Zhuk, A. Shyshatskyi. // Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Наукове періодичне видання “Системи управління, навігації та зв'язку”, Збірник наукових праць. – Полтава, 2019. – №3(55). – С. 166–170.
6. Гурський Т.Г., Шишацький А.В., Гриценко К.М., Жук П.В. Перспективи застосування технології МІМО та цифрових антенних решіток у військових системах радіозв'язку. // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації № 3 – 2017 – С.52–59.
7. Bihun, N., Shyshatskyi, A., Bondar, O., Bogrieiev, S., Nalapko, O., Sova, O., & Trotsko, O. (2019). Analysis of the peculiarities of the communication organization in NATO countries. Advanced Information Systems, Vol. 3, No. 4, pp. 39–44. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.05>.
8. О. Л. Налапко, А. О. Попов, В. В. Твердохлібов, А. В. Шишацький. Оцінка ефективності телекомунікаційних мереж тактичної ланки управління, що функціонують в умовах радіоелектронного подавлення // Озброєння і військова техніка. – 2020. – №2. – С. 104–111.
9. O. Nalapko, A. Shyshatskyi, V. Ostapchuk, Qasim Abbood Mahdi, R. Zhyvotovskiy, S. Petruk, Ye. Lebel, S. Diachenko, V. Velychko, I. Poliak Development of a method of adaptive control of military radio network parameters . // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 9 – 2021. – № 1(109). – pp. 18–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225331. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.
10. Романенко І. О. The concept of the organization of interaction of elements of military radio communication systems / І. О. Романенко, А. В. Шишацький, Р. М. Животовський, С. М. Петрук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. –2017. –№ 1. – С. 97–100.

11. S. Kalantaievska, H. Pievtsov, O. Kuvshynov, A. Shyshatskyi, S. Yarosh, S. Gatsenko, H. Zubrytskyi, R. Zhyvotovskiy, S. Petruk and V. Zuiko. Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5, No. 9 (95) (2018): pp 60–76. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

12. O. Kuvshynov, A. Shyshatskyi, O. Zhuk, R. Bieliakov, Ye. Prokopenko, O. Leontiev, R. Zhyvotovskiy, H. Drobakha, I. Romanenko, S. Petruk. Development of a method of increasing the interference immunity of frequency-hopping spread spectrum radio communication devices. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. Vol. 2, No. 9 (98) (2019): Information and controlling system. pp. 74–84. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160328>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

13. I. Alieinykov, K. A. Thamer, Y. Zhuravskiy, O. Sova, N. Smirnova, R. Zhyvotovskiy, S. Hatsenko, S. Petruk, R. Pikul, A. Shyshatskyi. Development of a method of fuzzy evaluation of information and analytical support of strategic management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6. No. 2 (102). 2019. pp. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184394>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

14. A. Koshlan, O. Salnikova, M. Chekhovska, R. Zhyvotovskiy, Y. Prokopenko, T. Hurskyi, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskyi. Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5. No. 9 (101). 2019. pp. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

15. V. Dudnyk, Yu. Sinenko, M. Matsyk, Ye. Demchenko, R. Zhyvotovskiy, Iu. Repilo, O. Zabolotnyi, A. Simonenko, P. Pozdniakov, A. Shyshatskyi. Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3. No. 2 (105). 2020. pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

16. Zhuk, O.H., Shyshatskyi, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskiy, R.M. (2017). Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication, *Information Processing Systems*, Vol. 5(151), pp. 16–25. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02>.

17. Shyshatskyi A. Method of multicriterial evaluation of the state of the special purposes of radio communication system channels / A. Shyshatskyi, O. Zhuk, R. Zhyvotovskiy, P. Zhuk // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2017. – № 4. – С. 75–83. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2017_4_12.

18. Shyshatskyi, A., Sova, O., Zhuravskiy, Y., Zhyvotovskiy, R., Lyashenko, A., Cherniak, O., Zinchenko, K., Lazuta, R., Melnyk, A., & Simonenko, A. (2019). Development of resource distribution model of automated control system of special purpose in conditions of insufficiency of information on operational development. *Technology Audit and Production Reserves*,. Vol. 1, No. 2(51), pp. 35–39. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198082>.

19. Nalapko, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Protas, N., Kravchenko, S., Solomakha, A., Neroznak, Y., Gaman, O., Merkotan, D., & Miahkykh, H. (2021). Analysis of methods for increasing the efficiency of dynamic routing protocols in telecommunication networks with the possibility of self-organization. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 5, No. 2(61), pp. 44–48. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239096>.

20. Sova, O., Shyshatskyi, A., Nalapko, O., Trotsko, O., Protas, N., Marchenko, H., Kuvenov, A., Chumak, V., Onbinskyi, Y., & Poliak, I. (2021). Development of a simulation model for a special purpose mobile radio network capable of self-organization. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 5, No. 2(61), pp. 49–54. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239472>.

21. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., and Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, No. (4), pp. 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

22. P. Zuiev, R. Zhyvotovskiy, O. Zvieriev, S. Hatsenko, V. Kuprii, O. Nakonechnyi, M. Adamenko, A. Shyshatskyi, Y. Neroznak, V. Velychko. Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, Vol. 4, No. 9 (106), pp. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

23. Minochkin, A., Shyshatskyi, A., Hasan, V., Hasan, A., Opalak, A., Hlushko, A., Demchenko, O., Lyashenko, A., Havryliuk, O., & Ostapenko, S. (2021). The improvement of method for the multi-criteria evaluation of the effectiveness of the control of the structure and parameters of interference protection of special-purpose radio communication systems. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 4, No.2(60), pp. 22–27. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.235465>.

24. Nalapko, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Hasan, A., Velychko, V., Trotsko, O., Merkotan, D., Protas, N., Lazuta, R., & Yakovchuk O. (2021). Analysis of mathematical models of mobility of communication systems of special purpose radio communication systems. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 4, No. 2(60), pp. 39–44. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.237433>.

25. Shyshatskyi, A., Hasan, V., Kryvenko, M., Petrov, O., Kravchuk, S., Shidlovsky, Y., Opalak, A., Modlinskyi, O., Kobylinskyi, O., & Bezstrochnyi, I. (2021). Justification of ways increasing the immunity of special purpose radio communications. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 2, No. 2(58), pp. 46–50. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.229440>.

26. Shyshatskyi, A., Ovchynnyk, V., Momotov, A., Protas, N., & Solomakha, A. (2021). Development of a mathematical model of radio resource management of special purpose radio communication systems based on an evolutionary approach. *Technology Audit and Production Reserves*. Vol. 1, No. 63, pp. 15–20. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.251918>.

27. Mahdi Q. A., Shyshatskyi A., Prokopenko Y., Ivakhnenko T., Kupriyenko D., Golian V., Lazuta R., Kravchenko S., Protas N. & Momit A.. Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of*

Enterprise Technologies, 2021, Vol. 3, No. 9(111), pp. 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

28. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., & Lyashenko, A.. Методика оцінки ефективності системи зв'язку оперативного угруповання військ. Сучасні інформаційні системи. 2020. Том 4, № 1, С. 107–112. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>.

29. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., & Hrokholskyi, Y. Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 2021, No. 4, pp. 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

30. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskyi, Dmytro Shevchenko, Bohdan Molodetskyi, Vitalii Stryhun, Yurii Yivzhenko, Yevhen Stepanenko, Nadiia Protas, & Oleksii Nalapko. (2022). Development of the method of increasing the efficiency of information transfer in the special purpose networks. Eastern-european Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, No. 4 (117), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259727> **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

31. Романов О. М., Шишацький А. В., Налапко О. Л. Розробка методу підвищення оперативності передачі інформації в мережах спеціального призначення. Modernn aspekty vědy: XXI. Dnl mezinbrodnn kolektivnn monografie / Mezinbrodnn Ekonomickэ Institut s.r.o.. Āeskб republika: Mezinbrodnn Ekonomickэ Institut s.r.o., 2022. С. 381–403.

32. Sova, O., Zhuravskyi, Y., Vakulenko, Y., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., & Nalapko, O. (2022). Development of methodological principles of routing in networks of special communication in conditions of fire storm and radio-electronic suppression. EUREKA: Physics and Engineering, No. 3, pp. 159–166. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002434>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

33. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskyi, Pavel Shvets, Valentyna Tkachenko, Serhii Nevhad, Oleksandr Zhuk, Serhii Kravchenko, Bohdan Molodetskyi, & Hennadii Miahkykh. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. Eastern-european Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2, No. 3 (116), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>. **(проіндексовано в базі даних Scopus)**.

34. Sova, O., Zhuravskyi, Y., Shyshatskyi, A., Zhuk, O., Hurskyi, T., Nalapko, O., Vozniak, R., Hatsenko, S., Lyashenko, A., & Havryliuk, O. (2022). Development of force distribution methodology and means of communication for the grouping of troops (forces) in operations. Technology Audit and Production Reserves, Vol. 5, No. 2(67), pp. 20–23. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.264619>.

35. Шишацький А.В., Сова О.Я., Журавський Ю.В., Троцько О.О. Методологічні засади інтелектуальної обробки даних в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Beresjuk O., Lemeschew M., Stadnitschuk M., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 543 p. Available at: DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1. URL: <https://isg-konf.com/theoretical-and-scientific-foundations-in-research-in-engineering/>.

36. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shknai, O., Veretnov, A., Koshlan, O., Zhyvylo, Y., & Zhyvylo, I. (2022). Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 9(119), pp. 34–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009> (проіндексовано в базі даних Scopus).

37. Fedorienko, V., Koshlan, O., Kravchenko, S., Shyshatskyi, A., Vasiukova, N., Trotsko, O., Havryliuk, O., Sovik, O., Alieinik, O., & Svyryda, Y. (2021). Development of a methodological approach for processing different types of data in systems of special purpose. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 6, No. 2(62), pp. 18–24. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.243950>.

38. Abed, A. A., Repilo, I., Zhyvotovskiy, R., Shyshatskyi, A., Hohonians, S., Kravchenko, S., Zhyvylo, I., Dieniezhkin, M., Protas, N., & Shcheptsov, O. (2021). Improvement of the method of estimation and forecasting of the state of the monitoring object in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No. 3 (112), pp. 43–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237996>. (проіндексовано в базі даних Scopus).

39. Bezuhlyi, V., Oliynyk, V., Romanenko I., Zhuk, O., Kuzavkov, V., Borysov, O., Korobchenko, S., Ostapchuk, E., Davydenko, T., & Shyshatskyi, A. (2021). Development of object state estimation method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 3 (113), pp. 54–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239854>. (проіндексовано в базі даних Scopus).

40. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y., Luscshay, Y., Dovhopoliuk, L., Haidenko, O., & Dorofeev, M. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 4 (120), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>. (проіндексовано в базі даних Scopus).

41. Шишацький А. В. Удосконалена методика оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції / А. В. Шишацький, О. Г. Жук, В. В. Лютов, Р. М. Животовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 4. – С. 117–121.

42. Шишацький А. В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад / А. В. Шишацький, В. В. Ольшанський, Р. М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2. – С. 62–66.

43. Шишацький А. В. Методика вибору робочих частот в складній електромагнітній обстановці / А. В. Шишацький / Системи управління, навігації та зв'язку Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – №1 (41) – 2017 – С. 146–149.

44. Романенко І. О. Математична модель розподілу навантаження в телекомунікаційних мережах спеціального призначення / І. О. Романенко, Р. М. Животовський, С. М. Петрук, А. В. Шишацький, О. О. Волошин // Системи обробки інформації. – 2017. – № 3. – С. 61–71.

45. Шишацький А. В. Методика вибору гібридних режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку / А. В. Шишацький // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 135–144.

46. Налапко О. Л. Методика управління каналними та мережевими ресурсами систем радіозв'язку / О. Л. Налапко, М. М. Тюрников, А. В. Шишацький. // Матеріали дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління”. – Баку, Харків, Жиліна, 2019. – С. 68.

47. Налапко О. Л. Моделювання топології мереж з можливістю до самоорганізації. / О. Л. Налапко, А. В. Шишацький // Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Тези доповідей XV міжнародної наукової конференції Харківського Національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології для захисту повітряного простору”, 10 – 11 квітня 2019 року. – Харків, 2019. – С. 276.

48. Nalapko O. Route search method using artificial intelligence methods / O. Nalapko, A. Shyshatskyi. // International conference “Modern information, measurement and control systems: problems and perspectives 2019 (MIMCS'2019)”. – Баку, 2019. – С. 244.

49. Налапко О. Л. Прогнозування зміни положення мобільних об'єктів на основі топології мережі / О. Л. Налапко, А. В. Шишацький. // Державний Науково-дослідний інститут випробовувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Збірник тез доповідей “Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах” XIX. – Чернігів, 2019. – С. 294.

50. Налапко О. Л. Аналіз завдань і методів оцінки та вибору альтернатив рішень / О. Л. Налапко, О. Я. Сова, А. В. Шишацький. // International scientific and practical conference “Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience” Wloclawek, Republic of Poland, September 27–28, 2019. Wloclawek: Izdevnieciba “Baltija Publishing”. – 2019. – С. 75–78.

51. Налапко О. Л. Методика вибору топології та режимів роботи систем радіозв'язку на основі удосконаленого генетичного алгоритму./ А. В. Шишацький, О. Л. Налапко // Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції “проблеми інформатизації”, 13-15 листопада 2019, Черкаси, Харків, Баку, Бельсько-Бяла. – 2019 – С. 22.

52. Zhyvotovskiy R.M., Shyshatskyi A.V., Petruk S.N. Structural-semantic model of communication channel. // 4th International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T-2017). 10–13 October 2017. Kharkiv, Ukraine. P. 524 – 529. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246454. **(проіндексовано в базі даних Scopus).**

53. Шабанова-Кушнарєнко Л. В., Сова О. Я., Журавський Ю. В., Животовський Р. М., Шишацький А. В. Концепція розвитку системи радіозв'язку спеціального призначення. International scientific and practical conference “Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience” Wloclawek, Republic of Poland, September 27–28, 2019. Wloclawek: Izdevnieciba “Baltija Publishing” pp. 87–90.

54. Животовський Р. М., Гаценко С. С., Шишацький А. В., Петрук С. М. Методика ієрархічного управління каналними та мережевими ресурсами систем

радіозв'язку. The international research and practical conference The development of technical sciences: problems and solutions, , Informatics and cybernetics electronics, radio engineering and communications automation and computer engineering electrical engineering power engineering, European network for academic integrity, Brno, April 27–28, 2018. pp. 97–99.

55. Шишацький А. В., Налапко О. Л., Одарущенко О. Б.(2021). Основні біоінспіровані алгоритми обробки різнотипних даних. Інтеграція інформаційних систем і інтелектуальних технологій в умовах трансформації інформаційного суспільства: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, що присвячена 50-ій річниці кафедри інформаційних систем та технологій. Полтава: ПДАУ, 2021. С. 109–114. <https://doi.org/10.32782/978-966-289-562-9>.

56. Шишацький А. В., Одарущенко О. Б., Налапко О. Л., Шкнай О. В., Кравченко С. І., Протас Н. М. Математична модель системи захисту інформації на основі еволюційного підходу. Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку: матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції / за ред. І.В. Жукової, Є.О. Романенка. м. Дікірх (Люксембург): ГО “ВАДНД”, 07 серпня 2022 р. С. 286–303.

57. Сова О. Я., Шишацький А. В., Нерознак Є. І., Налапко О. Л., Кондрусь А. В. Аналіз підходів управління потоками даних в військових системах радіозв'язку. Formation of innovative potential of world science: collection of scientific papers “SCIENTIA” with Proceedings of the III International Scientific and Theoretical Conference, August 19, 2022. Tel Aviv, State of Israel: European Scientific Platform. С. 79–84. DOI 10.36074/scientia-19.08.2022.

58. Сова О.Я., Шишацький А.В., Артабаєв Ю.З., Величко В.П. Методичний підхід з розподілу ресурсів автоматизованої системи управління спеціального призначення. Modern problems in science. Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference. Vancouver, Canada. 2022. С. 880–888. URL: <https://isg-konf.com/modern-problems-in-science-two>. Available at: DOI: 10.46299/ISG.2022.1.19.

59. Шишацький А. В., Гурський Т. Г., Одарущенко О. Б., Протас Н. М. Методичний підхід з прогнозування динаміки зміни стану системи зв'язку угруповання військ (сил). Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan. 2022. Pp. 29–35 URL: <https://isg-konf.com/multidisciplinary-academic-notes-theory-methodology-and-practice>. Available at: DOI: 10.46299/ISG.2022.1.17.

60. Дяченко С. А., Налапко О. Л., Шишацький А. В. Методика структурно-параметричного синтезу систем зв'язку спеціального призначення. Problems of the development of modern science. Proceedings of the XXXIV International Scientific and Practical Conference. Madrid, Spain. 2022. С.316–329. DOI: 10.46299/ISG.2022.1.34.

61. Salnikova, O., Hatsenko, S., Shknai, O., Veretnov, A., Shyshatskyi, A. Complex methodology for assessing information and analytical supply in decision support systems. Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку: матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції / за ред. І. В. Жукової, Є. О. Романенка. м. Орхус (Данія): ГО “ВАДНД”, 07 вересня 2022 р. С. 399–410.

62. Журавський Ю. В., Шишацький А. В., Возняк Р. М., Ляшенко Г. Т., Гаврилюк О. Г. Методика розподілу сил та засобів зв'язку угруповування військ (сил) в операціях. Science, development and the latest development trends. Proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference. Paris, France. 2022. С. 423–433. DOI: 10.46299/ISG.2022.1.35.

63. Шишацький А. В., Ляшенко Г. Т., Бошно Т. Р. Розробка методики нечіткого оцінювання альтернатив рішень. XVI міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”: тези доповідей, 15 – 16 квітня 2020 року. – Х.: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2020. С. 434.

64. Журавський Ю. В., Шишацький А. В. Динамічна модель інформаційного конфлікту з урахуванням можливостей сторін. Стратегічні комунікації у сфері забезпечення національної безпеки та оборони: проблеми, досвід, перспективи: І міжнар. наук.-практ. конф., 1 жо-вт. 2020 р: тези доповідей / Міністерство оборони України, НУОУ імені Івана Черняхівського. – К.: НУОУ, 2020. – С. 95.

65. Shyshatskyi, A. Artabaiev, Y., Dorofeev, M. Analysis of cognitive modeling methods states of real-time dynamic systems. International scientific conference “Interaction between science and technology in modern conditions”: conference proceedings (November 3–4, 2022. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2022. pp. 29–32.

66. Патент України на корисну модель №125600. Пристрій побудови маршрутів передачі інформації в мережах спеціального призначення із можливістю самоорганізації / О. Л. Налапко, О. Я. Сова, А. В. Шишацький. № u201800332; заявл. 12.01.2018; опубл. 10.05.2018, бюл. № 9.

67. Патент України на корисну модель №124269. “Командно-штабна машина”/ В. І. Рудаков, А. Б. Станіщук, А. В. Шишацький, О. В. Ковбасюк, О. М. Костина, Т. І. Голенковська, О. О. Пукас, Л. С. Оникієнко, О. М. Башкиров, Т. Ю. Куровська // Номер заявки: u201711736. Дата подання заявки: 30.11.2017. Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.03.2018. Публікація відомостей про видачу патенту: 26.03.2018, бюл. № 6.

68. Патент України на корисну модель №133572 “Спосіб формування маршрутів передачі даних в мобільних радіомережах” / О. Я. Сова, В. П. Олексенко, С. В. Сальник, В. М. Остапчук, А. В. Шишацький, Р. М. Животовський, О. В. Жук // Номер заявки: u201811450. Дата подання заявки: 21.11.2018. Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.04.2019. Публікація відомостей про видачу патенту: 10.04.2019, бюл. № 7.

69. Патент України на корисну модель 146003 від 14.01.2021. “Програмована радіостанція зі штучним інтелектом”. Остапчук В. М., Карабань О. В., Прис Г. П., Цатурян О. Г., Бондаренко Т. В., Івченко М. М., Єфанова К. О., Беляков Р.О., Сальнікова О. Ф., Пікуль О. І., Шишацький А. В. Зареєстрований 13.01.2021, бюл. № 2.

70. Патент України на корисну модель №136598 від 11.03.2019. “Система з множиною входів та множиною виходів (МІМО) з багатопараметричною оцінкою”. Калантаєвська С. В., Кувшинов О. В., Жук П. В., Сальнікова О. Ф.,

Ряполов І. Є., Ряполов Є. І., Жук О. Г., Шишацький А. В. Зареєстрований 27.08.2019, бюл. № 16.

71. Патент України на корисну модель №140483 від 14.08.2019. “Система з множиною входів та множиною виходів (МІМО) з штучним інтелектом”. Дублян О. О., Животовський Р. М., Шабанова-Кушнарєнко Л. В., Шишацький А. В. Зареєстрований 25.02.2020, бюл. № 4.

72. Патент України на корисну модель № 148275 від 15.03.2021 “Пристрій обробки різнотипних даних в системах підтримки прийняття рішень”. Моміт О. С., Дяченко С. А., Животовський Р. М., Шишацький А. В., Сальнікова О. Ф., Одарущенко О. Б., Дегтярьова Л. М., Кучук Н. Г., Кучук Г. А., Подорожняк А. О., Іжотова І. В., Процин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

73. Патент України на корисну модель № 118680 від 0.08.2017 “Спосіб формування сигналів в умовах впливу навмисних завод та частотно-селективних завмирань”. Слюсар В.І., Шишацький А. В. Зареєстрований 28.08.2017, бюл. № 16.

74. Патент України на корисну модель № 118387 від 10.08.2017 “Спосіб розподілу інформації в мережах спеціального призначення”. Шишацький А. В., Гаценко С. С., Животовський Р. М., Беляков Р.О. Зареєстрований 10.08.2017, бюл. № 15.

75. Патент України на корисну модель № 119284 від 25.09.2017 “Спосіб адаптивного управління параметрами системи МІМО. Петрук С.М., Волошин О. О., Животовський Р. М., Шишацький А. В., Романенко І. О., Кувшинов О. В., Беляков Р.О. Зареєстрований 25.09.2017, бюл. № 18.

АНОТАЦІЯ

Шишацький А.В. Інтелектуальні методи управління засобами заводозахисту систем радіозв'язку в умовах дестабілізуючих впливів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Національний авіаційний університет, Київ, 2024.

Метою дисертаційної роботи є підвищення заводозахисності систем радіозв'язку в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів на основі інтелектуального управління їх засобами заводозахисту.

У рамках виконаних досліджень отримано такі наукові результати:

1. Обґрунтовані та розвинуті положення системного підходу до вирішення проблеми інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення: здійснено обґрунтування принципів побудови інтелектуальних систем управління системами радіозв'язку спеціального призначення; проведена класифікація задач інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ; розроблена схема системного аналізу і синтезу методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ; сформульована мета функціонування підсистеми інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ, обґрунтовані принципи її побудови і структура; обґрунтовані етапи вирішення проблеми розробки методології інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ; визначені вимоги до методів управління в СРЗ спеціального призначення; проведена декомпозиція

рішення даної проблеми на завдання в залежності від сигнальної та заводової обстановки в СРЗ та наявності інформації про дії системи радіоелектронного придушення.

2. Запропонована нова наукова концепція організації взаємодії моделей елементів систем радіозв'язку спеціального призначення. Формалізовано опис процесу функціонування системи радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки.

3. Запропоновані моделі функціонування систем радіозв'язку на різних рівнях взаємодії відкритих систем, які дозволяють послідовно здійснити комплексну оцінку стану системи радіозв'язку спеціального призначення: математична модель оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення; модель оцінки стану систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів та математична модель захисту систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.

4. Розроблено вперше математичну модель оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення. Удосконалено модель оцінки стану систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів. Розроблено вперше математичну модель захисту систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.

5. Запропоновано сукупність нових методів оцінювання стану системи радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки.

6. Удосконалено метод оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення. Набув подальшого розвитку метод оцінки та прогнозування стану СРЗ який відрізняється від відомих використанням нового типу нечітких когнітивних темпоральних моделей, орієнтованих на багатовимірний аналіз і прогнозування стану об'єктів в умовах невизначеності. Удосконалено метод оцінки кібер захищеності системи радіозв'язку спеціального призначення.

7. Розроблено сукупність методів інтелектуального управління засобами заводозахисту систем радіозв'язку в залежності від радіоелектронної обстановки в системі та наявності інформації про дії системи радіоелектронного придушення.

8. Розроблено вперше метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму. Удосконалено метод інтелектуального управління параметрами СРЗ спеціального призначення. Розроблено вперше метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення.

Ключові слова: навмисні перешкоди, селективні завмирання, система радіозв'язку, інтелектуальне управління, заводозахищеність, ефективність, засоби заводозахисту.

ABSTRACT**Shyshatskyi A. Intelligent methods of managing interference protection of radio communication systems under conditions of destabilizing influences. – Manuscript.**

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.13.06 «Information technologies». – National Aviation University, Kyiv, 2024.

As a result of the conducted research, a methodology of intelligent management of the means of jamming of special purpose radio communication systems (SRS) in the conditions of a complex radio-electronic environment was developed, which allows to increase the efficiency of the functioning of radio communication systems in conditions of complex destructive influence, which is of significant importance in improving the existing and creating a promising radio communication techniques of special purpose control and communication systems.

The purpose of the dissertation is to increase the noise immunity of radio communication systems in conditions of complex influence of destabilizing factors on the basis of intellectual control of their noise protection means. Within the framework of the performed studies, the following scientific results were obtained:

1. Substantiated and developed provisions of the system approach to solving the problem of intelligent control of jamming means of special-purpose SRC: substantiation of the principles of building intelligent control systems of special-purpose radio communication systems; classification of tasks of intellectual control of the means of protection of SRC; a scheme of system analysis and synthesis of methods of intelligent control of the SRC jamming protection means has been developed; the purpose of the functioning of the intelligent control subsystem of the SRC jamming protection means is formulated, the principles of its construction and structure are substantiated; reasonable stages of solving the problem of developing a methodology for intelligent control of the SRW protection means; defined requirements for management methods in special purpose SRC; decomposition of the solution of this problem to the problem was carried out depending on the signal and interference situation in the SRC and the availability of information on the actions of the electronic suppression system.

2. A new scientific concept of organization of interaction of models of elements of special-purpose radio communication systems is proposed. A description of the process of functioning of a special-purpose radio communication system in a complex electronic environment has been formalized. The developed concept allows: to organize the interaction of different models and their coordination according to the parameters and characteristics of the SRH, according to the time of calculations, accuracy and units of measurement; operate with already existing models, as well as include newly created models in the complex, providing the possibility of replenishment, improvement and restoration of models; integrate complex models depending on the specific situation of creation and adaptation; model networks and their elements; perform various calculations and multi-level modeling; effectively evaluate network parameters and characteristics.

3. Models of functioning of radio communication systems at different levels of interaction of open systems are proposed, which allow sequentially to carry out a comprehensive assessment of the state of a special-purpose radio communication system: a mathematical model for assessing the electronic situation of special-purpose radio communication systems; a model for assessing the state of special-purpose radio

communication systems under conditions of complex influence of destabilizing factors and a mathematical model for protecting special-purpose radio communication systems under conditions of complex influence of destabilizing factors. For the first time, a mathematical model for assessing the electronic situation of special-purpose radio communication systems has been developed. The model for assessing the state of special-purpose radio communication systems under conditions of complex influence of destabilizing factors has been improved. For the first time, a mathematical model of protection of special-purpose radio communication systems in conditions of complex influence of destabilizing factors has been developed.

4. A set of new methods for assessing the state of a special-purpose radio communication system in a complex radio-electronic environment has been proposed. The method of assessing the electronic situation of special-purpose radio communication systems has been improved. The method for assessing and predicting the state of SRC has been further developed, which differs from those known by using a new type of fuzzy cognitive temporal models focused on multidimensional analysis and forecasting the state of objects under uncertainty. The method of assessing the cyber security of a special-purpose radio communication system has been improved.

5. A set of methods of intelligent control of noise protection of radio communication systems depending on the electronic situation in the system and the availability of information about the actions of the electronic suppression system.

6. The proposed methodology for the synthesis of a rational topology of a special-purpose SRC using a genetic algorithm. The structure of SRC is presented in the form of a two-dimensional incidence matrix. This matrix is used as a chromosome by genetic algorithm operators. In the genetic algorithm, the elements of the incidence matrix describing the relationships between elements of the SRC are genes. In each cycle of the genetic algorithm, pairwise crossing of chromosomes is carried out, during which part of the genes are exchanged, which for the network under study means the appearance and disappearance of the corresponding connections between elements.

7. The method of intelligent management of the parameters of the special-purpose SRH is proposed. The difference between the proposed method and the known ones lies in the complex management of the parameters of the physical, channel and network level of the special purpose SRC. The proposed method makes it possible to select the working frequencies of radio communication means taking into account the strategy of means of radio-electronic warfare; allows you to choose a rational network topology, choose a rational information transmission route, and allows you to choose the mode of operation of the radio communication tool taking into account the bandwidth of the SRC.

8. The method of complex management of special purpose SRC resources is proposed. The specified technique allows: to determine the impact of destabilizing factors on the special purpose SRC and to determine the number of necessary forces and means of radio communication, which must be increased for the full functioning of the special purpose SRC under the influence of means of radio-electronic warfare, fire damage and cybernetic influence.

Keywords: intentional interference, selective fading, radio communication system, intelligent control, noise immunity, efficiency, noise protection.