

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису


ШИШАЦЬКИЙ Андрій Володимирович

УДК 621.396.2.019.4

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

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


А.В. Шишацький
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий консультант:
Робота виконана без
консультування.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
АНОТАЦІЯ.....	7
ВСТУП.....	35
Розділ 1. Аналіз проблеми розробки методологічних основ інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення.....	50
1.1 Аналіз сучасного стану та особливостей функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення.....	50
1.1.1 Актуальні напрями розвитку систем зв'язку спеціального призначення.....	50
1.1.2 Сучасний стан та особливості функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення.....	55
1.1.3 Сучасний стан і напрямки розвитку систем радіозв'язку спеціального призначення передових країн світу.....	56
1.2 Аналіз основних факторів, що впливають на ефективність функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення.....	62
1.2.1 Можливості засобів радіоелектронного придушення армій передових країн світу.....	62
1.3 Аналіз наукових досягнень у предметній області.....	69
1.3.1 Аналіз методів підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку в умовах складної радіоелектронної обстановки...	70
1.4 Постановка наукової проблеми і завдань дослідження дисертаційної роботи.....	78
Висновки до розділу 1.....	81
Список використаних джерел до 1 розділу.....	83
Розділ 2. Методологічні принципи інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення в складній радіоелектронній обстановці.....	99
2.1 Базові положення системного підходу до вирішення проблеми	

створення і інтелектуалізації систем радіозв'язку спеціального призначення.....	99
2.1.1 Обґрунтування принципів побудови інтелектуальних систем управління системами радіозв'язку спеціального призначення.....	99
2.1.2 Класифікація задач інтелектуального управління радіоресурсом системи радіозв'язку спеціального призначення.....	109
2.1.3 Схема системного аналізу і синтезу методів інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення.....	114
2.2 Концепція організації взаємодії моделей елементів системи радіозв'язку спеціального призначення.....	120
2.2.1 Сутність концепції організації взаємодії моделей елементів системи радіозв'язку спеціального призначення.....	121
2.2.2 Обґрунтування принципів побудови підсистеми управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення.	128
2.3 Математичні моделі функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки.....	131
2.3.1 Математична модель оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення.....	132
2.3.2 Модель оцінки стану систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.	135
2.3.3 Математична модель захисту систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.....	142
Висновки до розділу 2.....	151
Список використаних джерел до 2 розділу.....	153
Розділ 3. Методи оцінювання стану системи радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки.....	167

3.1	Метод оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення.....	167
3.2	Метод оцінки та прогнозування стану системи радіозв'язку спеціального призначення.....	173
3.3	Метод оцінки кіберзахисності системи радіозв'язку спеціального призначення.....	184
	Висновки за розділ 3.....	194
	Список використаних джерел до 3 розділу.....	196
	Розділ 4. Методи інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення.....	202
4.1	Метод синтезу раціональної топології систем радіозв'язку спеціального призначення.....	202
4.2	Метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки.....	209
4.3	Метод комплексного управління ресурсами систем зв'язку спеціального призначення.....	223
	Висновки до розділу 4.....	231
	Список використаних джерел до 4 розділу.....	232
	Розділ 5. Результати оцінки ефективності методів інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення.....	244
5.1	Імітаційна модель системи радіозв'язку спеціального призначення.....	244
5.2	Оцінка ефективності методу синтезу раціональної топології системи радіозв'язку спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму.....	254
5.3	Оцінка ефективності методу інтелектуального управління параметрами та режимами роботи систем радіозв'язку спеціального призначення.....	267

5.4 Оцінка ефективності методу комплексного управління ресурсами систем радіозв'язку спеціального призначення.....	276
Висновки до розділу 5.....	280
Список використаних джерел до 5 розділу.....	282
ВИСНОВКИ	288
Додаток А. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації.....	293
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.....	306
Додаток В. Патенти України на корисні моделі	311

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АБГШ	– адитивний білий гаусівський шум;
АСУ	– автоматизована система управління;
ВСЗ	– відношення сигнал/завада;
ВЧР	– випадковий часовий ряд;
ЕВК	– енергетичний виграш кодування;
ЗРЗ	– засіб радіозв'язку;
ІСЗ ПД	– інтегрована система зв'язку та передачі даних;
МП	– метод максимальної правдоподібності;
МРМА	– мережа радіодоступу мобільних абонентів;
МСКВ	– метод мінімуму середньоквадратичного відхилення;
ПРС	– програмована радіостанція;
ППД	– перетворювач потоку даних;
ППРЧ	– псевдовипадкова перестройка робочої частоти;
РЕБ	– радіоелектронна боротьба;
РЕП	– радіоелектронне придушення;
СД	– сферичного декодування;
СКК	– сигнально-кодова конструкція;
СРЗ	– система радіозв'язку
ШСС	– широкосмугові сигнали;
АОА	– <i>Angle of Arrival</i> ;
ARQ	– <i>Automatic Repetition Query</i> ;
DSSS	– <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> ;
FEC	– <i>Forward Error Correction</i> ;
JTRS	– <i>Joint Tactical Radio System</i> ;
MANET	– <i>Mobile Ad Hoc NETWORK</i> ;
MIMO	– <i>Multiple Input Multiple Output</i> ;
OFDM	– <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> ;
PEP	– <i>Pairwise codeword Error Probability</i> ;
QAM	– <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> ;

SIC	– <i>Successive Interference Cancellation;</i>
SDR	– <i>Software Defined Radio;</i>
SEFDM	– <i>Spectrally Efficient Frequency Division Multiplexing;</i>
SISO	– <i>Single Input Single Output;</i>
SIC	– <i>Successive Interference Cancellation;</i>
STC	– <i>Space Time Coding;</i>
V-BLAST	– <i>Vertical Bell Labs Layered Space Time;</i>
ZF	– <i>Zero Forcing.</i>

АНОТАЦІЯ

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

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

Як результат проведених досліджень розроблено інтелектуальні методи управління засобами заводозахисту систем радіозв'язку (СРЗ) спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки, які дозволяють підвищити заводо захищеність функціонування систем радіозв'язку в умовах комплексного деструктивного впливу, що мають істотне значення при удосконаленні існуючої та створенні перспективної техніки радіозв'язку систем управління та зв'язку спеціального призначення.

В ході проведення досліджень були отримані наступні наукові результати:

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

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, 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. Розроблена концепція дозволяє: здійснювати організацію взаємодії розрізаних моделей і їх узгодження по параметрам і характеристикам СРЗ, за часом розрахунків, точністю й одиницями виміру; оперувати із уже існуючими моделями, а також включати до складу комплексу знову створювані моделі, забезпечуючи можливість поповнення, удосконалювання й відновлення моделей; інтегрувати моделі комплексу залежно від конкретної ситуації створення й адаптації; моделювати мережі і їх елементи; проводити різноманітні розрахунки й багаторівневе моделювання; ефективно оцінювати мережні параметри та характеристики.

3. Формалізовано опис процесу функціонування системи радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки. 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.

3.1. Відмінність розробленої математичної моделі оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення від відомих полягає в тому, що вона встановлює аналітичні залежності для дослідження сигналів засобів радіозв'язку спеціального призначення та засобів радіоелектронної протидії за множиною показників, а саме спектральної

щільності потужності перешкоди, коефіцієнта перекриття спектра сигналу (ширини смуги завади), міжсимвольної інтерференції в каналах, ймовірності бітової помилки та додатково враховує тип невизначеності про стан радіоелектронної обстановки, набір тематичних властивостей сигналів засобів радіозв'язку та радіоелектронної протидії, здатна інтегруватися в автоматизовані системи радіомоніторингу та здійснювати навчання під конкретну радіоелектронну обстановку регіону. Інтелектуальність математичної моделі досягається за рахунок навчання та можливості введення /виводу інформації з баз знань інтелектуальної системи управління. Розроблена модель дозволяє: провести кількісну та якісну оцінку негативного впливу даних видів перешкод на якість радіозв'язку, визначити заходи, спрямовані на боротьбу з навмисними перешкодами; здійснювати прогнозування ймовірної стратегії постановника перешкод (на найгірший випадок); проводити імітаційне моделювання радіоліній з використанням різних технологій в умовах дії навмисних перешкод.

3.2. Відмінність розробленої моделі оцінки стану систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів, що визначає її новизну, полягає в тому, що вона дозволяє описати системи радіозв'язку 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. Підвищення оперативності оцінювання стану системи радіозв'язку спеціального призначення досягається за рахунок багатонаправленого пошуку особинами в популяції, врахування штрафу на розмір нечіткої когнітивної моделі та обчислювальних ресурсів системи радіозв'язку спеціального призначення. Отримані аналітичні вирази дозволяють оцінити ступінь радіоелектронного придушення кожного з напрямків ведення радіозв'язку, визначити заходи підвищення завадозахищеності системи радіозв'язку спеціального призначення,

адаптуватися під нові види перешкод та деструктивні впливи в системі радіозв'язку спеціального призначення.

3.3. Відмінність розробленої математичної моделі захисту систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих від відомих полягає в тому, що вона представляє собою набір імунних детекторів, представлених у вигляді часових детекторів і детекторів пам'яті з заданим алгоритмом їх навчання, а також стратегію генетичної оптимізації.

Розроблена модель є універсальною по відношенню до внутрішнього представлення імунних детекторів, наявна можливість клональної селекції детекторів, передбачені оператори генетичної мутації, використовується динамічно оновлювана популяція імунних детекторів, що дозволяє штучній імунній системі адаптуватися до радіоелектронної обстановки, що змінюються, в режимі її функціонування. Розроблена модель дозволяє: провести кількісну та якісну оцінку негативного впливу засобів кібер впливу на системи радіозв'язку спеціального призначення; визначити заходи, спрямовані на боротьбу з кібер впливом противника на систему радіозв'язку спеціального призначення; проводити імітаційне моделювання системи радіозв'язку при кібер впливі на неї.

Наведені вище моделі утворюють сукупність математичних моделей, спрямованих на комплексну оцінку деструктивного впливу на систему радіозв'язку спеціального призначення, орієнтованого на вироблення адекватних управлінських рішень, щодо підвищення заводо захищеності систем радіозв'язку спеціального призначення та є складовими інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень інтелектуальних систем управління засобами заводо захисту систем радіозв'язку спеціального призначення. Тобто, зазначені моделі спеціально розроблені для вводу/виводу інформації про стан системи радіозв'язку спеціального призначення.

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

4.1. Запропонований метод оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення. Відмінність методу від відомих, що визначає його новизну, полягає в наступному: при оцінці радіоелектронної обстановки додатково враховується тип невизначеності; для підвищення оперативності обробки інформації використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують та з алгоритмом їх навчання; можливість роботи як з чіткими так і нечіткими продукціями за рахунок використання штучних нейронних мереж, що еволюціонують; відсутності накопичення помилки навчання штучних нейронних мереж в результаті обробки інформації, що надходить на вхід штучних нейронних мереж за рахунок навчання архітектури та параметрів. В основу запропонованого методу покладена розроблена математична модель оцінювання радіоелектронної обстановки, що запропонована в другому розділі дисертаційного дослідження. Зазначений метод дозволяє підвищити оперативність 20-25 %.

4.2. Розроблений 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. Концепти НЧКМ, на відміну від відомих нечітких когнітивних моделей, пов'язані підмножинами нечітких ступенів впливу, упорядкованих в хронологічній послідовності з урахуванням часових лагів відповідних компонентів багатовимірного часового ряду. Також запропонований метод відрізняється удосконаленою процедурою прогнозування стану СРЗ на основі нового типу НЧКМ, що забезпечує багатовимірний аналіз, врахування і опосередкований вплив компонентів багатовимірного часового ряду з їх різними часовими лагами один відносно одного. Також забезпечується прогнозна оцінку в умовах нестохастичної невизначеності, нелінійності взаємовпливу, часткової неузгодженості і суттєвою взаємозалежності компонентів багатовимірного часового ряду. Зазначений метод підвищення ефективності функціонування штучних

нейронних мереж на рівні 13-18 % по оперативності обробки інформації за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

4.3. Розроблено метод оцінки кіберзахищеності системи радіозв'язку спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих, що визначає його новизну полягає у врахуванні типу невизначеності та зашумленості даних; врахуванні наявних обчислювальних ресурсів підсистеми аналізу кіберзахищеності СРЗ; вибіркоvim задіяння ресурсів системи за рахунок підключення тільки необхідних типів детекторів; побудовою класифікаторів верхнього рівня за допомогою різних низькорівневих схем їх комбінування та агрегуючих композицій. Зазначений метод дозволяє підвищити оперативність обробки даних на рівні 12-20 %.

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

5.1. Запропоновано метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму. Структура СРЗ представляється у вигляді двомірної матриці інцидентності. Ця матриця використовується як хромосома операторами генетичного алгоритму. Елементи матриці інцидентності, що описують зв'язки між елементами СРЗ, у генетичному алгоритмі являються генами. В кожному циклі генетичного алгоритму здійснюється попарне схрещування хромосом, в ході якого здійснюється обмін частини генів, що для досліджуваної мережі означає появу та зникнення відповідних зв'язків між елементами. Розрахунок значень цільової функції (ступеню радіоелектронного придушення) пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій РЕП. Виграш від реалізації зазначеного методу складає від 9 до 14 % за рахунок скорочення часу на прийняття рішення на вибір топології СРЗ спеціального призначення.

5.2. Запропоновано метод інтелектуального управління параметрами та

режимами роботи СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих полягає у комплексному управлінні параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня СРЗ спеціального призначення. Запропонований метод дозволяє проводити вибір робочих частот засобів радіозв'язку з урахування стратегії засобів радіоелектронної протидії; дозволяє обрати раціональну топологію мережі, обрати раціональний маршрут передачі інформації та дозволяє обрати режим роботи засобу радіозв'язку з урахуванням пропускної спроможності СРЗ. Виграш в діапазоні 10-16 % був отриманий в ході оперативного контролю поточного стану і заводової обстановки в каналах, зайнятих під передачу, за час, порівняний із тривалістю циклу обміну інформацією. Неоднозначність визначення стану каналів викликано різними параметрами сигналу, що приймається, в зв'язку з різними траєкторіями проходження сигналу та рівнями сигнал/шум в підканалах.

5.3. Запропоновано метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення.

Зазначений метод дозволяє: провести визначення впливу дестабілізуючих факторів на СРЗ спеціального призначення та визначити кількість необхідних сил та засобів зв'язку радіозв'язку, які необхідно наростити для повноцінного функціонування СРЗ спеціального призначення при впливі засобів радіоелектронної протидії, вогневого ураження та кібер впливу. Зазначений метод дозволяє підвищити ефективність функціонування системи радіозв'язку спеціального призначення при впливі дестабілізуючих факторів на 20-26 %, що підтверджується результатами моделювання.

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

Список публікацій здобувача:

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., Volume 8. – С. 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 / O.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*, 3(4), 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*. Volume 9 – 2021. – № 1(109). – С. 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. Shyshatskiy. 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. Hurskiy, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskiy. 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. Shyshatskiy. 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., Shyshatskiy, 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. Shyshatskiy A. Method of multicriterial evaluation of the state of the special purposes of radio communication system channels / A. Shyshatskiy, 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. Shyshatskiy, 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., Zhyvotovskiyi, 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. Zhyvotovskiyi, 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., Zhuravskiy, Y., Shyshatskiy, A., Zhuk, O., Hurskiy, 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., Stadnijschuk 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., Shyshatskiy, 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. Fedoriienko, V., Koshlan, O., Kravchenko, S., Shyshatskiy, 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., Shyshatskiy, A., Hohoniants, 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*, Vo. 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., Luscschay, 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.

Список апробацій здобувача

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Zhyvotovskiy R.M., Shyshatskiy 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).**

8. 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.

9. 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.

10. 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>.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. Журавський Ю. В., Шишацький А. В., Возняк Р. М., Ляшенко Г. Т., Гаврилук 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.

18. 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.

19. 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: I міжнар. наук.-практ. конф., 1 жо-вт. 2020 р: тези доповідей / Міністерство оборони України, НУОУ імені Івана Черняхівського. – К. : НУОУ, 2020. – С. 95.

20. 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.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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., Іжутова І. В., Процин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

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

9. 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., Бєляков Р.О. Зареєстрований 10.08.2017, бюл. № 15.

10. 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., Бєляков Р. О. Зареєстрований 25.09.2017, бюл. № 18.

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.

During the research, the following scientific results were obtained:

1. Grounded and developed provisions of the system approach to the solution of the problem of intelligent management of special-purpose anti-interference devices: the substantiation of the principles of building intelligent control systems of special-purpose radio communication systems was carried out; the classification of the tasks of intellectual management of the means of failure protection of SRH was carried out; a scheme of system analysis and synthesis of methods and techniques of intelligent management of SRS fault protection devices was developed; the purpose of the functioning of the subsystem of intelligent management of the means of fault protection of the SRH is formulated, the principles of its construction and structure are substantiated; substantiated stages of solving the problem of developing a methodology for intelligent management of SRS failure protection means; defined requirements for management methods in special-purpose SRH; Decomposition of the solution to this problem into tasks depending on the signaling and interfering

tasks was carried out the situation in the SRS and the availability of information about the actions of the radio electronic suppression system.

A new scientific concept of the organization of the interaction of models of elements of special purpose radio communication systems is proposed, in which, unlike the known ones, the structure of the hierarchical multi-level graph model of the system is decomposed taking into account the number of connections and mathematical dependencies between individual subgraphs. 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.

The description of the operation process of the special-purpose radio communication system in the conditions of a complex radio-electronic environment is formalized. Proposed models of the operation of radio communication systems at different levels of interaction of open systems, which allow to consistently carry out a comprehensive assessment of the state of a special purpose radio communication system: a mathematical model for assessing the radio-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 of protection of special purpose radio communication systems under conditions of complex influence of destabilizing factors.

3.1 The difference between the developed mathematical model for evaluating the radio-electronic situation of special-purpose radio communication systems and the known ones is that it establishes analytical dependencies for the study of signals of special-purpose radio communication and radio-electronic warfare based on a

number of indicators, namely, the spectral density of the interference power, the overlap coefficient signal spectrum (interference bandwidth), intersymbol interference in channels, probability of bit error and additionally takes into account the type of uncertainty about the state of the radio-electronic situation, a set of thematic properties of signals of radio communication and radio-electronic warfare, is able to integrate into automated radio monitoring systems and carry out training for a specific radio-electronic situation of the region. The intelligence of the mathematical model is achieved due to training and the ability to input / output information from the knowledge bases of the intelligent management system. The developed model allows: to carry out a quantitative and qualitative assessment of the negative impact of these types of interference on the quality of radio communication, to determine measures aimed at combating intentional interference; to predict the likely strategy of the obstacle maker (for the worst case); carry out simulation modeling of radio lines using various technologies under the conditions of intentional interference.

3.2 The difference of the developed model for assessing the state of special-purpose radio communication systems under the conditions of complex influence of destabilizing factors, which determines its novelty, is that it allows describing special-purpose radio communication systems in the form of a fuzzy cognitive model, which is a sign oriented graph, in whose vertices represent entities, concepts, factors, goals, and events, and whose arcs represent their influence on each other in the conditions of a complex radio-electronic environment. Increasing the efficiency of assessing the state of the special purpose radio communication system is achieved due to the multidirectional search by individuals in the population, taking into account the penalty for the size of the fuzzy cognitive model and computing resources of the special purpose radio communication system. The obtained analytical expressions make it possible to estimate the degree of radio-electronic suppression of each direction of radio communication, to determine measures to improve the immunity of the special purpose radio communication system, to adapt to new types of interference and destructive influences in the special purpose radio communication system.

3.3 The difference between the developed mathematical model of the protection of special-purpose radio communication systems under the conditions of the complex influence of destabilizing agents and the known one is that it is a set of immune detectors presented in the form of time detectors and memory detectors with a given algorithm for their training, as well as a strategy of genetic optimization.

The developed model is universal in relation to the internal representation of immune detectors, the possibility of clonal selection of detectors is available, genetic mutation operators are provided, a dynamically updated population of immune detectors is used, which allows the artificial immune system to adapt to the changing radio-electronic environment in its mode of operation. The developed model allows: to carry out a quantitative and qualitative assessment of the negative impact of means of cybernetic influence on special purpose radio communication systems; determine measures aimed at combating the enemy's cybernetic influence on the special purpose radio communication system; conduct simulation modeling of the radio communication system with cybernetic influence on it.

The above models form a set of mathematical models aimed at a complex assessment of the destructive impact on the special-purpose radio communication system, focused on the development of adequate management solutions, in order to increase the immunity of special-purpose radio communication systems and are components of intelligent decision-making support systems of intelligent asset management systems interference protection of special purpose radio communication systems. That is, these models are specially designed for input/output of information about the status of a special purpose radio communication system.

4. A set of new methods for assessing the state of a special purpose radio communication system in the conditions of a complex radio-electronic environment has been developed.

4.1 The proposed method of evaluating the radio-electronic environment of special purpose radio communication systems. The difference of the method from the known ones, which determines its novelty, is as follows: when evaluating the radio-electronic situation, the type of uncertainty is additionally taken into account,

respectively; artificial neural networks that evolve and with their learning algorithm are used to increase the efficiency of information processing; the possibility of working with both clear and unclear products due to the use of evolving artificial neural networks; lack of accumulation of learning errors of artificial neural networks as a result of processing information received at the input of artificial neural networks at the expense of learning the architecture and parameters. The basis of the proposed method is the developed mathematical model for evaluating the radio-electronic environment, which was proposed in the second chapter of the dissertation research. The specified method allows to increase efficiency by 20-25%.

4.2 A method of assessing and forecasting the state of SRC has been developed, which differs from the known ones by the use of a new type of fuzzy cognitive temporal models, focused on multidimensional analysis and forecasting of the state of objects under conditions of uncertainty. Concepts of the FCM, in contrast to known fuzzy cognitive models, are connected by subsets of fuzzy degrees of influence, arranged in a chronological sequence taking into account the time lags of the corresponding components of the multidimensional time series; Also, the proposed method is distinguished by an improved procedure for forecasting the state of SRH on the basis of a new type of FCM, which provides multidimensional analysis, consideration and indirect influence of the components of a multidimensional time series with their different time lags relative to each other. It also provides a predictive assessment in conditions of non-stochastic uncertainty, nonlinearity of mutual influence, partial inconsistency and significant interdependence of the components of a multidimensional time series. The specified method of increasing the efficiency of the functioning of artificial neural networks at the level of 13–18% in terms of the efficiency of information processing due to the use of additional improved procedures.

4.3 A method of assessing the cybernetic security of a special purpose radio communication system has been developed. The difference between the proposed method and the known ones, which determines its novelty, consists in taking into account the type of uncertainty and noisy data; take into account the available

computing resources of the cyber security analysis subsystem of the SRC; selective use of system resources by connecting only the necessary types of detectors; by building high-level classifiers using various low-level schemes for their combination and aggregating compositions. The specified method allows to increase the efficiency of data processing at the level of 12–20%.

5. A set of methods for intelligent control of radio communication system jamming protection methods has been developed, depending on the radio-electronic situation in the system and the availability of information about the actions of the radio-electronic suppression system.

5.1 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. The calculation of the values of the objective function (the degree of electronic suppression) is proposed to be carried out using a multi-agent algorithm, while for each chromosome of the current population, a variant of REP actions is first recognized. The profit from the implementation of the specified method is from 9 to 14% due to the reduction of the decision-making time for choosing the topology of the special-purpose SRC.

5.2 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. A gain in the range of 10–16% was obtained during the operational control of the current state and interference in the channels used for transmission, in a time comparable to the duration of the information exchange cycle. Ambiguity in determining the state of the channels is caused by different parameters of the received signal due to different trajectories of the signal and signal/noise levels in the sub channels.

5.3 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. The specified technique allows to increase the efficiency of the special communication system under the influence of destabilizing factors by 20-26%, which is confirmed by the simulation results.

Keywords: intentional jamming, selective fading, radio communication system, intelligent control, jamming protection, efficiency, jamming protection means.

ВСТУП

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, ймовірно-часові та оперативно-технічні характеристики систем управління і зв'язку є такими ж важливими показниками, як кількість і якість засобів збройної боротьби [1–10]. Разом з тим, існуюча система зв'язку не в повній мірі відповідає сучасним вимогам з стійкості, пропускнуої спроможності, своєчасності, достовірності, живучості, технічного оснащення і не дозволяє забезпечити достатньо ефективне бойове застосування сучасних систем озброєння та військової техніки [1–5]. Одним зі шляхів досягнення вимог, що висувають до існуючої системи зв'язку є використання інтелектуальних підходів до управління архітектурою системи зв'язку так і її параметрами.

З метою підвищення ефективності функціонування мобільних компонентів систем зв'язку спеціального призначення в їх складі широко застосовуються засоби і системи радіозв'язку (СРЗ). Це дозволить розв'язати існуючі проблеми по безперервності та стійкості управління військами (силами) вже найближчим часом і відкриває подальші перспективи на поліпшення оперативно-технічних характеристик системи зв'язку спеціального призначення в цілому [7–12]. Однією з тенденцій розвитку тактики бойових дій є широке застосування засобів радіоелектронної протидії (РЕП) [13–18]. Як свідчить досвід бойових дій і локальних конфліктів останніх років, а також проведення Антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей (Операції об'єднаних сил та в ході відсічі повномасштабної збройної агресії російської федерації), засоби радіоелектронної протидії здатні з високою ефективністю та у короткий час здійснити придушення СРЗ, побудовану на традиційних принципах. Постійне вдосконалення засобів радіорозвідки та радіоперешкод, впровадження автоматизованих комплексів радіоелектронного придушення, розвиток нових форм та способів впливу на СРЗ спеціального

призначення призвело за останні роки до істотного підвищення можливостей по радіопридушенню засобів радіозв'язку (ЗРЗ).

Основними факторами, що впливають на якість радіозв'язку, є завмирання сигналів, які виникають внаслідок багатопроменевого розповсюдження радіохвиль, та навмисні перешкоди, які створюються системою РЕП противника. Під дією перешкод ЗРЗ і СРЗ можуть припинити передачу інформації, незважаючи на повну справність і працездатність. Розвиток технічних спроможностей засобів РЕП спільно зі спеціалізованими засобами кібервпливу дозволяє розширити комплекс деструктивного впливу на СРЗ спеціального призначення. Це перетворює процес радіоелектронного конфлікту СРЗ та засобів РЕП на повноцінну радіоелектронну війну з комплексним впливом на рівнях взаємодії відкритих мереж.

На цей час питання завадозахищеності СРЗ спеціального призначення досить глибоко й широко досліджені в наукових працях вітчизняних та іноземних авторів, таких як Зюко А.Г., Фінк Л.М., Теплов М.Л., Фалько А.І., Шеннон К., Кувшинов О.В., Борисов В.І, Беркман Л.Н., Макаренко С.І., Слюсар В.І., Толубко В.Б., Скляр Б., Банкет В.Л., Стеклов В.К., Луханін М.І., Сікарєв О.О., Романюк В.А., Жук О. В., Kumar V., Зінченко А. О., Лучук Є.В., Зайцев С.В., Журавський Ю. В., Сова О.Я. F Mendoza-Hernandez, L Ding, S.W. Choi, D. Weston та інші. Разом з тим, кожний з зазначених вчених розглядав питання підвищення завадозахищеності СРЗ спеціального призначення лише на окремо взятому рівні моделі взаємодії відкритих систем, не розглядаючи питання наскрізного управління СРЗ спеціального призначення на декількох рівнях моделі взаємодії відкритих систем. Тому розвиток теорії і практики побудови СРЗ, що за рахунок самоаналізу пристосовуватися до зміни зовнішнього середовища, є об'єктом пильної уваги вчених і дослідників передових країн світу [19–36]. Разом з тим більшість теоретичних досліджень з побудови СРЗ, які функціонують в умовах активної радіоелектронної протидії, на даний час обмежуються представленням процедур адаптації як функції від одного основного параметра. Крім того, 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 завадової обстановки в каналах зв'язку, реалізації тільки централізованого принципу управління і необхідності передачі значних об'ємів службової інформації [36–42]. Через економічні та частотно-ресурсні обмеження реалізовані в СРЗ заходи завадозахисту виявляються ефективними в обмеженому діапазоні можливих завадових ситуацій.

Таким чином, *існує протиріччя* між технічними характеристиками підсистеми управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення та технічними характеристиками засобів РЕП в частині деструктивного впливу на СРЗ спеціального призначення. Відсутність методології, теоретичних положень і математичного забезпечення управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення в значній мірі стримують створення сучасних ефективних 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 систем підтримки прийняття рішень для обробки різнотипної інформації що циркулює в інтелектуальних системах 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 СРЗ 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 завадозахисту 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 кіберзахищеності 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 завадозахисту СРЗ спеціального призначення.

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

Методи дослідження: Для вирішення наукової проблеми застосовані положення теорії сигналів, теорії завадостійкого кодування, теорії імовірності, теорії інформації, теорії потенційної завадостійкості, 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, 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.

Наукова новизна отриманих 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:

1) *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;

2) *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;

3) *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;

4) *вперше* розроблено метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму, у якому на відміну від існуючих, структура СРЗ представляється в вигляді двовірної 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;

5) *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;

6) *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;

7) *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 заводозахисності СРЗ спеціального призначення;

8) *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; 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 заводозахисності СРЗ спеціального призначення;

9) *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;

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

11) *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 заводозахисності 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 завод 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 заводозахисту 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.

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

Особистий внесок здобувача.

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 радіомережах 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 СРЗ;

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 систем радіозв'язку 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 завадозахищеності 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. Основні наукові результати досліджень доповідалися на: 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 20х 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ЗАВАДОЗАХИСТУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1 Аналіз сучасного стану та особливостей функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення

1.1.1 Актуальні напрями розвитку систем зв'язку спеціального призначення

Характер збройної боротьби у війнах і збройних конфліктах ХХІ ст. зумовлює виникнення і розвиток фундаментальних змін в основних положеннях воєнної стратегії, оперативного мистецтва та тактики дій військ (сил). Зокрема, війна доповнюється новою складовою – інформаційною [1–3, 6]. Досягнення інформаційної переваги є об'єктивною необхідністю успішного ходу ведення бою (операції) [7].

Серед концепцій, що засновані на застосуванні “жорсткої сили”, найбільш показовими є так звана “мережецентрична концепція ведення бойових дій”, що розроблена американськими фахівцями, та “концепція інтегрованого бойового простору”, що запропонована військовими фахівцями Великої Британії [56–79].

Сутність “мережецентричної концепції ведення бойових дій” полягає в інтеграції окремих інформаційних та телекомунікаційних ресурсів у єдиний інформаційний простір угруповань військ (сил) у районі конфлікту.

Основними особливостями сучасних воєнних конфліктів, на які орієнтована “концепція інтегрованого бойового простору”, є:

- розподіленість операційного простору;
- участь у конфлікті різнорідних сил та засобів;
- асиметричний характер збройного конфлікту;

масоване застосування високоточної керованої зброї.

Високий ступінь інтегрованості та синергії дій сил та засобів при цьому досягається також за рахунок створення єдиного інформаційного простору угруповання військ (сил) у районі конфлікту.

Військове керівництво армій технічного розвинутих країн світу у відповідності до нових підходів до будівництва збройних сил (ЗС) особливу увагу приділяє розвитку систем управління (СУ) як головного фактору у досягненні воєнно-стратегічної переваги.

Основними особливостями процесу управління військами, і озброєнням є [7, 56–79]:

значна інформаційна потреба органів управління в різноманітній інформації;

підвищена мобільність підрозділів і частин;

висока динаміка переміщень угруповань військ (сил) у цілому;

розосереджене розгортання військ на територіях, розділених силами противника;

інтеграція систем зв'язку, навігації, розвідки й автоматизації та ін.;

єдиний інформаційний простір для всіх його учасників;

орієнтація на безпосередніх учасників бойових дій;

децентралізація процесів управління ресурсами мережі.

При цьому при удосконаленні СУ спостерігається наступні тенденції [10]:

глобалізація СУ;

ретельне планування операцій (бойових дій) за допомогою різних методів моделювання;

зростання значення інформаційного фактору та необхідність захисту інформаційного середовища систем управління структур, що забезпечують безпеку та оборону держави.

У відповідності з системно-інтегрованим підходом до форм і методів ведення збройної боротьби на перший план виходить необхідність забезпечення

оперативно-технічних можливостей для організації взаємодії і спільного застосування різнорідних сил і засобів у спільних операціях (бойових діях).

В умовах високої ймовірності локальних (регіональних) збройних конфліктів технічно розвинені країни світу приділяють особливу увагу вдосконаленню систем зв'язку різних рівнів управління, як складової частини системи управління [10]. Аналіз ряду робіт [7, 8, 10, 56–79] показує, що системи зв'язку провідних країн світу на даний час побудовані за класичною трьохрівневою схемою на основі нових інформаційних технологій з інтеграцією послуг у цифрових мережах, які забезпечують передачу різних видів повідомлень із гарантованою якістю та достовірністю.

На рис. 1.1 наведено графічне представлення концепції організації зв'язку у Збройних Силах провідних країн світу.

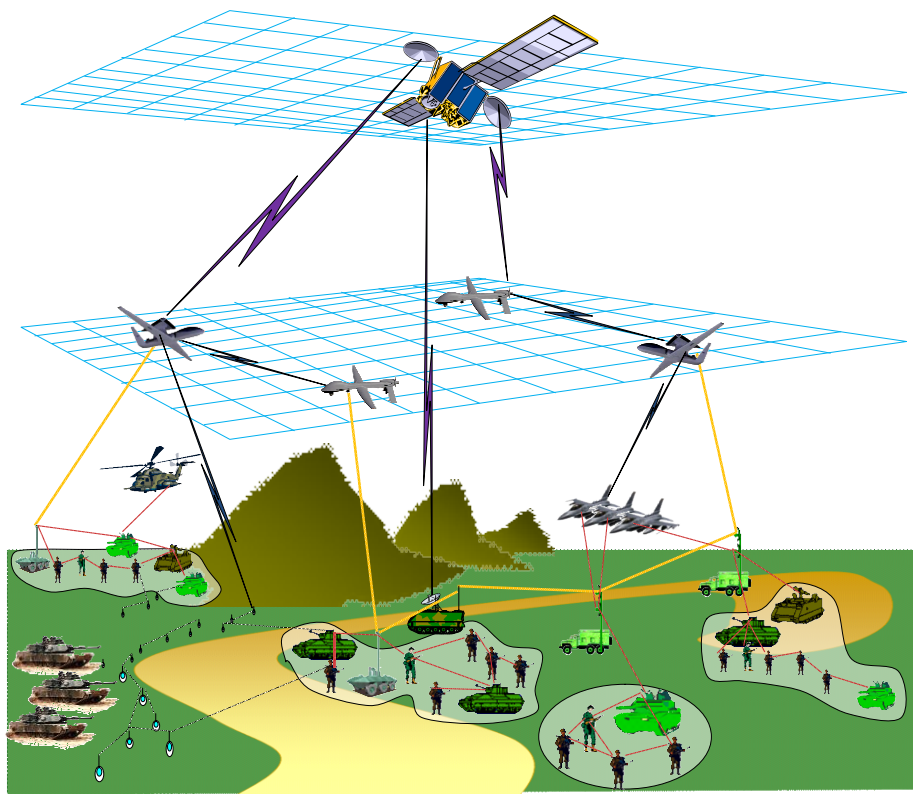


Рис. 1.1. Графічне представлення концепції побудови глобальної інтегрованої системи зв'язку та передачі даних

Враховуючи зростаючі потреби в пропускній спроможності каналів зв'язку для перспективних формувань [8, 16, 18], “безшовній” передачі усіх

видів інформації в реальному масштабі часу по одних і тих же широкосмугових каналах зв'язку, розробники систем зв'язку спеціального призначення провідних країн розглядають архітектуру перспективних систем зв'язку, що структурована не за належністю до тієї або іншої підсистеми (ланки управління, районної системи зв'язку загального користування, системи зв'язку поля бою, комплексній системі розподілу даних і т.п.), а за рівнями розгортання сил та засобів зв'язку: наземному, повітряному та космічному компонентах (рис. 1.1 та рис. 1.2). Розглянемо принципи побудови перспективних систем зв'язку на прикладі концептуальної схеми перспективної інтегрованої системи зв'язку та передачі даних (ІСЗ ПД) (рис. 1.1), та на узагальненій схемі організації зв'язку ЗС РФ (рис. 1.2).

Планується, що перший (наземний) рівень включатиме наземні тактичні мережі зв'язку, побудовані за принципом комп'ютерних мереж локального і регіонального масштабів, і глобальну високошвидкісну опорну мережу зв'язку на основі магістральних волоконно-оптичних, супутникових, радіорелейних і тропосферних ліній, а також мережі автоматизованого комутаційного устаткування нового покоління.

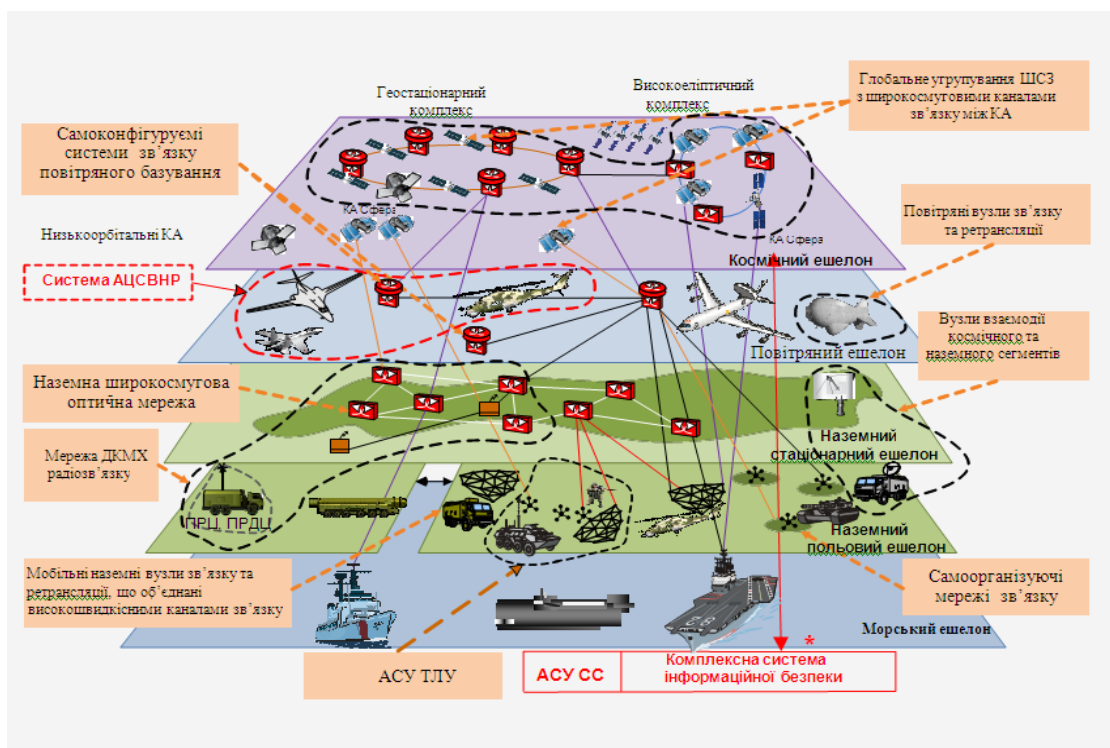


Рис. 1.2 Узагальнена схема організації зв'язку ЗС РФ

Другий рівень, побудований на повітряних платформах, включатиме багатоканальні засоби зв'язку та ретрансляції повітряного базування, передусім на безпілотних літальних апаратах, які застосовуватимуться в якості ретрансляторів для обміну інформацією між окремими тактичними мережами у віддалених один від одного районах ведення бойових дій або усередині одного району для зниження загального навантаження на мережі, що обслуговують занадто великий трафік.

Третій (космічний) рівень – це система зв'язку космічного базування, що включає штучні супутники Землі, які сполучаються між собою лініями міжсупутникового зв'язку, та розгалужену мережу наземних станцій. Його завданням є надання зв'язку абонентам об'єднаних оперативних формувань в глобальному масштабі.

В той же час основними технічними вимогами для наступного покоління систем зв'язку є:

- інтеграція всіх видів трафіка (мова, дані, відео та відеоконференція);
- повна мобільність всіх абонентів і елементів мережі;
- забезпечення заданої якості обслуговування користувачів (QoS) на значних географічних територіях в умовах застосування як звичайної, так і ядерної, біологічної та хімічної зброї;
- шифрування усіх видів інформації;
- мінімальна участь людини в питаннях планування та ведення зв'язку.

Таким чином, бурхливий розвиток інформаційних технологій зумовлює виникнення нових принципів воєнного мистецтва та принципів управління. Вдосконалення систем зв'язку і інформатизації різних ланок управління, як складової частини системи управління повинно бути спрямовано на забезпечення виконання вимог сучасного бою.

1.1.2 Сучасний стан та особливості функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення

Відповідно до Стратегії національної безпеки України, Стратегічного оборонного бюлетеня України та Стратегії воєнної безпеки України, Збройні Сили України (ЗС України) повинні бути спроможними в будь-якій ситуації захистити суверенітет, територіальну цілісність та недоторканність кордонів нашої держави [1–3, 48, 40, 56–79].

Досвід останніх воєнних конфліктів у світі та бойових дій складових сектору безпеки і оборони в операції Об'єднаних сил, антитерористичній операції на сході нашої держави та в ході відсічі повномасштабній збройній агресії російської федерації свідчить про суттєві зміни способів ведення сучасних бойових дій внаслідок удосконалення засобів розвідки та ураження, впровадження при управлінні ними новітніх інформаційних технологій [6, 7].

Основу перспективних систем зв'язку сектору безпеки і оборони складають вже існуючі стаціонарні опорні мережі зв'язку, підсилені за рахунок модернізації обладнання і будівництва нових напрямків зв'язку підвищеної живучості між опорними центрами комутації та вузлами зв'язку, а також розгортанням мобільних компонентів систем зв'язку.

СРЗ складових сектору безпеки і оборони України відведена особлива роль у функціонуванні систем зв'язку [6, 7, 8]. Враховуючи високу мобільність складових сектору безпеки і оборони України ЗРЗ в багатьох випадках є єдиним родом зв'язку, який дозволяє гарантовано здійснювати управління ними. Виходячи із цього, від якісного стану систем (засобів і комплексів) радіозв'язку складових сектору безпеки і оборони України значною мірою залежить ступінь виконання ними поставлених бойових (спеціальних) завдань.

Досвід протистояння збройній агресії рф на території України показав наступні недоліки існуючої СРЗ сектору безпеки і оборони України [6, 7, 58–79]:

ЗРЗ складових сектору безпеки і оборони України використовують обмежений частотний діапазон, що обумовлює проблему забезпечення

електромагнітної сумісності та захисту від навмисних перешкод;
відсутність механізмів захисту від кібер атак;
робота в умовах апріорної невизначеності про радіоелектронну обстановку угруповань військ (сил);
зашумленість інформації, що циркулює в них;
технологічна перевага засобів РЕП противника, що обумовлена широким спектром алгоритмів постановки перешкод з комбінуванням ефективних спектрально-енергетичних перешкод;
новітніми формами впливу на СРЗ сектору безпеки і оборони України та ін.

1.1.3 Сучасний стан і напрямки розвитку систем радіозв'язку спеціального призначення передових країн світу

Сьогодні в арміях практично всіх розвинутих країн світу відбуваються певні процеси трансформації, які пов'язані насамперед з розробкою та введенням в експлуатацію нових бойових систем та їх систем управління. Лідерами у цьому напрямку є збройні сили США, Великої Британії, Франції, Швеції, у яких розробляються наступні програми [16].

Програма FCS (BCT) – Future Combat Systems (Brigade Combat Team) – програма “Бойові системи майбутнього” (бригадної бойової групи). Діє у Сухопутних військах ЗС США з 2010 року.

У середині 2015 р. міністерство оборони Великої Британії оголосило про реалізацію програми FRES (Future Rapid Effects Systems – Майбутня система швидкого впливу), що передбачає придбання 3500 – 3775 бойових броньованих машин (ББМ) середньої ваги до 2030 р. Всі машини будуть мати можливість входу у єдине інформаційне середовище “бойового простору”.

З метою реалізації програми майбутньої бойової системи ВОА (Bulle Operationnelle Aeroterrestre – Повітряно-наземне бойове об'єднання) Франція попередньо визначила майбутнє своєї “Армії 2025”. Управління DGA

(Delegation Generale Pour L'Armement) Міністерства оборони Франції підписало контракт із фірмою Thales на розробку концепції і демонстрацію бойової системи ВОА. Усі елементи цієї системи будуть підключені в єдину інформаційну мережу.

Інтегруючою складовою усіх перелічених систем є розгалужена інформаційна мережа, яка дозволяє кожному елементу безперешкодно взаємодіяти зі всіма типами наземних та повітряних систем, основу якої складають саме ЗРЗ.

В рамках зазначених програм передбачено створення та впровадження: сенсорів, безпілотних літальних апаратів, роботів та бойових машин різного призначення, що підключені до єдиної інформаційної мережі.

Аналіз програм розвитку систем озброєння збройних сил передових країн світу та їх систем управління дозволяє визначити такі основні тенденції:

1. Обов'язкове оснащення систем озброєння різного призначення потужними бортовими обчислювальними та телекомунікаційними системами з метою створення інформаційної моделі обстановки, автоматизованого (автоматичного) наведення та управління зброєю в режимі реального часу.

2. Створення бойових платформ різного призначення за функціональним принципом на основі сумісності інформаційно-управляючих систем зразків озброєння для виконання задач, що виникають у виконання завдань за призначенням.

3. Інтеграція окремих інформаційних ресурсів інформаційно-управляючих систем зразків озброєння в інформаційний ресурс загальної інформаційно-управляючої системи озброєнням в районі конфлікту з метою синергетичного об'єднання можливостей різнорідних засобів для виконання широкого кола завдань у бою та операції [18].

Радіозв'язок є однією зі складових частин концепції США і країн НАТО під умовною позначкою C⁴I² (Command – командування, Control – управління, Communication – зв'язок, Computer – комп'ютер, Intelligence – розвідка, Information – інформація) [18, 24 28, 31, 56– 79], що дозволяє пов'язати процеси

збору, обробки, передачі, відображення і використання інформації для підготовки та ведення операцій (бойових дій) з максимальною ефективністю.

Основні напрямки розвитку СРЗ технічно розвинутих країн світу передбачаються наступне:

1. Системи (мережі, канали) радіозв'язку спеціального призначення:

поєднання прямих і комутованих ліній радіозв'язку малої і середньої дальності, що дозволяють здійснювати передачу інформації в обхід вузлів, що вийшли з ладу та радіоліній із-за дії засобів ураження та РЕП;

комплексного використання радіоспектру в КХ та УКХ діапазонах, що дозволяє організовувати радіозв'язок з використанням різних механізмів поширення радіохвиль.

Досягнення завадостійкості, завадозахищеності та пропускну здатності мереж і каналів спеціального призначення повинно здійснюватися на основі:

багатопараметричної адаптації при організації, веденні і відновленні радіозв'язку (по частоті, швидкості і режимам передачі, просторової орієнтації діаграм спрямованості антенно-фідерних пристроїв;

компенсації потужних природних завад і навмисних перешкод, а також заважаючого випромінювання власних радіопередавальних пристроїв;

пакування інформації і динамічної маршрутизації пакетів з урахуванням інформаційного навантаження і умов ведення зв'язку;

оптимального поєднання прямого виправлення помилок і процедури додаткового запиту ARQ (Automatic Repetition Query) при передачі із застосуванням ефективних способів кодування;

контролю зв'язності радіомереж і якості радіоліній на основі когнітивного радіо (використання зондуючих і тестових сигналів, прогнозування умов поширення радіохвиль, зайнятості радіочастотного діапазону і оцінки сигнально-завадової обстановки);

використання цифрових методів формування і обробки перспективних видів оптимальних сигнально-кодових конструкцій, що забезпечують

високошвидкісну передачу даних, при цьому не погіршуючи параметри завадостійкості;

функціональній незалежності СРЗ від систем зовнішньої синхронізації (навігаційні системи) для забезпечення автономного функціонування в умовах ураження вказаних систем із застосуванням ефективних алгоритмів входження в зв'язок і підтримки синхронізму на основі високостабільних генераторів.

Моделювання процесу функціонування мереж і каналів радіозв'язку спеціального призначення, обґрунтування принципів побудови і розробка способів їх реалізації включає:

опис і типові схеми організації мереж, склад комплексів ЗРЗ вузлів різних рангів;

питання забезпечення комплексної інформаційної безпеки і захисту СРЗ від технічних засобів розвідки;

порівняльну оцінку ефективності схем (варіантів) організації радіозв'язку;

оцінку ймовірно-часових характеристик доведення інформації в мережах і каналах радіозв'язку в умовах дії дестабілізуючих факторів.

2. Вузли та центри радіозв'язку спеціального призначення:

модульна побудова уніфікованих радіоцентрів різних рівнів, що забезпечують нарощування функціональних можливостей шляхом розмноження типових модулів;

групове використання ЗРЗ замість існуючого їх закріплення за радіонапрямами;

цифрові способи автоматичного формування і реконфігурації топології радіомереж;

сполучення рознесених елементів розподілених радіоцентрів на основі стандартних інтерфейсів і сучасних телекомунікаційних технологій;

забезпечення переходу від взаємодії по різнорідних стиках (як для ліній передачі даних, так і для ліній управління) до уніфікованого рішення, що дозволить істотно спростити завдання сполучення технічних засобів і

перенести його з області програмно-апаратних рішень в область програмних завдань, одночасно підвищивши її гнучкість і масштабованість.

3. Комплекси і ЗРЗ спеціального призначення:

створення приймальних, передавальних, антено-апаратних комплексів і комплексів радіочастотного забезпечення;

побудова комплексів і ЗРЗ на основі концепції SDR (Software-defined radio) і SCR (Software Cognitive Radio), що дозволяє в межах життєвого циклу апаратної бази розвивати функціональність пристроїв і ефективно використати радіочастотний спектр на основі вдосконалення програмного забезпечення, що забезпечує різні, у тому числі нові алгоритми;

створення комплексів і ЗРЗ, що забезпечують на програмно-апаратній платформі виконання СРЗ функцій фізичного, каналного і мережевого рівнів, а при управлінні функціонуванням мережі – також транспортного, сеансового представницького і прикладного рівнів.

4. Антено-апаратні комплекси СРЗ спеціального призначення.

Розробка антено-апаратних комплексів що забезпечують можливість завадостійкого прийому інформації одночасно на декількох ділянках частот робочого діапазону від заданої кількості територіально рознесених кореспондентів на основі формування керованих просторових діаграм спрямованості спеціальної форми, реалізації необхідних значень чутливості по електромагнітному полю, живучості і надійності в умовах дії різного роду дестабілізують чинників.

5. Програмно-апаратні комплекси радіопрогнозування і планування використання радіочастотного ресурсу:

створення автоматизованих мереж інтелектуального радіопрогнозування;

розробка моделей розрахунку характеристик поширення радіохвиль в КХ діапазоні, у тому числі з використанням результатів зондування іоносфери;

створення динамічних моделей дії природних завад і навмисних перешкод;

оцінка статистичних параметрів рівнів перешкод в реальному масштабі часу;

забезпечення завчасної і оперативної оцінки характеристик поширення радіохвиль і заводової обстановки;

забезпечення постійного і безперервного контролю заводової обстановки за декількома списками (банками) частот;

видача в реальному масштабі часу рекомендацій по вибору робочих частот по декільком критеріям;

розробка моделей оцінки стійкості функціонування каналів радіозв'язку, характеристик поширення радіохвиль і перешкод в різних ділянок діапазонів хвиль;

проведення розрахункової оцінки стійкості ЗРЗ, антено-фідерних пристроїв і обладнання захисту при дії напруги, струмів і енергій, що наводяться в антенних пристроях і трактах фідерів електромагнітного випромінювання природного і штучного походження та ін.

Таким чином, на основі аналізу існуючих і перспективних систем зв'язку найбільш розвинених країн світу та досліджень проведених в частині СРЗ можна сформулювати такі висновки.

1. СРЗ та ЗРЗ відведена одна з основних ролей у функціонуванні систем зв'язку сектору безпеки і оборони України на різних рівнях управління.

2. ЗРЗ, що перебувають на озброєнні сектору безпеки і оборони України не в повній мірі відповідають сучасним вимогам до системи зв'язку в частині заводозахисту в складній радіоелектронній обстановці. Зазначене обумовлює необхідність пошуку шляхів підвищення ефективності СРЗ сектору безпеки і оборони України за допомогою вдосконалення існуючої та доповнення її новими елементами, побудованими на основі нових принципів організації зв'язку.

3. Основними напрямками розвитку СРЗ передових країн є розробка та впровадження програмованих ЗРЗ з використанням заводо захищених режимів роботи, комерційних технологій, які добре зарекомендували себе в

телекомунікаційних мережах загального призначення, алгоритмів інтелектуального управління, спрямованих на боротьбу з постановкою навмисних перешкод і іншими дестабілізуючими впливами на СРЗ тощо.

1.2 Аналіз основних факторів, що впливають на ефективність функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення

1.2.1 Можливості засобів радіоелектронного придушення армій передових країн світу

Більшість експертів сходяться до того, що застосування зразків озброєння та військової техніки суттєво впливає на військову стратегію, і заявляють, що надмірна опора на високі технології може призвести до нової вразливості, якою скористаються противники.

Разом з тим, мають місце проблемні питання стосовно [56–79]:

сумісності інформаційних систем об'єднаних військ;

наявності достатньої пропускну здатності каналів зв'язку і обчислювальних ресурсів для створення адекватної інформаційної моделі радіоелектронного конфлікту;

можливості оперування великими обсягами інформації в ході ведення мережецентричної війни.

Основна парадигма ведення війн в найближчих десятиліттях буде заснована на концепції управління бойовими діями за мережецентричним принципом на основі об'єднання засобів функціонально взаємопов'язаних підсистем: інформаційної, сенсорно-розвідувальної та бойової на основі єдиного мережецентричного середовища.

При цьому основними характерними рисами системи ведення збройної боротьби при реалізації мережецентричного принципу управління будуть наступні [56–79]:

засоби збройної боротьби є інформаційно насиченими і містять в своєму складі елементи мережевої інформаційної інфраструктури;

скорочуються тривалість циклу прийняття рішень, виникає необхідність врахування додаткових факторів в процесі управління, що вимагає збільшення пропускної здатності інформаційної підсистеми;

прийняття управлінських рішень з урахуванням автоматизованих систем управління, заснованих на інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень (ІСППР);

апаратно-програмні засоби, що забезпечують взаємодію всередині телекомунікаційних мереж, формують складну мережеву глобальну інформаційну інфраструктуру;

елементи мережевої інфраструктури (засоби збройної боротьби, забезпечення, управління і комунікації) за своєю суттю є інформаційно-обчислювальними системами різного рівня складності і організації.

У той же час мережецентрична система управління буде вразлива за наступними напрямками [58–79]:

руйнування інформаційних потоків, що циркулюють між елементами системи;

зниження швидкості інформаційного обміну між елементами системи, що дозволить різко збільшити тривалість циклу “виявлення-ідентифікації-цілевказання-ураження” і звести до мінімуму ефективність мережецентричного принципу управління;

забезпечення достатньо масованого і довготривалого виведення з ладу мережеутворюючих засобів.

Разом з тим проведений аналіз використання існуючої “традиційної” тактики придушення і застосування комплексів і засобів РЕП показав, що вони недостатньо ефективні при використанні противником мережецентричного принципу управління.

В ієрархічній системі управління при впливі засобами РЕП на будь-якому рівні ієрархічної системи управління, відбувається блокування проходження інформації до елемента системи, який придушується і, як наслідок, невиконання ним бойового завдання [7].

Таким чином, форми і способи застосування комплексів і засобів РЕП, розроблені до появи концепції мережецентричного управління, будуть неефективні проти збройних формувань, що управляються через єдине мережецентричне середовище. У подібній системі повністю перекрити канали інформаційного забезпечення та управління практично неможливо.

Для порушення роботи такої системи необхідно виключити всі канали управління і передачі інформації або вивести з ладу всі технічні або бойові засоби. Фактично ефект може бути досягнутий, якщо в системі блокується значний сегмент або виключається передача інформації по будь-яких каналах в певному районі або зоні. Вирішення такого завдання вимагає розробки нових комплексів і засобів РЕП і, відповідно, нових форм і способів їх застосування [7, 58–79].

Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити наступні висновки [7, 58–79]:

існуючий підхід щодо оцінки впливу засобів РЕП на окремі елементи системи зв'язку як основи мережецентричного середовища є неефективним;

впливаючи на інформаційну інфраструктуру мережецентричного середовища, технічну основу якого складають системи зв'язку, можна досягти значного ефекту дестабілізації даної системи.

Вплив територіально розподіленого різнорідного угруповання засобів РЕП дозволить реалізувати наступні з основних напрямків протидії мережецентричним системам, що сформульовані раніше [7, 58–79]:

руйнування інформаційних потоків, що передаються в мережецентричному середовищі;

зниження швидкості інформаційного обміну між елементами мережецентричних систем;

забезпечення достатньо масованого і довготривалого виведення з ладу мережеутворюючих засобів.

Виходячи з наведених вище аргументів, представляється можливим сформулювати ряд підходів до оцінки реалізації деструктивного впливу на СРЗ, що утворюють мережецентричної системи управління.

До останнього часу основна частина робіт з РЕП була присвячена вирішенню завдань придушення окремих ліній радіозв'язку, тобто придушення на фізичному рівні моделі взаємодії відкритих систем OSI (Open Systems Interconnection).

Є окремі дослідження, присвячені придушенню СРЗ з урахуванням їх структури, логіки функціонування і цінності переданої інформації. Разом з тим, аналізуючи можливості використання “традиційних” засобів РЕП, можна прийти до висновку, що їх вплив можливий і на інші об'єкти транспортної підсистеми моделі OSI (фізичний, каналний, мережевий і транспортний рівні).

Об'єктами РЕП на фізичному рівні традиційно є радіоелектронні засоби та канали зв'язку. На каналному рівні до таких об'єктів належать канали множинного доступу, призначені для утворення окремих СРЗ.

До об'єктів РЕП на мережевому рівні моделі OSI відносяться вузли, транспортні канали об'єднаної СРЗ, а також протоколи маршрутизації і сигналізації, що забезпечують їх функціонування.

На транспортному рівні до об'єктів впливу слід віднести протоколи і апаратно-програмні засоби забезпечення якості обслуговування інформаційних потоків, що передаються по об'єднаній мережі зв'язку.

При цьому дані впливи дозволяють організувати нові перешкоди на фізичному рівні, які, з одного боку, не визначаються існуючими засобами завадозахисту, а з іншого – орієнтовані на зниження ефективності функціонування протоколів мережевого і транспортного рівня, через те, що викликають ряд негативних ефектів на цих рівнях [7, 58–79].

Розглянемо деякі з перспективних напрямків розробки засобів РЕП, орієнтованих на придушення об'єднаних мереж зв'язку за рахунок врахування особливостей функціонування протоколів на каналному, мережевому та транспортному рівнях моделі OSI.

Основною особливістю розглянутих впливів є облік динаміки впливу перешкод, що дозволяє розглянути динамічні нестационарні і перехідні режими в об'єктах придушення, а також функціональні залежності між протоколами на різних рівнях моделі OSI.

При цьому безпосереднім об'єктом впливу будуть окремі лінії радіозв'язку і радіомережі, що функціонують у складі об'єднаних мереж зв'язку. Таким чином, перспективні способи придушення об'єднаних мереж зв'язку будуть використовувати ефекти деструктивного впливу засобів РЕП на фізичному рівні як основу для формування ефектів дестабілізації на вищих рівнях моделі OSI – каналному, мережевому та транспортному [10].

Розглянемо основні види впливів, що можуть бути застосовані в мережецентричній системі управління:

1. Засоби РЕП, орієнтовані на придушення окремих мереж множинного доступу.

Дослідження можливостей РЕП з придушення протоколів зв'язку на каналному рівні, представлені в роботах [7, 58–79], показали, що пакетним радіомережам, які використовують для передачі пакетів у загальний канал з випадковим множинним випадковим доступом властива нестабільність функціонування.

Даний спосіб РЕП, орієнтований на каналний рівень OSI, може бути здійснений “традиційними” засобами РЕП за рахунок введення режиму динамічних перешкод, часові параметри яких узгоджені з параметрами протоколу випадкового множинного доступу, що використовується в радіомережі.

Динамічна РЕП дозволяє здійснити переведення радіомережі в нестационарний режим роботи, збільшити тривалість і глибину перехідних процесів в них. Збільшення інтенсивності впливів дозволяє перевести радіомережі в їхній заблокований статус внаслідок зниження інтенсивності обслуговування ними вхідного потоку пакетів нижче критичних значень.

2. Засоби РЕП, орієнтовані на придушення об'єднаних територіально розподілених змішаних СРЗ.

Принцип дії перешкодами з динамічно змінюваними параметрами для варіювання пропускної здатності каналів в їх робочому діапазоні відношення сигнал/завада (щоб виключити спрацьовування засобів завадозахисту фізичного рівня) в подальшому розвивався для розробки засобів РЕП, орієнтованих на придушення об'єднаних мереж зв'язку за рахунок врахування особливостей функціонування їх протоколів на мережевому рівні моделі OSI.

Для врахування ефектів динамічного РЕП на мережевому рівні було запропоновано перерахунок якості обслуговування окремих мереж і каналів радіозв'язку в коефіцієнти метрики мережі, які використовуються відповідними протоколами при вирішенні задач сигналізації в мережі і маршрутизації в ній інформаційних потоків. Періодична зміна відношення сигнал/завада в каналі (як в сторону збільшення, так і в бік зниження) призводить до видачі повідомлень про зміну метрики каналу, які, в свою чергу, ведуть до зупинки процесу передачі і перерахунку топології мережі. Інтенсивність даних повідомлень прямо пропорційна періодичності і глибині зміни відношення сигнал/завада, а час між окремими повідомленнями в загальному випадку може бути апроксимований експоненціальним розподілом.

Вищевказані перспективні напрямки розробки засобів РЕП, орієнтованих на мережевий рівень моделі OSI, можуть бути реалізовані територіально-розподіленими "традиційними" комплексами РЕП за рахунок введення режиму динамічних перешкод, часові параметри яких узгоджені з параметрами протоколу маршрутизації використовуваних у СРЗ, що придушується.

3. Засоби РЕП, орієнтовані на порушення функціонування протоколів забезпечення якості обслуговування в об'єднаних мережах зв'язку.

Перспективним напрямком розробки засобів РЕП, орієнтованих на придушення об'єднаних мереж на транспортному рівні моделі OSI, є розробка впливів, орієнтованих на формування трафіку і порушення функціонування протоколів забезпечення якості обслуговування.

Так, перспективними підходами з РЕП є впливи, орієнтовані на формування в каналі зв'язку потоку пакетів складної структури з коефіцієнтом варіації більше одиниці і суттєво відрізняється від найпростішого.

Варіант такого РЕП представлений в роботі [76] і заснований на впровадженні додаткового імітаційного трафіку, що дозволяє сформувати вихідний потік пакетів з каналу зв'язку зі структурою, що істотно відрізняється від найпростішого (коефіцієнт варіації більше одиниці). Відмінною особливістю цього РЕП є потреба в запровадженні додаткових пакетів, які є копіями раніше переданих пакетів, що в ряді випадків може привести до “руйнування” інформаційного потоку. Результати зазначених функціонування даного типу засобів РЕП, орієнтованих на формування переданого в мережі трафіку складної структури, критичного до затримок, показала, що стійкість мережі знижується за рахунок зниження своєчасності обслуговування трафіку в її вузлах і фактичного блокування вузлів, що передають складний трафік. Зазначений підхід з РЕП являють собою варіант складної DoS-атаки.

Крім того, ефект впливу проявляється в тому, що сформовані інформаційні потоки передаються далі по мережі, знижуючи своєчасність обробки і в інших вузлах. Таким чином, дані підходи з РЕП здатні адресно придушувати окремі інформаційні напрямки зв'язку. При цьому рівень зниження стійкості мережі при таких впливах пропорційний кількості модифікованих інформаційних потоків, їх швидкості, а також середній довжині напрямку зв'язку.

Таким чином, одним з перспективних способів протидії мережецентричній інтегрованій командній структурі є застосування способів РЕП, орієнтованих на синтаксичний шар мережецентричного середовища, що порушують властивість доступності інформаційних ресурсів цього середовища за рахунок впливу на підсистему зв'язку.

Перспективні способи РЕП, орієнтовані на придушення мереж, можуть використовувати ефекти деструктивного впливу на фізичному рівні як основу

для формування ефектів придушення на каналному, мережевому і транспортному рівнях моделі OSI.

В цілому, новизною цих способів РЕП є використання “традиційних перешкод” для породження і розвитку внутрішньосистемних конфліктів в системі зв’язку на верхніх рівнях її функціонування.

Зокрема, розглядаються перешкоди з динамічно змінюваними параметрами, які призводять до перехідних і нестационарних процесів на верхніх рівнях OSI.

Досягнутий новий ефект – придушення мережі зв’язку в цілому, в тому числі і провідного сегменту, за рахунок впливу через радіоканали, як своєрідні “точки входу”.

1.3 Аналіз наукових досягнень у предметній області

1.3.1 Аналіз методів підвищення ефективності функціонування систем радіозв’язку в умовах складної радіоелектронної обстановки

Одними з найважливіших вимог, що пред’являються до ЗРЗ і визначають їх ефективність, є завадозахищеність, пропускна спроможність і достовірність передачі повідомлень [1–4, 5, 7, 58–79].

Проведемо аналіз відомих підходів для вирішення зазначеного питання.

В роботі [80] визначена тенденція до створення об’єднаних платформ апаратних засобі радіочастотної та цифрової обробки сигналів для спільного вирішення комунікаційних і радіолокаційних завдань. Разом з тим, у зазначеній роботі не наведено конкретних механізмів управління параметрами мереж зв’язку стандарту GSM для моніторингу повітряного простору.

В роботі [81] проведено обґрунтування шляхів підвищення ефективності систем транкінгового зв’язку України. Разом з тим, зазначений тип ЗРЗ є нестійким до впливу засобів РЕП.

В роботі [82] проведено розробку шляхів підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу в когнітивних радіомережах. Разом з тим, в зазначеній роботі не розглядається вплив розташування засобів РЕП на

якість зв'язку в радіомережі.

В роботі [83] пропонується алгоритм вибору динамічного каналу, заснований на системі нечіткого висновку (FIS), здатний вибрати найбільш доступний канал з бажаною смугою пропускання, мінімально необхідним відношенням сигнал/шум та ймовірністю виявлення промаху. До недоліків запропонованого алгоритму відноситься не врахування впливу навмисних перешкод засобами РЕП.

В роботі [84] проведено розробку контролера доступу до радіоресурсу на основі ковзаючого вікна. Разом з тим, зазначений контролер не дозволяє враховувати дестабілізуючі фактори, що присутні в каналах радіозв'язку, такі як навмисні перешкоди та завмирання.

В роботі [85] запропоновано методику моніторингу радіочастотного спектру та архітектури мережі, для регулювання розподілу спектру та управління використанням спектру частот радіозв'язку. Разом з тим, запропонований підхід не дозволяє виробляти заходи, що спрямовані на підвищення завадозахищеності ЗРЗ спеціального призначення.

В роботі [86] запропонований алгоритм управління параметрами когнітивних радіомереж, а саме: оптимальної потужності, оптимальної швидкості та оптимального обсягу інформації. Зазначене управління засноване на генетичному алгоритмі. Разом з тим, запропонований алгоритм враховує тільки взаємні завади, що спричинені взаємним впливом користувачів один на одного.

В роботі [87] запропонований метод визначення розташування ЗРЗ в залежності від ефективності РЕП. Запропонований метод дозволяє підвищити ефективність ведення радіозв'язку, проте підвищення ефективності ведення радіозв'язку обмежено лише визначенням оптимального місцезнаходження засобів радіозв'язку.

В роботі [88] запропоновано використовувати алгоритми кластеризації для управління радіоресурсом ЗРЗ. Запропонований алгоритм базується на розподілі радіочастот між кластерами. Разом з тим, зазначений підхід не

дозволяє проводити адаптацію до впливу навмисних перешкод та реалізовувати інші механізми підвищення завадозахищеності.

В роботі [89] запропоновано використовувати штучний інтелект в задачах підвищення ефективності когнітивних радіомереж. Разом з тим, зазначене дослідження призначене лише для загального навчання (адаптації) когнітивних радіомереж без конкретизації чинників які впливають на її ефективність.

В роботі [90] запропоновані адаптивні алгоритми регулювання порогових значень параметрів СРЗ. Зазначене дослідження дозволяє виділити корисний сигнал на фоні шумів, адаптуватися до сигнальної обстановки. Разом з тим, зазначене дослідження не дозволяє в комплексі проводити управління параметрами СРЗ спеціального призначення.

Враховуючи те, що для управління фізичного, каналного та мережевого рівня моделі OSI потрібно проводити обробку різних за одиницями виміру та походженням вхідних даних, тому пропонується провести аналіз алгоритмів обробки різнотипних даних.

В роботі [91] проведено розробку узагальненої метрики в задачі аналізу багатовимірних даних з різнотипними ознаками. Сутність запропонованої метрики полягає в тому, що зазначена метрика дозволяє будувати алгоритми кластеризації, класифікації та асоціації, що засновані на ній, з використанням класичних методів обробки. Проте зазначена метрика не дозволяє ефективно функціонувати в умовах дефіциту обчислювальних ресурсів.

В роботі [92] розглянуто проблему обробки інформації від різнорідних технічних засобів моніторингу. Як можливий варіант вирішення проблеми запропоновано застосування узагальненої методики обробки інформації на основі методики кластеризації територіально суміщених інформаційних джерел моніторингу та використання фреймової моделі бази знань ідентифікації об'єктів моніторингу. Методику кластеризації сформовано на основі ієрархічної агломеративної процедури Ланса-Уільямса із застосуванням метрики Уорда. Фреймова модель бази знань побудована із використанням інструментальних засобів об'єктно-орієнтованого моделювання. До недоліків

запропонованої узагальненої методики відноситься не врахування відносної значущості подій, що виникають та нездатність працювати в умовах дефіциту обчислювальних ресурсів. Також до недоліків зазначеної методики слід віднести неможливість перерозподілу обчислювальних ресурсів між елементами для підвищення оперативності обробки інформації.

В роботах [36, 79–91] наведений підхід з обробки різнотипних даних про стан каналу зв'язку. Сутність запропонованого підходу полягає в оцінці стану каналу зв'язку та трьома різнорозмірними показниками. Зазначений підхід вимагає повної інформації про стан каналу та накопичує помилку оцінювання в ході роботи.

Проведений аналіз робіт [2, 58–101] дозволяє стверджувати про те, що існуючі наукові здобутки не дозволяють проводити наскрізне управління параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня СРЗ спеціального призначення, а лише проводять окремі управляючі впливи на окремо взятому рівні моделі взаємодії відкритих систем. Все це не дозволяє ефективно використовувати наявний радіоресурс СРЗ спеціального призначення та комплексно протидіяти дестабілізуючим факторам, що впливають на ефективність функціонування СРЗ спеціального призначення.

Управління радіоресурсом полягає в управлінні частотним, кодовим, часовим та енергетичним ресурсом між вузлами СРЗ спеціального призначення, а також визначення ступеню впливу РЕП противника.

Управління топологією полягає в оперативній реконфігурації топології СРЗ спеціального призначення та підключення резервних елементів (каналів, мобільних базових станцій та вузлів) в умовах ситуації що змінюється з метою задоволення підтримання заданої якості обслуговування.

Управління маршрутизацією полягає в побудові та підтримці маршрутів, передачі інформаційних потоків при заданій топології з метою задоволення показників якості обслуговування потоків.

Представимо зазначену функціональну структуру з позиції теорії графів у вигляді дерева. При цьому, кореню дерева поставимо в відповідність підсистему

управління другого рівня (I_2, U_2), а вершинами цього дерева, які знаходяться від кореня на відстані одного ребра – Q підсистему управління першого рівня $(I_{11}, U_{11}), \dots, (I_{1q}, U_{1q}), \dots, (I_{1Q}, U_{1Q})$. Кожна підсистема має у своєму складі блок контролю (ідентифікації) I та блок управління U . Введемо до розгляду Q підсистем нульового рівня, які знаходяться від кореня дерева на відстані двох ребер. Ці підсистеми представляють взаємодіючі між собою процеси обміну потоками оперативної та службової інформації в системи управління $P_1, \dots, P_q, \dots, P_Q$ [35].

Для q -ї підсистеми управління першого рівня (I_{1q}, U_{1q}) , $q = \overline{1, Q}$, введемо наступні позначення: $X_{1q}(k)$ – множина векторів, стан q -ї управляємої підмережі, де $x_{1q}(k) = \{x_{1q}^a(k)\}$, $a = \overline{1, a_{1q}}$, розмірність $a_{1q} \times 1$; $\tilde{X}_{1q}(k)$ – множина векторів оцінок $\tilde{x}_{1q}(k) = \{\tilde{x}_{1q}^a(k)\}$, $a = \overline{1, a_{1q}}$, розмірності $a_{1q} \times 1$; $U_{1q}(k)$ – множина векторів управління q -ї управляємої підмережі $u_{1q}(k) = \{u_{1q}^b(k)\}$, $b = \overline{1, b_{1q}}$, розмірністю $b_{1q} \times 1$; $Y_{1q}(k)$ – множина векторів локальних змінних, які видаються в підсистему управління верхнього рівня $y_{1q}(k) = \{y_{1q}^d(k)\}$, $d = \overline{1, d_{1q}}$, розмірністю $d_{1q} \times 1$; $Z_{1q}(k)$ – множина векторів локальних вихідних змінних $z_{1q}(k) = \{z_{1q}^d(k)\}$, $d = \overline{1, d_{1q}}$, розмірністю $d_{1q} \times 1$.

Для підсистеми управління другого рівня відповідно:

$\tilde{X}_2(k)$ – множина векторів узагальнених оцінок $\tilde{x}_2(k) = \{\tilde{x}_2^l(k)\}$, $l = \overline{1, l_r}$,

розмірності $l_r \times 1 = \left(\sum_{q=1}^Q a_{1q} \right) \times 1$;

$Y_{2q}(k)$ – множина векторів, які видаються в підсистему управління нижнього рівня $y_{2q}(k) = \{y_{2q}^d(k)\}$, $d = \overline{1, d_{2q}}$, розмірністю $d_{2q} \times 1$;

$Z_{2q}(k)$ – множина векторів, що координують вихідні змінні, що видаються в підсистему контролю нижнього рівня $z_{2q}(k) = \{z_{2q}^d(k)\}$, $d = \overline{1, d_{2q}}$, розмірності

$d_{2q} \times 1$.

У підсумку для q -ї підсистеми нульового рівня p_q , $q = \overline{1, Q}$, маємо:

$C_{qp}(k)$ – множина векторів зв'язків $c_{qp}(k) = \{c_{qp}^{mm}(k)\}$, $m = \overline{1, m_q}$, $n = \overline{1, n_q}$,

між p -ю та q -ю підсистемами ($p, q = \overline{1, Q}$, $p \neq q$);

$\Pi_q(k)$, – множина векторів зовнішніх впливів $\Pi_q(k) = \{\pi_q^l(k)\}$, $l = \overline{1, l_q}$, розмірністю $l_q \times 1$.

До множини векторів стану $X(k) = \bigcup_{q=1}^Q X_{1q}(k)$ можуть входити вектори

будь-яких змінних стану, що впливають на якість СРЗ та ефективність процесу функціонування СРЗ спеціального призначення. До основних з них можна віднести:

– вектор параметрів інформаційного навантаження СРЗ (характеризує кількість інформаційних повідомлень які необхідно передати за одиницю часу при заданій пропускній здатності):

$$\Lambda(k) = \left\| \Lambda_q(k), q = \overline{1, Q} \right\|^T. \quad (1.1)$$

– вектор затримок в передачі інформаційних повідомлень СРЗ (характеризується погіршенням пропускної здатності СРЗ спеціального призначення):

$$H(k) = \left\| H_q(k), q = \overline{1, Q} \right\|^T. \quad (1.2)$$

– вектор параметрів радіоелектронної обстановки СРЗ (кількість придушених робочих частот засобами РЕП, які не відповідають вимогам з пропускної спроможності):

$$\aleph(k) = \left\| \aleph_q(k), q = \overline{1, Q} \right\|^T. \quad (1.3)$$

– вектор частотних ресурсів мережі СРЗ (загальна кількість робочих частот систем радіозв’язку):

$$\mathfrak{Z}(k) = \left\| \mathfrak{Z}_q(k), q = \overline{1, Q} \right\|^T. \quad (1.4)$$

та ін.

У роботах [48, 49, 58–79] представлено розвиток моделі інформаційного конфлікту “класичного” РЕП і СРЗ в напрямку підвищення “багаторівневості” конфлікту та узгодження його з моделлю OSI. Дані роботи пропонують спільно з “класичним” інформаційним конфліктом із засобами РЕП врахувати нові способи впливу за рахунок декомпозиції інформаційного конфлікту системи зв’язку на окремі конфліктні ситуації на кожному з рівнів моделі OSI. Таким чином, запропонований роботах [48, 49, 58–79] новий концептуальний підхід до моделювання інформаційного конфлікту, з одного боку органічно розвиває існуючі роботи [1], [2], [7] в частині багаторівневого інформаційного конфлікту радіоелектронних систем, а з іншого – формалізує конфліктну взаємодію відповідно до рівнів еталонної моделі OSI. Дана концептуальна модель, є еталонною моделлю взаємодії конфліктуючих систем CSI (Conflict System Interconnection Reference Model) формалізує об’єкти і загальні підходи до опису локальних інформаційних конфліктів в системі зв’язку на кожному з рівнів моделі OSI.

Орієнтовний взаємозв’язок між параметрами та управляючими змінними за рівнями моделі взаємодії відкритих систем наведено в табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Орієнтовний взаємозв'язок між параметрами та управляючими змінними за рівнями моделі OSI

Рівень OSI	Об'єкти управління	Основні параметри оптимізації	Управляючий вплив вузла
Фізичний	Радіоканал в межах радіозв'язності з сусідніми вузлами	Пропускна здатність, час передачі в каналі, витрати енергії батарей, потужність передачі, діаграма спрямованості антен тощо	Потужність (спрямованість) передачі, вид модуляції, тип корегуючого коду, параметри тощо
Канальний	Радіоканали в межах радіозв'язності з сусідніми вузлами	Пропускна здатність та час передачі в каналі, витрати енергії батарей, обсяг службової інформації тощо	Алгоритми обміну канального рівня: детерміновані, випадкові, гібридні; розміри пакетів та квитанцій
Мережевий	Один або декілька маршрутів передачі	Обсяг службової інформації, параметри маршруту (час побудови та існування, кількість, пропускна здатність, час доставки, витрати енергії батарей тощо).	Алгоритми обміну мережевого рівня: табличні, зондові, гібридні, хвильові асиметричні, ієрархічні тощо. Алгоритми управління топологією
Транспортний	Інформаційний напрямок зв'язку	Пропускна здатність, час та варіація його передачі в напрямку	Алгоритми управління чергами. Розмір вікна перевантаження, час таймауту тощо
Прикладний	Вузол, вузли-сусіди, зона мережі, вся мережа	Пропускна здатність, час та варіація часу передачі, витрати енергії батарей, безпека передачі	Алгоритми (протоколи) інформаційного обміну прикладного рівня, координація та інтелектуалізація за рівнями OSI

З аналізу табл. 1.1 можна зробити висновок, для ефективного управління параметрами CPЗ спеціального призначення потрібно проводити управління на декількох рівнях моделі OSI.

Властивість засобів зв'язку змінювати свої основні технічні характеристики шляхом перепрограмування дозволяє проводити управління як

на фізичному, каналному так і мережевому рівнях моделі OSI.

Узагальнений вираз інформаційного конфлікту СРЗ з урахуванням виразів (1.1)– (1.4) представлений в виразі (1.5).

$$\forall t \in \{1, \dots, T, \dots\} S_t = \left\{ s_i^{(t)} F_i \left(\left(\varphi_{1,i} \left(s_i^{(t-1)} (X_i, \Pi_i, U_i, A_i, \Omega_i, Y_i, Q_i, N_i, M_i) \right) \right) \cdot \iota_i \right) \cdot \chi_i, i = \overline{1, 7}. \quad (1.5)$$

де S – багатовимірний часовий ряд; $S_t = (s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_N^{(t)})$ – часовий зріз стану СРЗ спеціального призначення представлений у вигляді багатовимірного часового ряду на t -й момент часу; $s_j^{(t)}$ – значення j -го компонента багатовимірного часового ряду на t -й момент часу; L_j^i – максимальне значення часової затримки i -го компоненту відносно j -го; φ_{ij} – оператор для врахування взаємовпливу між i -им та j -им компонентом багатовимірного часового ряду; F_i – перетворення для отримання $s_i^{(t)}$, $i=1, \dots, N$; N – число компонентів багатовимірного часового ряду; ι – оператор для врахування ступеню інформованості про засоби інформаційного впливу противника на СРЗ спеціального призначення; χ – оператор для врахування ступеню зашумленості даних СРЗ спеціального призначення.

З виразу (1.5) можна зробити висновок, що вираз дозволяє описати процеси в СРЗ спеціального призначення з урахуванням запізнень у часі. Затримки необхідні на збір, обробку та узагальнення інформації. Також у виразі (1.5) враховується ступінь інформованості про засоби інформаційного впливу противника та зашумленості даних, описуються процеси, що мають як кількісні так і якісні одиниці виміру.

Таким чином, на підставі аналізу особливостей застосування інтелектуальних методів у СРЗ при дії завад і РЕП можна зробити наступні висновки.

1. Основними методами підвищення ефективності функціонування СРЗ спеціального призначення в умовах активної радіоелектронної протидії, є

поєднання ефективних управляючих впливів на фізичному, каналному та мережевому рівні моделі OSI (інтелектуальне управління потужністю передавача, діаграмою спрямованості антен, видом модуляції, типом корегуючого коду, алгоритмом обміну каналного рівня, алгоритмами обміну мережевого рівня (маршрутизацією) та алгоритмами управління топологією СРЗ спеціального призначення.

2. Через економічні та частотно-ресурсні обмеження, реалізовані в СРЗ, засоби завадозахисту виявляються ефективними в обмеженому діапазоні можливих заводових ситуацій. Тому перспективним напрямком підвищення ефективності СРЗ є застосування всього комплексу методів забезпечення завадозахисту на принципах інтелектуального управління з використанням вище названих підходів в залежності від зміни сигнальної та заводової обстановки.

3. Для ефективного функціонування СРЗ необхідно комплексне координування частотних, енергетичних, часових і інформаційних ресурсів радіоканалів в рамках інтелектуального управління засобами завадозахисту з врахуванням характеристик комплексу зовнішніх умов їх реалізації.

1.4 Постановка наукової проблеми і завдань дослідження дисертаційної роботи

Необхідність забезпечення високої готовності сектору безпеки і оборони до виконання завдань за призначенням вимагає підвищення ефективності функціонування СРЗ. З огляду на сучасні наукові досягнення в області побудови СРЗ і досвід передових країн світу в умовах впливу завад і активного радіоелектронного придушення доцільним є застосування інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення в умовах активної радіоелектронної протидії та апіорної невизначеності щодо умов ведення зв'язку, сигнальної та заводової обстановки [1–10, 18, 48, 49, 58–101].

Науковою проблемою, що вирішується в роботі є розробка інтелектуальних методів управління засобами заводозахисту СРЗ в умовах дестабілізуючих впливів.

Проведений аналіз процесу функціонування СРЗ спеціального призначення при впливі навмисних перешкод та природніх завад показує, що метою дисертаційної роботи доцільно обрати підвищення заводозахищеності СРЗ в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів на основі інтелектуального управління їх засобами заводозахисту.

Напрямки вирішення проблеми дисертаційного дослідження подано на рис. 1.3. Рішення наукової проблеми доцільно реалізувати поетапно.

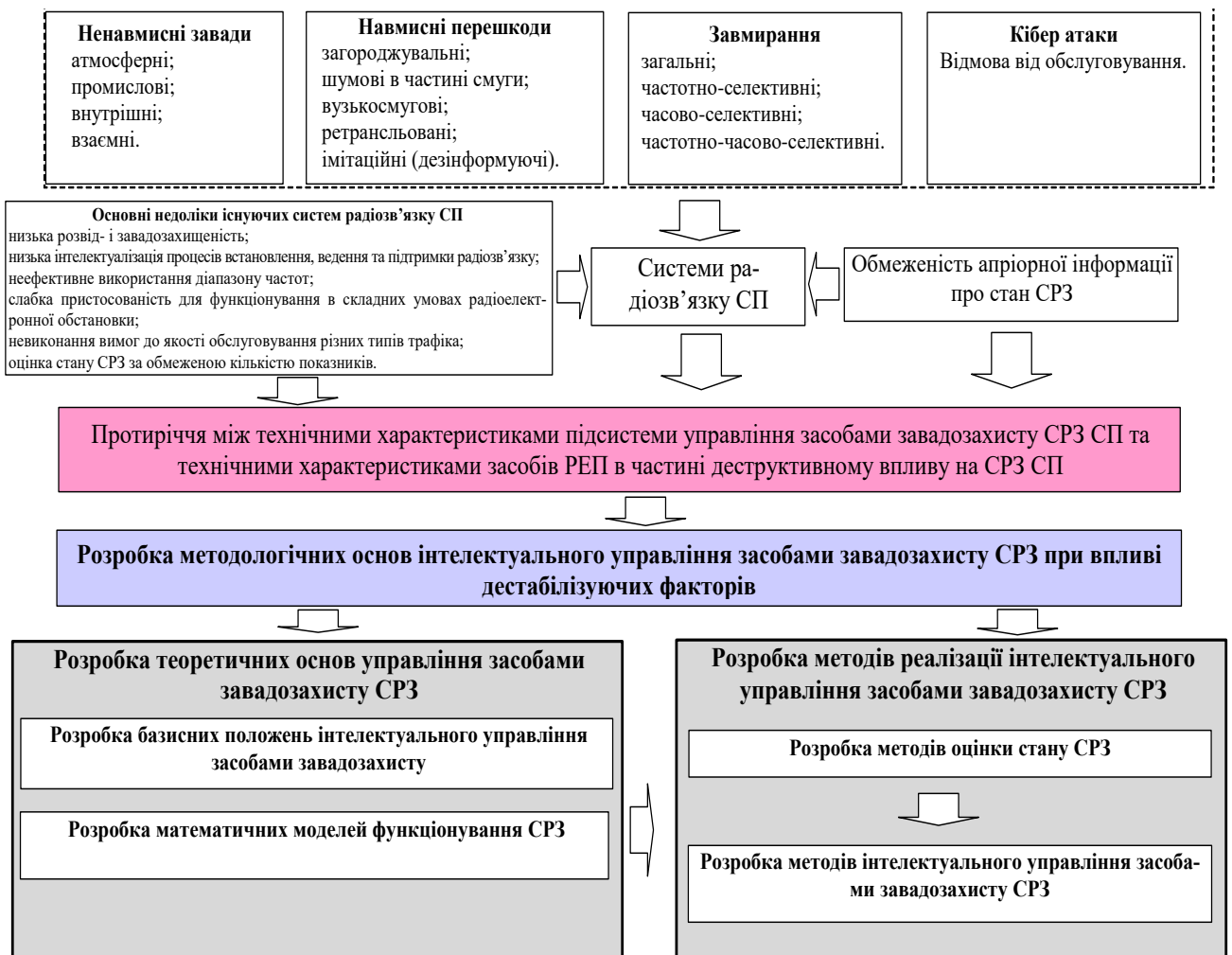


Рис. 1.3 Напрямки вирішення проблеми дисертаційного дослідження

На першому етапі необхідно формалізувати опис процесу функціонування СРЗ в умовах навмисних перешкод та природніх завад, визначити аналітичні вирази, які пов'язують характеристики ефективності функціонування СРЗ з параметрами навмисних перешкод. На основі отриманих результатів необхідно розробити математичні моделі функціонування СРЗ в умовах складної радіоелектронної обстановки. Дані дослідження доцільно проводити з використанням методів штучного інтелекту, а саме нечітких когнітивних моделей, нечітких множин, генетичного алгоритму та ін.

На другому етапі, на основі аналізу існуючих методів оцінки стану СРЗ, необхідно розробити методи оцінки стану СРЗ спеціального призначення при впливі навмисних перешкод та природніх завад. Дані дослідження доцільно проводити з використанням методів штучного інтелекту, а саме нечітких когнітивних моделей, нечітких множин, нейро-нечітких експертних систем, генетичного алгоритму та ін.

На третьому етапі, на основі розроблених математичних моделей функціонування СРЗ і методів оцінки стану СРЗ спеціального призначення, необхідно вирішити оптимізаційну задачу по визначенню раціональних значень параметрів СРЗ в умовах впливу навмисних перешкод та природніх завад і розробити методи управління їх параметрами в залежності від конкретної сигнальної і завадової обстановки.

Дане завдання доцільно вирішувати, використовуючи використанням методів штучного інтелекту, а саме нечітких когнітивних моделей, нечітких множин, генетичного алгоритму, алгоритму мурашиних колоній, теорії сигналів, теорії завадостійкого кодування та теорії потенційної завадостійкості. Формально завдання максимізації ефективності функціонування СРЗ може бути записана в наступному вигляді:

$$Q^*(U) = \arg \max_{Q(U) \in \Omega} \phi(u_1, u_2, \dots, u_n), \quad (1.6)$$

де u_1, u_2, \dots, u_n – параметри системи ЗРЗ (робоча частота, потужність сигналу, вид модуляції та розмірність ансамблю сигналів, вид і параметри коригувального коду, ширина спектра сигналу, тип та діаграма спрямованості антен, швидкість передачі інформації, довжина кадру (пакету), швидкість та режим роботи ЗРЗ, протокол множинного доступу до радіоканалу) при обмеженнях Ω , які накладаються на вибір управління.

Висновки до розділу 1

1. СРЗ відведена значима роль у функціонуванні систем зв'язку спеціального призначення в різних рівнях управління.

Аналіз сучасного стану СРЗ провідних країн світу та сектору безпеки і оборони України виявляє ряд існуючих недоліків:

низька розвід- і завадозахищеність, аналогові види модуляції, великі масогабаритні показники, відсутність автоматизації процесів встановлення зв'язку, низька уніфікація радіозасобів, неефективне використання наявного діапазону частот, низькі показники безперервності та мобільності, слабка пристосованість для роботи в складних умовах ведення зв'язку, сигнальної і завадової обстановки. Тому СРЗ сектору безпеки і оборони України не в повній мірі не відповідають сучасним вимогам до СРЗ в частині пропускної спроможності, стійкості та завадозахищеності в умовах активної радіоелектронної протидії і високоманеврених бойових дій.

2. Аналіз відомих методів підвищення ефективності функціонування СРЗ спеціального призначення в умовах деструктивного впливу показав, що вони не в повній мірі можуть усунути недоліки існуючих СРЗ. Існуючі методи управління засобами завадозахисту СРЗ орієнтовані на статичні або квазістатичні умови їх функціонування і не можуть бути застосовані в системі управління СРЗ внаслідок низької оперативності адаптації до зміни сигнальної і завадової обстановки в каналах зв'язку, реалізації тільки централізованого принципу управління і необхідності передачі значних об'ємів службової інформації. Підходи з інтелектуального управління засобами завадозахисту на даний час знаходяться тільки на стадії теоретичних розробок і тільки починають своє впровадження в апаратне та програмне забезпечення СРЗ спеціального призначення.

Таким чином, існує протиріччя між можливостями відомих методів інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ і сучасними вимогами до СРЗ спеціального призначення (по завадозахищеності, пропускній

спроможності, стійкості, живучості та ін). Відсутність методології, теоретичних положень і математичного забезпечення управління радіоресурсом СРЗ, які діють в умовах комплексного деструктивного впливу в значній мірі стримують створення сучасних ефективних СРЗ спеціального призначення.

3. Метою дисертаційної роботи є підвищення заводозахисності СРЗ в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів на основі інтелектуального управління їх засобами заводозахисту. Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно розв'язати наукову проблему, що полягає в розробці інтелектуальних методів управління засобами заводозахисту СРЗ в умовах дестабілізуючих впливів.

4. Проведено декомпозицію рішення даної проблеми на часткові завдання по розробці нових методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ, що забезпечують підвищення ефективності функціонування СРЗ спеціального призначення. Наступні розділи дисертації присвячені вирішенню таких завдань:

2-й розділ – розвитку теоретичних положень системного аналізу і синтезу для інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення;

3-й розділ – присвячений розробці методів оцінки стану СРЗ спеціального призначення;

4-й розділ – розробка методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ;

5-й розділ – оцінці ефективності запропонованих методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ спеціального призначення.

Основні наукові результати, отримані в даному розділі дисертаційних досліджень, опубліковані в роботах [1– 3, 5–8, 16, 19, 32, 36, 56–67].

Список використаних джерел до 1 розділу

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. – С. 1–6. DOI: 10.30534/ijatcse/2019/0181.22019.
5. Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems / O.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. – No. 1(109). – pp. 18–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225331.

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>.

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>.

13. I. Alieinykov, K. A. Thamer, Y. Zhuravskyi, 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>.

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>.

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>.

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>.

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>.

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., Kobylynskyi, 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>.

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>.

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>.

31. Романов О. М., Шишацький А. В., Налапко О. Л. Розробка методу підвищення оперативності передачі інформації в мережах спеціального призначення. *Modernny aspekty vědy: XXI. Dni mezinbrodny kolektivny monografie / Mezinbrodny Ekonomickэ Institut s.r.o.. Českэ republika: Mezinbrodny Ekonomickэ Institut s.r.o., 2022. С. 381–403.*

32. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Vakulenko, Y., Shyshatskiy, 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>.

33. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskiy, Pavel Shvets, Valentyna Tkachenko, Serhii Nevhad, Oleksandr Zhuk, Serhii Kravchenko, Bohdan Molodetskiy, & 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>.

34. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Shyshatskiy, A., Zhuk, O., Hurskiy, 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., Stadnijschuk 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>.

37. Fedoriienko, 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., Hohoniants, 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>.

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>.

40. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y., Luscschay, Y., Dovichopoliuk, 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>.

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. 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.

47. 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.

48. 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.

49. 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.

50. 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.

51. 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-Кушнаренко Л. В., Шишацький А. В. Зареєстрований 25.02.2020, бюл. № 4.

52. 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., Іжутова І. В., Процин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

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

54. 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.

55. 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.

56. 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.

57. 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.

58. 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.

59. 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.

60. 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.

61. 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.

62. Zhyvotovskiy R.M., Shyshatskiy 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.

63. 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.

64. 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.

65. 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>.

66. 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.

67. 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.

68. 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.

69. 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.

70. 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.

71. 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.

72. 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.

73. 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.

74. 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: I міжнар. наук.-практ. конф., 1 жо-вт. 2020 р: тези доповідей / Міністерство оборони України, НУОУ імені Івана Черняхівського. – К. : НУОУ, 2020. – С. 95.

75. 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.

76. Макаренко С.И., Иванов М.С. Сетецентрическая война – принципы,

технологии, примеры и перспективы. Монография. – СПб.: Научные технологии, 2018. – 898 с.

77. Макаренко С. И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века. Монография. – СПб.: Научные технологии, 2017. – 546 с.

78. Smith E. A. Effects Based Operations. Applying Network Centric Warfare in Peace, Crisis, and War). – Washington: CCRP, 2006. – 602 p.

79. Net-Centric Environment Joint Functional Concept. 2005. – URL: http://www.dtic.mil/futurejointwarfare/concepts/netcentric_jfc.pdf (дата звернення 22.01.2023).

80. Слюсар В. І., Зінченко А. О., Зінченко К. А. Система мобільного зв'язку стандарту GSM для потреб радіолокаційного контролю повітряного простору.// Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – № 2(23). – 2015. – С. 108 – 114.

81. Слюсарь І. І., Слюсар В. І., Смоляр В. Г., Омаров М. І., Хоменко Р. В. Шляхи удосконалення систем транкінгового зв'язку України. // Новітні інформаційні системи та технології. – Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2016. – Вип. 5. – С. 36 – 47.

82. Md. J., Piran, Quoc-Viet Pham, S. M. Riazul Islam, Sukhee Cho, Byungjun Bae, Doug Young Suh and Zhu Han. Multimedia communication over cognitive radio networks from QoS/QoE perspective: A comprehensive survey”. Journal of Network and Computer Applications. 2020, pp. 1–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102759>.

83. Khan, M. W., Zeeshan, M. QoS-based dynamic channel selection algorithm for cognitive radio based smart grid communication network. Ad Hoc Networks. 2019. Vol. 87, pp. 61–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.11.007>.

84. Majumder, T., Mishra, R. K., Singham S. S., Sahu, P. K. Robust congestion control in cognitive radio network using event-triggered sliding mode based on reaching laws. The Franklin Institute. pp. 1–24, DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2020.05.019>.

85. Lin, Y.-C., Shih, Z.-S. Design and simulation of a radio spectrum monitoring system with a software-defined network. *Computers and Electrical Engineering*, 2018. Vol. 68, pp. 271–285. doi:10.1016/j.compeleceng.2018.03.043.

86. Rharras, A. E., Saber, M., Chehri, A., Saadane, R., Hakem, N., Jeon, G. Optimization of Spectrum Utilization Parameters in Cognitive Radio Using Genetic Algorithm. *Procedia Computer Science*. 2020 Vol. 176, pp. 2466–2475. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.328>.

87. Tanergüçlü, T., Karaşan, O. E., Akgün, I., Karaşan, E. Radio communications interdiction problem under deterministic and probabilistic jamming. *Computers & Operations Research*. 2019. pp. 200–217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.03.013>.

88. Kumar, S., Singh, A. K. A localized algorithm for clustering in cognitive radio networks. 2018. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. pp. 1-11, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.04.004>.

89. Amandeep Kaur, Krishan Kumar. Intelligent spectrum management based on reinforcement learning schemes in cooperative cognitive radio networks. *Physical Communication*. 2020, Vol. 43, pp. 1–11, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101226>.

90. Onumanyi A. J., Abu-Mahfouz A. M., Hancke G. P. Amplitude quantization method for autonomous threshold estimation in self-reconfigurable cognitive radio systems. 2020. pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101256>.

91. Бодянский Е. В., Струков В.М., Узлов Д.Ю. Обобщенная метрика в задаче анализа многомерных данных с разнотипными признаками // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2017. № 3(52). С. 98–101.

92. Тимчук С. Методика комплексної обробки інформації від технічних засобів моніторингу. *Trajectoriâ Nauki. Path of Science*. 2017. Vol. 3. No 3. pp. 4.1–4.9. DOI: 10.22178/pos.20-4.

93. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Ходненко В. П. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов // Вопросы электромеханики. 2010. Т. 114. С. 15–26.

94. Троценко Р. В., Болотов М.В. Процесс извлечения данных из разнотипных источников. // Приволжский научный вестник. № 12–1 (40). 2014. С. 52–54.

95. Z. Lei, P. Yang, L. Zheng. Detection and Frequency Estimation of Frequency Hopping Spread Spectrum Signals Based on Channelized Modulated Wideband Converters. *Electronics*. 2018. Vol. 7(9), No. 170, pp. 1–18. DOI 10.3390/electronics7090170.

96. A. Kana, A. Z. Sha'ameri. A robust parameter estimation of FHSS signals using time-frequency analysis in a non-cooperative environment. *Physical Communication*. Vol. 26. 2018. pp 9–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2017.10.013>.

100. J. Jin, H. Xie, Hu, J., W.-Y. Yin. Characterization of anti-jamming effect on the Joint Tactical Information Distribution System (JTIDS) operating in complicated electromagnetic environment / International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Gothenburg, Sweden, September 1–4, 2014. pp. 997–1000. DOI: 10.1109/EMCEurope.2014.6931048.

101. F. Liu, M. W. Marcellin, N. A. Goodman, A. Bilgin “Compressive detection of frequency-hopping spread spectrum signals”. *Proceedings Vol. 8717, Compressive Sensing II, Event: SPIE Defense, Security, and Sensing*. 2013. Baltimore. Maryland. United States. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2015969>.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ЗАВАДОЗАХИСТУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В СКЛАДНІЙ РАДІОЕЛЕКТРОННІЙ ОБСТАНОВЦІ

2.1 Базові положення системного підходу до вирішення проблеми створення і інтелектуалізації систем радіозв'язку спеціального призначення

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.

2.1.1 Обґрунтування принципів побудови інтелектуальних систем управління системами радіозв'язку спеціального призначення

На сьогодні існує велика кількість праць вітчизняних та закордонних вчених щодо інтелектуалізації управління різними об'єктами та системами [1–24].

У загальному випадку інтелектуальною системою управління (ІСУ) називають кібернетичну систему, призначену для вирішення задач, точний алгоритмізований метод вирішення яких апіорі є невідомим [22–34]. При цьому під вирішенням завдань розуміється будь-яка діяльність, пов'язана зі

збором інформації про стан об'єкта управління та середовища, в якому він функціонує, розробкою планів і виконанням дій, необхідних для досягнення визначеної мети [1–34]. Головна відмінність ІСУ від інших кібернетичних систем, полягає в наявності характерних їм ознак:

1) наявність у ІСУ власних внутрішніх моделей об'єкту (об'єктів) управління та навколишнього середовища, що забезпечує здатність системи самостійно оцінювати вхідну інформацію;

2) еволюційність і адаптивність ІСУ – набуття знань системою здійснюється за допомогою навчання, заснованого на адаптації (приспосованні) її структури і параметрів у процесі еволюційного розвитку до умов зовнішнього середовища, що змінюються;

3) здатність ІСУ поповнювати наявні знання, засвоювати їх та навчатися на основі отриманої вхідної інформації про стан об'єктів управління та навколишнього середовища;

4) здатність ІСУ виділяти нові якісні характеристики об'єктів управління та навколишнього середовища;

5) здатність до дедуктивного виведення та генерації нового рішення, що у явному і готовому вигляді не міститься в самій системі;

6) здатність до прийняття рішень в умовах невизначеності (нечіткої, неточної та недостатньої вхідної інформації).

Як зазначалося в першому розділі дисертаційного дослідження, особливості побудови, функціонування і умов застосування СРЗ спеціального призначення потребують створення такої системи управління (СУ) ними, яка б характеризувалася високим ступенем адаптивності, надійності і якості функціонування в умовах невизначеності. Крім того, необхідність виконання вимог до якості передачі інформації в СРЗ та забезпечення множини функціональних можливостей СУ щодо формування доцільної поведінки і планування послідовності управлінських рішень з активною адаптацією до впливів зовнішнього середовища і варіаціях поточного стану ЗРЗ обумовлюють потребу в інтелектуалізації процесу управління СРЗ.

З огляду на особливості об'єкту та предмету даного дисертаційного дослідження, під *інтелектуалізацією* управління СРЗ будемо розуміти комплексне використання технологій обробки знань при функціонуванні методів та моделей управління на всіх етапах циклу управління СРЗ спеціального призначення, для забезпечення необхідної якості обслуговування трафіка шляхом формування множини управляючих впливів на ЗРЗ щодо активної адаптації їх параметрів до стану СРЗ.

Реалізація всіх етапів оперативного управління СРЗ з використанням методів (моделей) інтелектуального управління їх ресурсами, а також відповідних програмних та апаратних засобів, дозволить:

1) забезпечити збір і обробку необхідних (мінімальних) обсягів службової інформації про стан СРЗ (вузлів, радіоканалів, інформаційних напрямків, зон мережі) в умовах децентралізованого управління, відсутності виділеної мережі передачі службової інформації та неможливості збору в режимі реального часу повної інформації про параметри функціонування всієї СРЗ;

2) ідентифікувати стан СРЗ та здійснювати її прогнозування з урахуванням високої динаміки зміни топології СРЗ та інших параметрів її функціонування;

3) визначати вузлові та мережеві цільові функції управління щодо оптимізації процесу обслуговування трафіка з урахуванням вимог до його передачі, неповноти інформації про стан СРЗ та відсутності чітких моделей управління СРЗ на кожному з рівнів OSI;

4) визначати стратегії та способи досягнення цільових функцій, а також реалізувати заплановані послідовності управляючих дій шляхом інтеграції методів (моделей) управління вузловими та мережевими ресурсами на різних рівнях OSI;

5) координувати управлінські рішення, що приймаються ІСУ ЗРЗ (на маршруті передачі, інформаційному напрямку чи зоні радіомережі) в умовах децентралізованого управління СРЗ;

б) поповнювати бази знань систем управління новими правилами з використанням методів самонавчання.

Відповідно, під терміном *інтелектуальна система управління СРЗ* будемо розуміти множину, взаємодіючих у процесі передачі інформації, вузлових інтелектуальних СУ в основі яких знаходиться математичне (програмне) забезпечення, яке здатне реалізувати функції інтелектуального управління СРЗ, в умовах її параметричної та структурної невизначеності, шляхом збору і перетворення службової інформації про стан СРЗ у знання про цілі та параметри функціонування ЗРЗ для реалізації рішень щодо якісного обслуговування трафіка, а також забезпечити спроможність вузлових інтелектуальних СУ до навчання на власному досвіді (самонавчання).

Тобто, по відношенню до систем управління СРЗ поняття „інтелектуальність” полягає не лише в здатності даних систем вирішувати ті завдання, які не були передбачені в алгоритмах їх функціонування на етапі проектування, але й можливості адаптації цілей та параметрів функціонування елементів СРЗ до ситуації, що склалася в певний момент часу [1–42].

Концептуальна відмінність, яка відрізняє інтелектуальну систему управління СРЗ спеціального призначення від систем управління сучасними телекомунікаційними мережами, полягає в зміні технології прийняття управлінських рішень [1–42]. Основна ідея при цьому полягає в переході від строго формалізованих алгоритмів, які пропонують метод вирішення завдання, до синтезу правил поведінки ЗРЗ відповідно до вибраної системної цільової функції [43], а також передбачають засоби її формування та модифікації з урахуванням кількісних і якісних даних про стан СРЗ, а також цільових функцій кожного ЗРЗ.

Узагальнюючи зазначені вище особливості побудови ІСУ СРЗ, а також виходячи з особливостей функціонування ЗРЗ, визначимо основні принципи побудови ІСУ СРЗ:

1. *Принцип ситуаційного управління.* Задачі управління СРЗ можна віднести до принципово нового різновиду погано формалізованих задач,

пов'язаних з підтримкою необхідних режимів функціонування складних динамічних об'єктів в умовах невизначеності. Одним із підходів до вирішення такого різновиду задач є концепція ситуаційного управління [31, 44]. Виходячи із ключових положень цієї концепції кожному класу ситуацій, виникнення яких вважається допустимим в процесі функціонування СРЗ, ставиться у відповідність деяке управлінське рішення (вибір методу, алгоритму, процедури управління).

При цьому, ситуація в СРЗ визначається поточним станом як самої СРЗ (чи її елементів), так і зовнішнього середовища, та ідентифікується підсистемою контролю, збору, обробки і зберігання (ПКЗОЗ) інформації і може бути віднесена до деякого класу, для якого необхідне управління уже вважається відомим. Для оцінки ситуації ПКЗОЗ використовує як апіорну інформацію, що міститься в базі статистичних даних ІСУ, так і інформацію про поточний стан зовнішнього середовища та СРЗ, отриману з вимірювальних приладів.

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 дослідження, перспективна СРЗ складатиметься з СРЗ декількох рівнів [24]. 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 задач 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. Дослідження системи управління СРЗ є виключно складним завданням. Проте, об'єднання функцій у відносно незалежні групи дозволяє проводити декомпозицію інтелектуальної СУ СРЗ на підсистеми, що значно спростить завдання розробки математичного

забезпечення. Множину функцій, які повинна реалізувати ІСУ можна об'єднувати в наступні відносно незалежні групи [15, 25, 45]:

- 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). Так, відповідно до принципу ієрархічності, на нижньому рівні кожним ЗРЗ вирішуються завдання управління окремими радіолініями або напрямом радіозв'язку [25, 46]: вибір ЗРЗ, визначення оптимальних режимів їх роботи, утворення височастотних трактів; автоматичне входження в зв'язок, його ведення і відновлення; оперативний контроль процесів передачі інформації по радіоканалах. Разом з тим, кожен ЗРЗ прийматиме участь у вирішенні задач вищих рівнів ієрархії: маршрутизація повідомлень і управління потоками даних, які припускають обмін службовою інформацією між елементами СРЗ і побудову узгоджених маршрутних таблиць.

Тобто, управління в СРЗ засноване на тому, що кожна з підсистем вирішує деяке своє часткове завдання в умовах відносної самостійності. Рішення, що виробляються всіма підсистемами будь-якого рівня ієрархії, координуються підсистемою вищестоящего рівня, якій вони підпорядковані.

7. Принцип оптимальності управління. Як і в будь-якій системі управління, якість управління СРЗ залежить від обґрунтованості і своєчасності

керуючих впливів. У зв'язку з цим, під час збору інформації про стан ЗРЗ та СРЗ в цілому необхідно вирішити протиріччя між повнотою службової інформації та своєчасністю вироблення керуючих впливів на її основі [28].

З одного боку для прийняття обґрунтованих управлінських рішень вузлова ІСУ потребуватиме оптимального обсягу службової (управляючої та вимірювальної) інформації, що відображає поточний стан СРЗ. Однак, отримання повної інформації про стан СРЗ також пов'язане зі значними затратами мережевих ресурсів. Тоді першу умову оптимального управління представимо наступним чином:

$$w_0^i = \min_i \{w_1(i) + w_2(i)\}, \quad t = \text{const},$$

де w_1 – витрати на одержання інформації про стан СРЗ, w_2 – витрати від необґрунтованості прийнятих рішень, i – кількість інформації.

З іншого боку збір службової інформації про стан СРЗ пов'язаний із затратами часу, що обов'язково потрібно врахувати під час проектування вузлових ІСУ, з огляду на динамічну природу функціонування СРЗ. Тому другою умовою оптимальності управління є своєчасність керуючих впливів, тобто мінімізація втрат за рахунок неоптимальності функції часу:

$$w_0^t = \min_t \{w_3(t) + w_4(t)\}, \quad i = \text{const},$$

де w_3 – відображає вигляд залежностей витрат в ефективності управління від часу реалізації керуючих впливів; w_4 – залежності витрат на збір і обробку інформації стану.

Як зазначалося вище, при управлінні СРЗ повинні враховуватися обидві ці умови, тобто:

$$w^{opt} = \min_{i,t} (w_0^i + w_0^t).$$

Вирішення цього завдання зазвичай забезпечується компромісом між оперативністю та обґрунтованістю керуючих впливів, що є одним з найбільш складних завдань, які підлягають вирішенню при побудові ІСУ СРЗ.

8. *Принцип автоматизації процесів управління.* Оперативна обстановка, що динамічно змінюється, накладає жорсткі обмеження на час ухвалення рішень посадовими особами щодо управління підрозділами сектору безпеки і оборони України. 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. Це стосується як автоматизації процесів з'єднання вузлів у СРЗ та підтримання зв'язку між ними, так і автоматизації процесів передачі окремих видів повідомлень (термінові формалізовані повідомлення, дані системи GPS, тощо) та оперативного 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. Для обґрунтування даного принципу скористаємося основними положеннями статистичної теорії інформації, створеної К. Шенноном і У. Уівером, з метою оцінки кількості службової інформації, яка необхідна для прийняття рішень вузловими ІСУ на кожному з рівнів моделі OSI з урахуванням динамічної та непередбачуваної природи функціонування СРЗ.

З урахуванням зазначеного вище принципу ієрархічності ІСУ, в залежності від рівнів ієрархії в якості одержувачів службової інформації

можуть виступати як функціональні підсистеми окремо взятої інтелектуальної вузлової СУ, так і інтелектуальна СУ вузла вищого рівня ієрархії (базова станція чи головний вузол зони) по відношенню до систем управління підлеглих вузлів.

У спрощеному вигляді контур управління для будь-якого рівня інтелектуальної СУ можна представити в вигляді елементів „орган управління – об’єкт управління” та зв’язків між ними, які відображають передачу службової інформації. Вважатимемо, що до обміну службовою інформацією стани об’єкта управління (параметри вузла, радіоканалу, СРЗ чи системи управління підлеглих вузлів) та органу управління (функціональні підсистеми вузлової ІСУ чи ІСУ головного вузла зони СРЗ) характеризуються невизначеністю їх параметрів. Тому, основне завдання органу управління полягає в ідентифікації ситуації (на основі відповідної службової інформації) та прийнятті управлінських рішень з використанням множини методів на кожному з рівнів моделі OSI та СРЗ, з метою адаптації параметрів об’єкта управління до ситуації, що склалася в певний момент часу.

Як зазначалося вище, для забезпечення високої обґрунтованості управління можна зробити такі висновки:

а) покращення обґрунтованості управління можна досягти шляхом зменшення початкової невизначеності стану об’єкта управління (в нашому випадку СРЗ). Це означає, що об’єкт управління повинен мати якомога меншу кількість ступенів свободи (станів), що може бути досягнуто обмеженням кількості параметрів оцінки його стану. Однак, приймаючи до уваги непередбачувані умови функціонування СРЗ, на етапі проектування СРЗ та систем управління ними неможливо здійснити обґрунтування доцільної множини станів об’єктів управління, що призведе до неможливості прийняття рішень ІСУ за умов, які не були передбачені на етапі проектування;

б) покращення обґрунтованості управління можливе шляхом збільшення початкової невизначеності стану (ентропії) органу управління. Тобто, обґрунтованість управління СРЗ тим вища, чим більша множина управляючих

впливів, які може реалізувати орган управління. Забезпечити збільшення множини управляючих впливів можливо завдяки розробці методів управління, які нечутливі до граничних обмежень параметрів і здатні приймати рішення в умовах невизначеності;

в) для покращення обґрунтованості управління необхідно зменшити невизначеність управляючих впливів. Забезпечити це можливо шляхом побудови та підтримання в актуальному стані баз даних та баз знань (в автоматичному режимі) для ідентифікації стану СРЗ (вузла, радіоканалу чи інформаційного напрямку), інформація з яких буде використана методами управління на різних рівнях моделі OSI.

Розробку методів управління, здатних приймати рішення в умовах невизначеності та неповноти службової інформації, можливо здійснити шляхом використання тих чи інших технологій обробки знань, у залежності від специфіки задач управління СРЗ, їх особливостей та умов бойового застосування.

2.1.2 Класифікація задач інтелектуального управління радіоресурсом системи радіозв'язку спеціального призначення

СРЗ відносяться до класу складних інформаційних систем. Найбільш характерними ознаками СРЗ спеціального призначення, які дозволяють віднести їх до класу складних інформаційних систем, є [39–56]: наявність в СРЗ великої кількості взаємозалежних між собою підсистем і елементів; багатовимірність СРЗ, обумовлена наявністю великої кількості зв'язків між її підсистемами й окремими елементами; багатокритеріальність, обумовлена різноманіттям цілей, окремих підсистем, що утворюють СРЗ, а також різноманіттям вимог до неї; багатофункціональність, яка впливає з необхідності вирішення різних завдань на різних рівнях і етапах функціонування СРЗ; залежність параметрів функціонування від впливу зовнішнього середовища.

Врахування такого великого розмаїття специфічних особливостей СРЗ, при формулюванні проблеми синтезу інтелектуальних методів управління засобами заводозахисту, вимагає дотримання низки фундаментальних принципів, які складають основу системного підходу при дослідженні СРЗ. До цих принципів відносяться:

опис окремих підсистем СРЗ не носить самостійного характеру – кожна з підсистем описується з урахуванням її місця у системі в цілому;

одна і та ж підсистема на різних рівнях опису СРЗ може розглядатися як така, що має одночасно різні характеристики, властивості, функції і навіть принципи побудови;

дослідження СРЗ невід’ємне від зовнішнього середовища, в якому вона функціонує;

в результаті проектування (вирішення задачі синтезу) завжди визначається компромісний варіант СРЗ з використанням єдиного критерію, сформульованого на множини системних показників;

процес проектування (синтезу) носить ітераційний характер, тобто є поетапним вирішенням окремих задач з подальшим уточненням рішення кожної з них за наслідками попереднього етапу.

Розглянемо класифікацію задач управління СРЗ (рис. 2.1). За *видом* управління СРЗ можуть бути побудовані як системи з централізованим, децентралізованим та змішаним управлінням. При централізованому управлінні СРЗ вся інформація про стан системи надходить на головний вузол (радіоцентр), який на її основі здійснює управління іншими вузлами СРЗ. До переваг централізованого управління слід віднести: можливість використання інформації про всю СРЗ, висока якість ухвалення рішень головного вузла, відносну простоту організації управління підлеглими вузлами. Недоліками цього принципу при управлінні глобальною СРЗ є значні затрати пропускну́ї спроможності мережі (для збору інформації про стан підлеглих вузлами і доведення команд на зміну параметрів радіоліній і режимів роботи СРЗ у цілому) і велика інерційність системи управління головного вузла.



Рис. 2.1 Класифікація задач управління системою радіозв'язку спеціального призначення

Крім того, система управління з централізованим управлінням характеризується низькою структурною стійкістю. Все це обумовлює можливість застосування даного принципу побудови системи управління тільки у випадках жорстких вимог до показників СРЗ, слабо розгалуженої структури СРЗ і невисокої динаміки впливів, що діють на неї.

При децентралізованому методі управління процесами передачі потоків повідомлень через елементи мережі, частотним ресурсом і т.п. проводиться відповідно до локальних критеріїв оптимальності системи управління кожного вузла (абонента) на основі інформації про стан частини або всієї множини абонентів мережі та зовнішніх впливів, що діють в напрямках зв'язку між ними. Даний принцип організації управління СРЗ обумовлює дещо нижчу якість рішень на зміну параметрів і режимів роботи СРЗ у порівнянні з централізованим управлінням. Проте децентралізований спосіб дозволяє істотно знизити затрати пропускнуєї спроможності СРЗ на потреби управління, інерційність процесів управління і значно підвищити структурну стійкість (живучість і надійність) мережі до зовнішніх впливів.

Змішаний принцип управління СРЗ полягає в поєднанні централізованого та децентралізованого методів управління.

За *способом реалізації* задачі управління діляться на статичні, квазістатичні та інтелектуальні (динамічні). Для СРЗ, які функціонують в умовах складної сигнальної та заводої обстановки доцільним є застосування адаптивного управління потоками і ресурсами, яке забезпечує відповідну корекцію режимів і алгоритмів функціонування елементів СРЗ і найбільше відповідає вимогам по безперервності і оперативності управління.

За *метою* розрізняють управління для вирішення задачі оптимізації всієї СРЗ, окремої підмережі або окремої радіолінії (див. п. 2.1.2).

За *ступенем використання інформації про стан СРЗ* розрізняють управління на основі безперервного або періодичного (дискретного) контролю.

При цьому службова інформація (команди управління) може передаватися по спеціально виділеним каналам, по інформаційним каналам або в складі інформаційних повідомлень. Докладно методи контролю стану СРЗ спеціального призначення викладено в розділі 3.

Класифікація задач інтелектуального управління радіоресурсом СРЗ представлена на рис. 2.2.

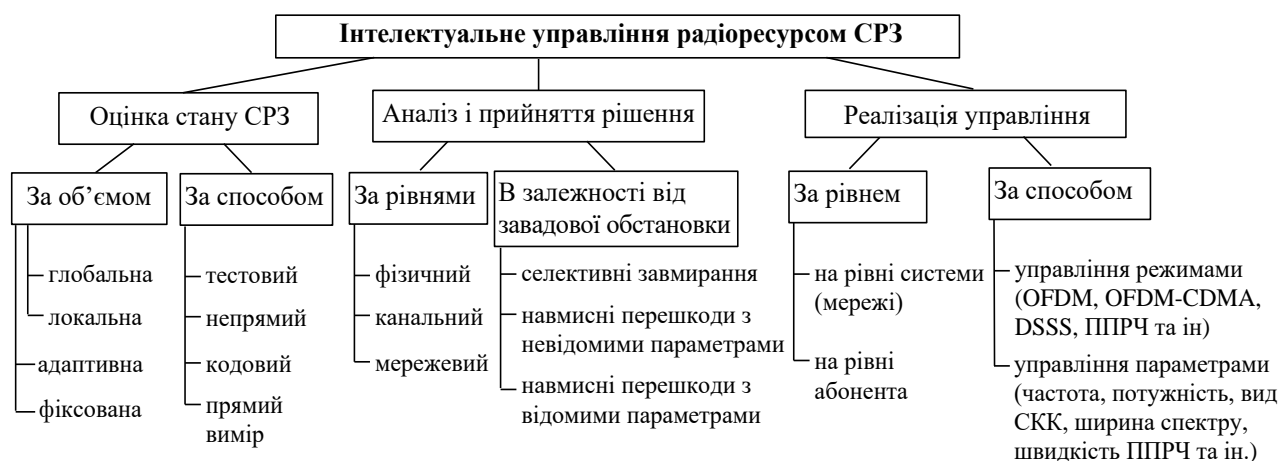


Рис. 2.2 Класифікація задач інтелектуального управління радіоресурсом

Процес управління може бути представлено сукупністю функцій управління. В свою чергу кожна функція може бути розділена на окремі задачі управління. Перелік задач управління радіоресурсом СРЗ і їх класифікація представлені в [33, 34]. Кількість і конкретні задачі інтелектуального управління визначаються характеристиками і умовами функціонування СРЗ, а також прийнятими технологічними рішеннями на етапі її проектування.

Оцінка стану СРЗ. Інтелектуальне управління радіоресурсом СРЗ потребує знання про стан СРЗ. Методи контролю стану СРЗ можна класифікувати: за об'ємом – глобальний і локальний (зоновий), фіксований і інтелектуальний; за способом – тестовий, непрямий, кодовий, прямий вимір.

Аналіз і прийняття рішення. Задачі інтелектуального управління радіоресурсом можуть вирішуватися на трьох рівнях моделі взаємодії відкритих систем: фізичному, каналному та мережевому. В залежності від завадової обстановки в процесі аналізу можуть бути визначені наступні сценарії радіоелектронної обстановки в СРЗ: тільки селективні завмирання, навмисні

перешкоди з невідомими параметрами, навмисні перешкоди з відомими параметрами.

Реалізація управління. За рівнем реалізації інтелектуального управління радіоресурсом виділяють задачі управління на рівні мережі (верхній рівень) та на рівні окремих абонентів чи ЗРЗ (нижній рівень). За способом реалізації розрізняють: управління режимами роботи ЗРЗ; управління параметрами (значеннями параметрів) цих засобів у визначених режимах роботи.

2.1.3 Схеми системного аналізу і синтезу методів інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення

Постановка та розв'язання завдань проектування СРЗ призводять до необхідності трактування СРЗ як складних інформаційних систем і вимагають формулювання наукового підходу до дослідження СРЗ на системній методологічній основі. Головною особливістю такого підходу є прагнення врахувати взаємодію великої кількості підсистем і окремих елементів СРЗ, динамічний і імовірнісний характер функціонування й взаємодії СРЗ із іншими підсистемами зв'язку та зовнішнім середовищем.

Розробка інтелектуальних методів управління засобами завадозахисту СРЗ потребує визначення структури системи інтелектуального управління, базисних принципів її побудови, методів, способів і засобів їх реалізації.

Сутність процесу інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ полягає в забезпеченні максимізації (мінімізації) значень показників функціонування СРЗ шляхом доведення до її елементів управляючих впливів, які є результатом рішень задач управління [33, 34].

Схеми системного аналізу і синтезу методів інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ представлена на рис. 2.3.

Рішенню задач максимізації (мінімізації) показників ефективності функціонування СРЗ передують ряд етапів:

аналіз стану сигнальної та заводової обстановки на основі результатів інтелектуального контролю каналів зв'язку за допомогою певних методів;

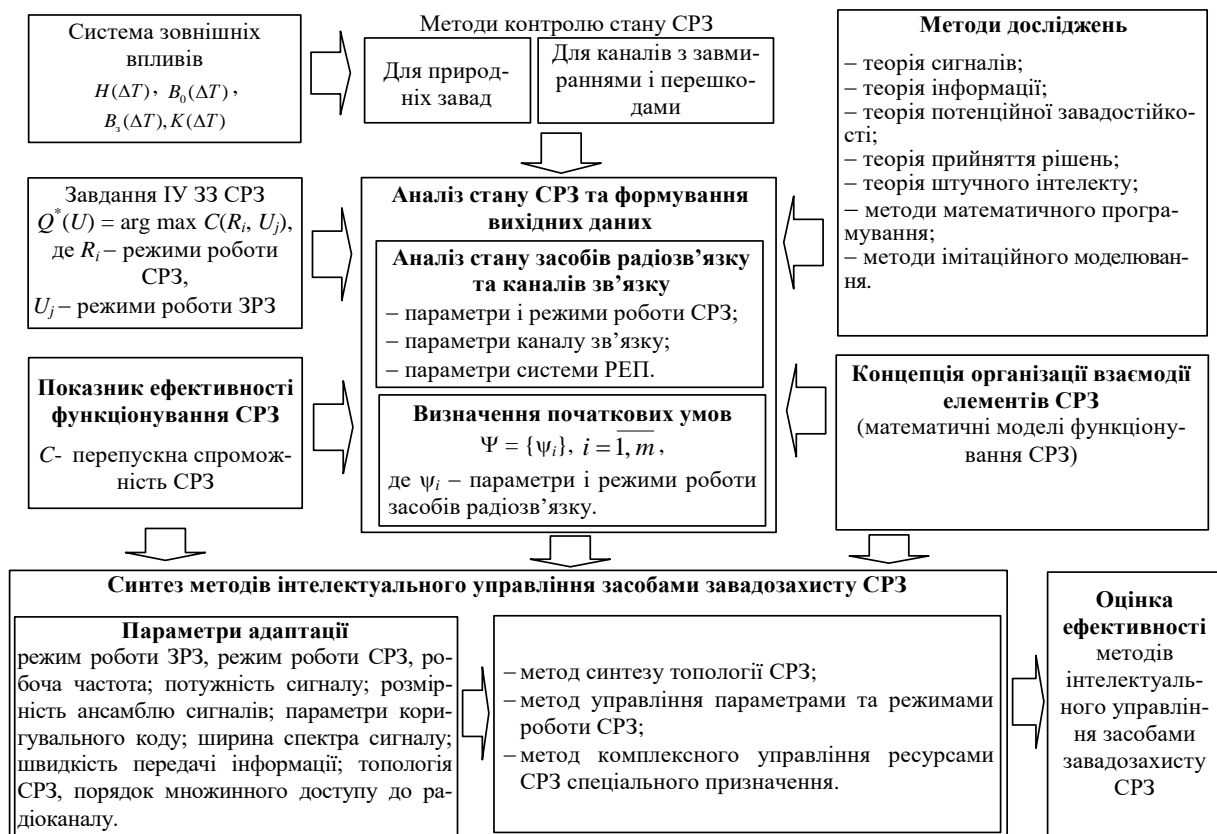


Рис. 2.3 Схема системного аналізу і синтезу методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ

визначення початкових даних, якими є параметри та особливості СРЗ на основі вимог до методів інтелектуального управління, показників зовнішніх впливів та показників ефективності функціонування підсистеми інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ;

визначення рівня та параметрів інтелектуального управління (робоча частота, потужність сигналу, вид модуляції та розмірність ансамблю сигналів, вид і параметри коригувального коду, ширина спектра сигналу, тип та діаграма спрямованості антени, швидкість передачі інформації, довжина кадру (пакету), режим роботи ЗРЗ, протокол множинного доступу до радіоканалу, метод розширення спектру радіосигналу) та розробка методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ;

оцінка ефективності розроблених методів інтелектуального управління на основі аналітичних та імітаційних моделей СРЗ.

Особливу роль при системному синтезі СРЗ відіграє система зовнішніх впливів (СЗВ), що представляє собою сукупність спеціальних підсистем і елементів, що не входять до складу СРЗ, але певним чином впливають на неї. Підсистемами СЗВ є: середовище розповсюдження радіохвиль (РРХ), підсистема випадкових впливів (випадкові радіозавади) і протиборча підсистема, що включає в себе джерела створення навмисних перешкод (система РЕП), а також джерела неелектромагнітних збурень (вогневий, ядерний вплив і т.д.).

Середовище поширення радіохвиль є пасивною антагоністичною підсистемою для СРЗ і являє собою об'єкт природного походження, що існує поза будь-якою системою зв'язку. Тому воно значною мірою визначає умови функціонування СРЗ. Наявність в каналах радіозв'язку перешкод, кібератак, природних завад значно погіршує якість радіозв'язку. Тому СРЗ повинна бути ідентифікованою, тобто повинна забезпечувати контроль стану радіоканалів та якості свого функціонування.

СРЗ представляється у вигляді глобальної керованої СРЗ, що складається з множини локальних підмереж радіозв'язку (див. п. 2.2). Кожна з підмереж характеризується графом $G_q(\mathbf{V}^q, \mathbf{E}^q)$ ($q = \overline{1, Q}$), де $\mathbf{V}^q = \{V_i^q\}$ – множина вузлів, а $\mathbf{E}^q = \{E_{ij}^q\}$ – множина напрямів зв'язку або окремих радіоліній (радіоканалів) між вузлами V_i і V_j . При цьому вузли, можуть виконувати функції відправників, одержувачів або ретрансляторів повідомлень. Надалі, будемо розглядати вузли та канали, якими вони зв'язані в межах підмережі радіозв'язку q -го рівня СРЗ.

Початковими умовами для рішення задач інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ є:

параметри вузла V_i : C_j – j -й режим роботи ЗРЗ ($j = \overline{1, 4}$), P_c – потужність сигналу, $P_{\text{пом}}$ – ймовірність помилкового приймання сигналів, M – розмірність

ансамблю сигналів, R – швидкість коригувального коду ($R = k/n$), k – кількість інформаційних біт у кодовій комбінації довжиною n , d – величина кодової відстані, v_i – швидкість передачі інформації; режим роботи; $K(T)$ – вид та тривалість кібератаки, що спрямована на відмову від обслуговування.

параметри радіоканалу E_{ij} : $H(T)$ – оцінка частотної характеристики багатопроменевого каналу (T – тривалість циклу управління), Q_{Σ}^2 – відношення сигнал/(завада + шум); ΔF – ширина смуги пропускання каналу, протокол множинного доступу до радіоканалу, Δf_3 – ширина смуги навмисної перешкоди; $B_3(T)$ – амплітуда навмисної перешкоди; b_i – вид навмисної перешкоди ($i = \overline{1, 5}$);

Необхідно: розробити методи інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ, які б забезпечили виконання вимог інформаційного обміну (передачу трафіка із заданою якістю обслуговування в умовах багатопроменевого поширення радіохвиль і активної радіоелектронної протидії: $v_i(W(T)) \leq v_{i \text{ доп}}$, $P_{\text{пом}}(W(T)) \leq P_{\text{пом доп}}$, де $W(T)$ – рішення з інтелектуального управління параметрами і режимами роботи СРЗ, v_i – швидкість передачі інформації) і відповідали наступним вимогам: децентралізоване та централізоване управління; мінімальне завантаження СРЗ службовою інформацією – $L_{\text{сл}}(W(T)) \leq L_{\text{сл доп}}$; мінімальна обчислювальна складність методів.

Але в умовах децентралізованого управління і наявності протиріччя між оптимальною інформативністю управляючого об'єкта і своєчасністю управляючих впливів не можна говорити про глобальну оптимізацію [44]. Тому необхідно здійснювати локальну оптимізацію в рамках окремого вузла зв'язку (підмережі). В зв'язку з цим основна мета управління декомпозується на дві складові: передача інформації між парою відправник-адресат ($a-b$) із заданою якістю при прагненні мінімізувати витрати мережевих (зонових) ресурсів на її здійснення. Тому в умовах децентралізованого управління СРЗ кожен вузол буде реалізовувати дві взаємопов'язані групи цілей, які визначаються багатокритеріальністю управління.

1. Абонентські цілі, які визначають пошук екстремуму або виконання обмежень по передачі повідомлень (абонентська оптимізація)

$$W_j^*(T) = \arg \underset{W_j(T) \in \Omega}{opt} \quad \Psi_j(\psi_i(T), W_j(T)); \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.1)$$

де Ψ_j – j -та абонентська ціль управління, $j = \overline{1, 3}$. Цілі управління – $j=1$ – забезпечення заводо захищеності в умовах впливу навмисних перешкод; $j=2$ – забезпечення заводо захищеності в умовах кібер впливу; $j=3$ – забезпечення заводо захищеності в умовах комплексного впливу навмисних перешкод та кібер впливу; $\psi_1 \dots \psi_m$ – параметри і режими роботи ЗРЗ, Ω – обмеження на вибір управляючих впливів $W_j(T)$.

2. Мережеві цілі, які реалізують пошук субоптимальних рішень мережі (мережева оптимізація)

$$W^*(t) = \arg \min_{W(T) \in \Omega} L_{сл}(\psi_i, W(T)), \quad (2.2)$$

де $L_{сл}$ – об'єм службової інформації для управління системою і окремими ЗРЗ.

Однією з центральних проблем при організації управління СРЗ є проблема передачі службової інформації між вузлами та абонентами. Для СРЗ, які функціонують в умовах складної радіоелектронної обстановки в складі службових повідомлень передаються: команди управління СРЗ і окремими радіолініями; сигнали синхронізації; тестові сигнали для оцінки стану каналів зв'язку.

Рішення з управління СРЗ приймаються вузлами (абонентами) мережі з врахуванням певних методів управління на основі інформації про стан мережі, яка одержується шляхом розсилання та збору службового трафіка. Оскільки загальний трафік у СРЗ складається з інтенсивностей корисного та службового потоків, то очевидно, що зменшення обсягу службової інформації дозволить

збільшити частку корисного потоку i , як наслідок, збільшить пропускну спроможність мережі. Взаємозв'язок етапів вирішення проблеми розробки методологічних основ оперативного управління засобами завадозахисту СРЗ подано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Взаємозв'язок етапів вирішення наукової проблеми і методів досліджень

Етапи вирішення наукової проблеми	Методи досліджень
Аналіз особливостей функціонування СРЗ сектору безпеки і оборони та методів підвищення ефективності їх функціонування в умовах навмисних перешкод, природніх завад та кібер впливу	Методи теорії складних систем, теорії сигналів, теорії потенційної завадостійкості
Формалізація опису процесу функціонування СРЗ спеціального призначення в навмисних перешкод, природніх завад та кібер впливу і на її основі розробка математичних моделей функціонування СРЗ в умовах складної радіоелектронної обстановки	Методи теорії сигналів, теорії ігор, теорія штучного інтелекту, теорії графів і теорії потенційної завадостійкості
Розробка методів оцінки стану СРЗ спеціального призначення в умовах впливу навмисних перешкод, природніх завад та кібер впливу	Методи теорії складних систем, теорії штучного інтелекту, теорії матриць і методів функціонального аналізу
Розробка методів інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ в залежності від конкретної сигнальної і заводової обстановки в СРЗ спеціального призначення	Методи теорії оптимізації систем, теорія штучного інтелекту, теорії сигналів, теорії завадостійкого кодування та теорії потенційної завадостійкості

Проблема передачі службової інформації включає ряд взаємопов'язаних задач: визначення оптимального об'єму службової інформації, яка достатньо відображує поточний стан СРЗ; своєчасну доставку службової інформації до вузлів та абонентів; перетворення службової інформації у відповідні управляючі впливи.

Наявність великої кількості різних і суперечливих критеріїв оптимальності СРЗ породжує проблему багатокритеріальної оптимізації процесу її функціонування. Задача оптимізації за векторним критерієм полягає у знаходженні рішень, які задовольняють екстремуму одночасно всіх компонент векторного критерію оптимальності.

Відзначені вище фактори вказують на те, що процес системного проектування СРЗ, як правило, відбувається в умовах невизначеності і при неповних вихідних даних. Тому великого значення набуває проблема синтезу

методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ, як найбільш ефективного засобу компенсації неоптимальних проектних рішень і вирішення невизначеності ситуацій, що випадково складаються на мережах у процесі їх функціонування.

2.2 Концепція організації взаємодії моделей елементів системи радіозв'язку

СРЗ як об'єкт дослідження характеризується системою математичних моделей. Структурна модель СРЗ дає змогу її представлення у вигляді глобальної керованої СРЗ, що складається з множини локальних підмереж радіозв'язку і має в загальному випадку імовірнісну ієрархічну структуру.

При побудові функціональної моделі СРЗ доцільно застосувати підхід, заснований на ієрархічній декомпозиції функціональної структури мереж, поведінка яких описується математичними рівняннями стану високої розмірності, на ряд взаємопов'язаних, але простіших функціональних структур, що характеризуються векторами стану набагато меншої розмірності.

2.2.1 Сутність концепції організації взаємодії моделей елементів системи радіозв'язку спеціального призначення

Сучасні СРЗ являють собою складні системи з розподіленою багатозв'язною структурою [33, 34].

З урахуванням специфічних особливостей морфологічної побудови й умов функціонування СРЗ, важливим моментом при розробці структурної моделі СРЗ є її подання у вигляді глобальної керованої мережі радіозв'язку, що складається з множини локальних підмереж радіозв'язку і має в загальному випадку складну ієрархічну структуру. Такий підхід, з одного боку, відображає наявність реальних зв'язків між елементами СРЗ вищих і підлеглих пунктів управління і можливість зміни (деформації) її структури при дії різних

вражаючих факторів, а з іншого – дозволяє зручніше формалізувати структуру СРЗ.

Найважливішою властивістю СРЗ, як організаційних систем, є ієрархічність структури, тобто визначена співвідпорядкованість елементів і підсистем. У той же час поки не створено єдиного методологічного підходу до дослідження СРЗ як багаторівневих систем з ієрархічною структурою [33, 34]. Причому найменш розробленою є проблема синтезу ієрархічної структури СРЗ: пошук структури загального вигляду, оптимальної за деяким критерієм. У переважній більшості існуючих моделей [2–26] розглядаються тільки лінійні структури, а обмеження, критерій оптимальності та методи дослідження визначаються специфікою конкретної задачі.

Для СРЗ як організаційної системи множина елементів відповідає множині елементів системи, що виконують деякі операції, необхідні для виконання СРЗ своїх функцій. Основна задача структури системи – організація взаємодії елементів у деяких групах, кожна з яких реалізує деяку задану функцію системи.

Рішення керуючого органу моделі визначається зовнішніми умовами, а вибір структури здійснюється за заданим набором груп. Тобто завдання оптимізації структури СРЗ вирішується окремо від інших задач управління організаційною системою. Такий підхід дозволяє досліджувати структурні явища “самі по собі” і сприяє побудові загальної моделі оптимального управління СРЗ як організаційної системи. На сьогоднішній день немає налагодженої, універсальної, єдиної методології, за допомогою якої, можна провести весь комплекс заходів по моделюванню, створенню і інтелектуального управління таких систем. Відсутність методології призводить до виникнення найрізноманітніших підходів до їх реалізації, які базуються на інтуїції й досвіді розроблювачів, при цьому використовується безліч технологій побудови, стандартів, різних методик і моделей, що призводить до зростання вартості системи. Аналіз відомих методів [2–26] показав, що в них недостатньо розкриті питання взаємодії окремих елементів СРЗ при синтезі системи в цілому.

Процес багатоваріантного синтезу концептуального системного рішення подано на рис. 2.4.

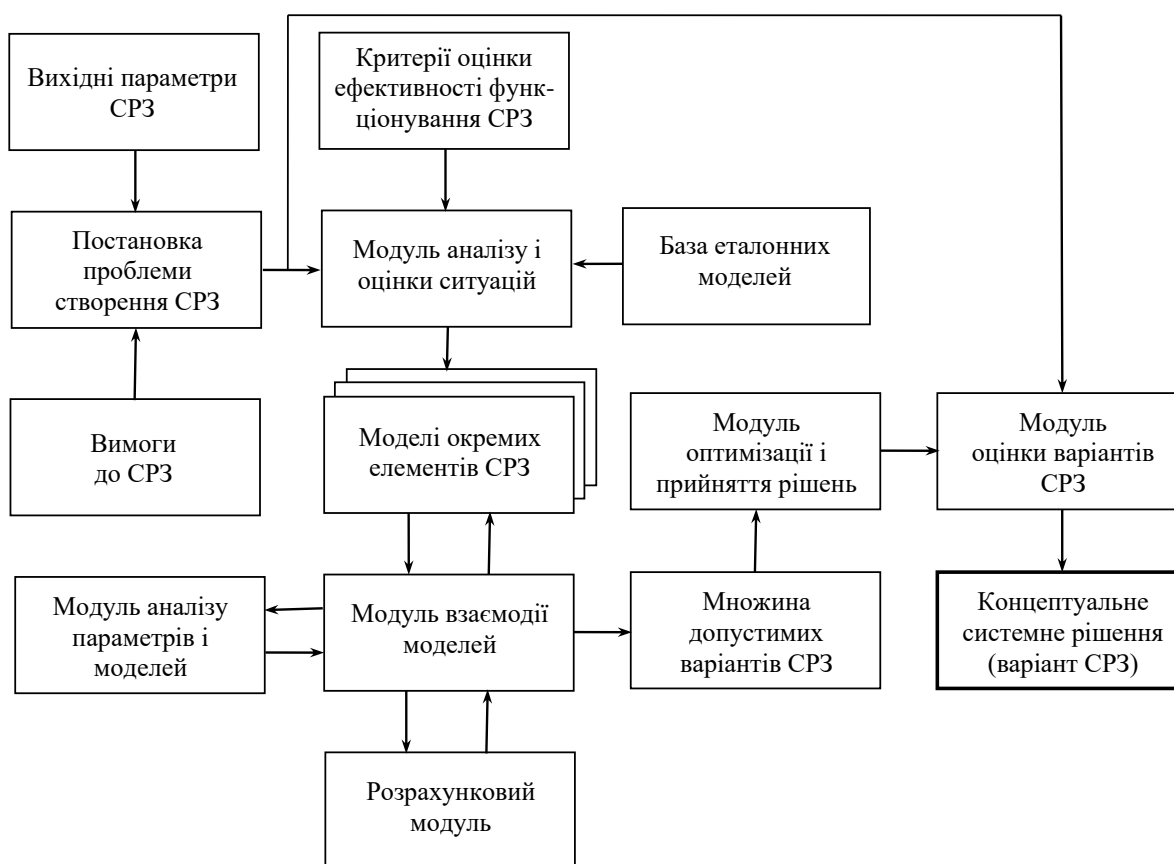


Рис. 2.4 Процес багатоваріантного синтезу концептуального системного рішення варіанту побудови СРЗ

Реалізація моделюючого комплексу запропонована на основі багаторівневого подання СРЗ – ієрархічної системи декількох взаємодіючих рівнів, які відповідають певному класу практичних завдань створення і адаптації з урахуванням критеріїв оцінки якості.

В базі еталонних моделей представлені моделі і параметри СРЗ по кожному рівні ієрархії, а також необхідна довідкова інформація. Крім того, база містить мережні рішення та наявні напрацювання в даній області.

Найбільш важливим є модуль організації взаємодії моделей елементів СРЗ. Його функціональне призначення – організація роботи модуля аналізу параметрів і моделей, розрахункового модуля, оцінка точності та калібрування

моделей. В ньому реалізуються процеси організації взаємодії моделей мережних елементів. Проводиться аналіз характеристик моделей, аналіз і узгодження одиниць виміру вхідних і вихідних параметрів моделей елементів системи в процесі рішення кожного конкретного завдання при розробці варіантів СРЗ. Аналіз всієї системи на основі ієрархічного комплексу здійснюється за допомогою графової моделі.

Функціональне призначення модуля аналізу параметрів і моделей – визначення необхідних параметрів системи при рішенні часткових завдань створення і адаптації та побудова залежності критеріїв оцінки якості для кожного рівня системної ієрархії.

Розрахунковий модуль призначений для одержання на основі теоретико-розрахункових методів значень системних параметрів і характеристик, які можуть бути вихідними даними для наступних розрахунків СРЗ в цілому і по кожному системному елементі окремо.

Організація взаємодії моделей елементів мереж при різноманітному синтезі системних рішень включає наступні етапи:

визначення параметрів і характеристик розроблювальної системи;

аналіз взаємозв'язку параметрів і моделей елементів системи на основі розробленої структури ієрархічного моделюючого комплексу;

калібрування моделей, узгодження вхідних і вихідних параметрів моделей системи та її елементів, виявлення приналежності кожного параметра системи до конкретних моделей;

побудова і аналіз графової моделі СРЗ.

В якості математичного образу глобальної СРЗ введемо неорієнтований зважений стохастичний граф $G = G(\mathbf{V}, \mathbf{E})$, множину вершин якого $\mathbf{V} = \{V_i\} (i = \overline{1, N}; |\mathbf{V}| = N)$ 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. 2.5). 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 у відповідність вагові коефіцієнти, що характеризують оперативно-технічні і вартісні показники відповідних елементів СРЗ – абонентів і радіоліній.

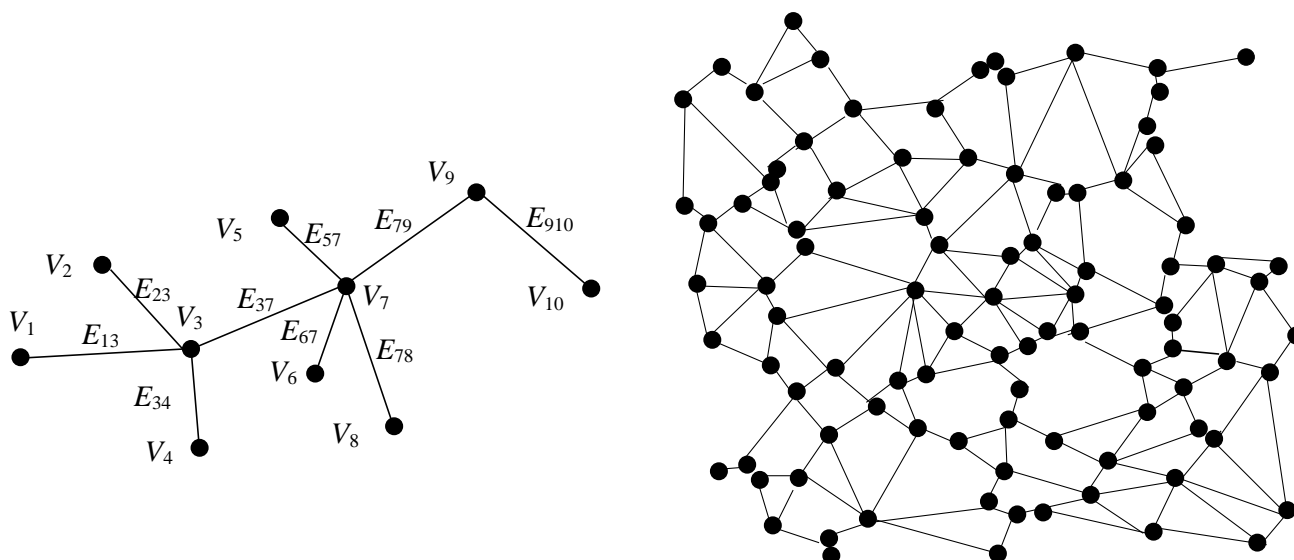


Рис. 2.5 Приклади структурних моделей СРЗ

Найбільший практичний інтерес представляє суміщена глобальна СРЗ, для якої засоби контролю до управління радіозв'язком входять до складу відповідних елементів СРЗ, а система управління радіозв'язку в цілому базується на каналах управління радіолініями. Реалізація такої суміщеної керованої СРЗ доцільна, перш за все, з погляду її техніко-економічної ефективності.

Найважливішими характеристиками, що визначають граф глобальної СРЗ $G(\mathbf{V}, \mathbf{E})$, є:

матриця зв'язності розмірністю $N \times N$

$$\mathbf{S}(t) = \|s_{ij}(t)\|, \quad (2.3)$$

елементи якої визначаються як:

$$s_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } E_{ij} \in \mathbf{E}, \\ 0, & \text{якщо } E_{ij} \notin \mathbf{E}; \end{cases}$$

матриця-стовпець координат місць розташування ВЗ в просторі розміру $(N \times 1)$

$$\mathbf{K}(t) = \|k_i(t)\|, \quad (2.4)$$

де елементи $k_i(t)$ – координати ВЗ $R_i (i = \overline{1, N})$;

матриця взаємного віддалення ВЗ розміру $N \times N$

$$\mathbf{R}(t) = \|r_{ji}(t)\|, \quad (2.5)$$

в якій елементи $r_{ji}(t)$ – відстані між ВЗ V_i і ВЗ $V_j (i, j = \overline{1, N}; i \neq j)$.

Залежність елементів матриць (2.3) – (2.5) в часі означає той факт, що структура і топологія глобальної СРЗ можуть змінюватися в процесі нормального функціонування (наприклад, під впливом протиборчої системи).

Позначимо через $\mathbf{R}_{ij} = \bigcup R_{ij}(m)$ множину можливих маршрутів передачі потоків повідомлень від ВЗ V_i до ВЗ $V_j (i, j = \overline{1, N}; i \neq j)$ з числом складених ділянок $m = 1, 2$ (розглядаються тільки прямі канали радіозв'язку і обхідні шляхи з використанням лише однієї ретрансляції повідомлень). Тоді зв'язність повнозв'язної комутованої глобальної СРЗ $M_{ij} = |\mathbf{R}_{ij}| = N - 1$.

Проведемо ієрархічну декомпозицію СРЗ. У загальній розподіленій структурі даної глобальної комутованої СРЗ виділимо за ознакою оперативного призначення або регіональною ознакою Q локальних підмереж радіозв'язку ($Q > 1$), кожна з яких характеризується підграфом:

$$G_q(\mathbf{V}^q, \mathbf{E}^q) \quad (q = \overline{1, Q}),$$

де $\mathbf{V}^q = \{V_i^q\}$ – множина ВЗ, а $\mathbf{E}^q = \{E_{ij}^q\}$ – множина напрямів зв'язку або окремих радіоліній між ВЗ V_i і ВЗ V_j , в q -й підмережі ($i, j = \overline{1, N_q}; \sum_{q=1}^Q N_q = N; i \neq j$). При цьому для $\forall q, p = \overline{1, Q}; q \neq p$ справедливо

$$\mathbf{V}^q \cap \mathbf{V}^p = \emptyset, \quad \mathbf{V} = \bigcup_{q=1}^Q \mathbf{V}^q.$$

Якщо передача потоків повідомлень будь-яким з маршрутів, задіяних за даним напрямом q -ї підмережі, виявляється неможливою (наприклад, внаслідок різкої зміни умов розповсюдження радіохвиль на трасі або дії перешкод), для передачі інформації адресатові виділяються радіолінії, задіяні для роботи в іншій, зокрема, p -й підмережі.

Кількість можливих маршрутів передачі в кожній q -й підмережі $M_q \leq N_q - 1$, а загальна їх кількість між двома ВЗ в глобальній мережі $M \leq N - 1$. Всі можливі обхідні маршрути передачі повідомлень між двома будь-якими ВЗ будь-якої підмережі радіозв'язку з використанням ВЗ інших підмереж утворюють множина ребер $E' = E / \bigcup_{q=1}^Q E^q$.

Величину Q при декомпозиції структури СРЗ можна трактувати як число рівнів ієрархії СРЗ або кількість можливих зон обслуговування повідомлень (підмереж радіозв'язку з множиною прямих і складених каналів між ВЗ цих підмереж) в глобальній СРЗ.

В принципі на етапі планування СРЗ завжди можна досягти того, щоб кількість зон обслуговування була рівною числу рівнів ієрархії ВЗ за їх оперативною приналежністю.

Ієрархічною структурою (або структурою з жорсткою ієрархією) СРЗ називатимемо послідовність часткових графів (підграфів) $G_q (q = \overline{1, Q})$, впорядковану за допомогою відношення строгого домінування:

$$G = G_1 \succ G_2 \succ \dots \succ G_q \succ \dots \succ G_Q, \quad (2.6)$$

де $G_Q = G_Q(\mathbf{V}^q, \mathbf{E}^q)$.

Внаслідок можливого виходу з ладу і відновлення деякої множини елементів глобальної СРЗ спочатку встановлені ієрархічні взаємозв'язки між ВЗ можуть порушуватися випадковим чином. Тому в загальному випадку структура СРЗ носитиме імовірнісний характер.

Випадковість знаходження будь-якого часткового графа підмережі G_q на p -му рівні $q, p = \overline{1, Q}; q \neq p$ призводить до появи ансамблю \mathbf{A} ієрархічних структур глобальної СРЗ, що характеризуються графом $G(\mathbf{V}, \mathbf{E})$.

Кожній структурі a_q в ансамблі \mathbf{A} можна поставити в відповідність ймовірність її реалізації, а отже, визначити на ансамблі \mathbf{A} функцію розподілу ймовірностей $P(a_q)$, де $a_q \in \mathbf{A}, q = \overline{1, Q}$.

Таким чином, імовірнісною ієрархічною структурою глобальної СРЗ називатимемо ансамбль \mathbf{A} ієрархічних структур із заданою на ньому функцією розподілу ймовірностей $P(a_q)$:

$$P = \{\mathbf{A}, P(a_q) / a_q \in \mathbf{A}; q = \overline{1, Q}\}. \quad (2.7)$$

Таке представлення СРЗ дозволяє зручно формалізувати структуру СРЗ і значно спростити кількісну оцінку структурної стійкості системи.

2.2.2 Обґрунтування принципів побудови підсистеми управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення

Забезпечити стійке, безперервне управління підрозділами сектору безпеки і оборони України в умовах апіорної невизначеності щодо умов ведення зв'язку, сигнальної і завадової обстановки неможливо без ефективної підсистеми інтелектуального управління СРЗ (рис. 2.6).

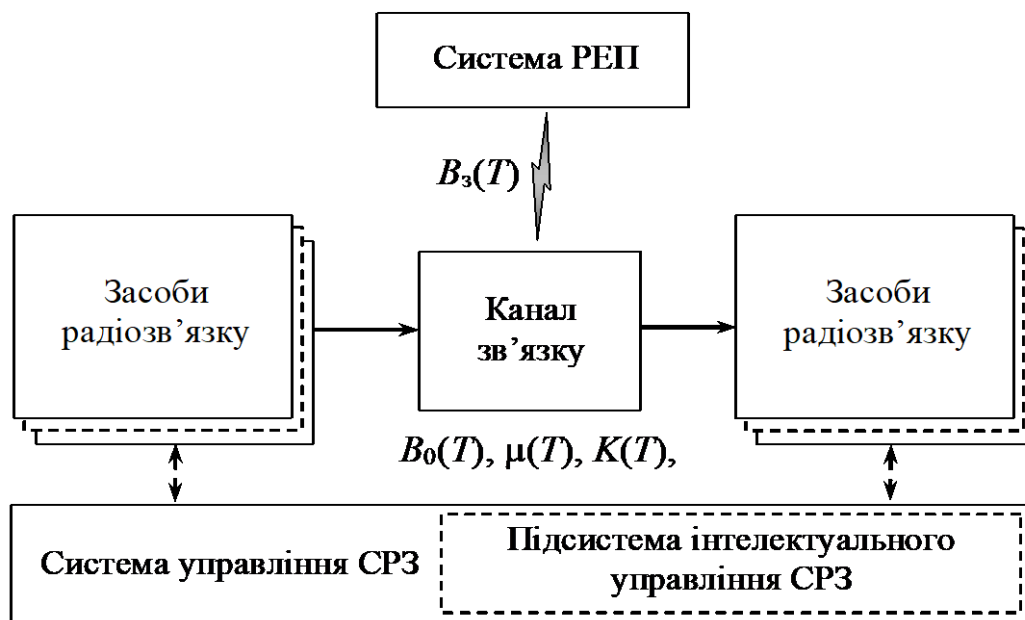


Рис. 2.6 Місце підсистеми інтелектуального управління режимами і параметрами в структурі СРЗ [31, 32]

Структура підсистеми управління СРЗ представлена на рис. 2.7, 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.

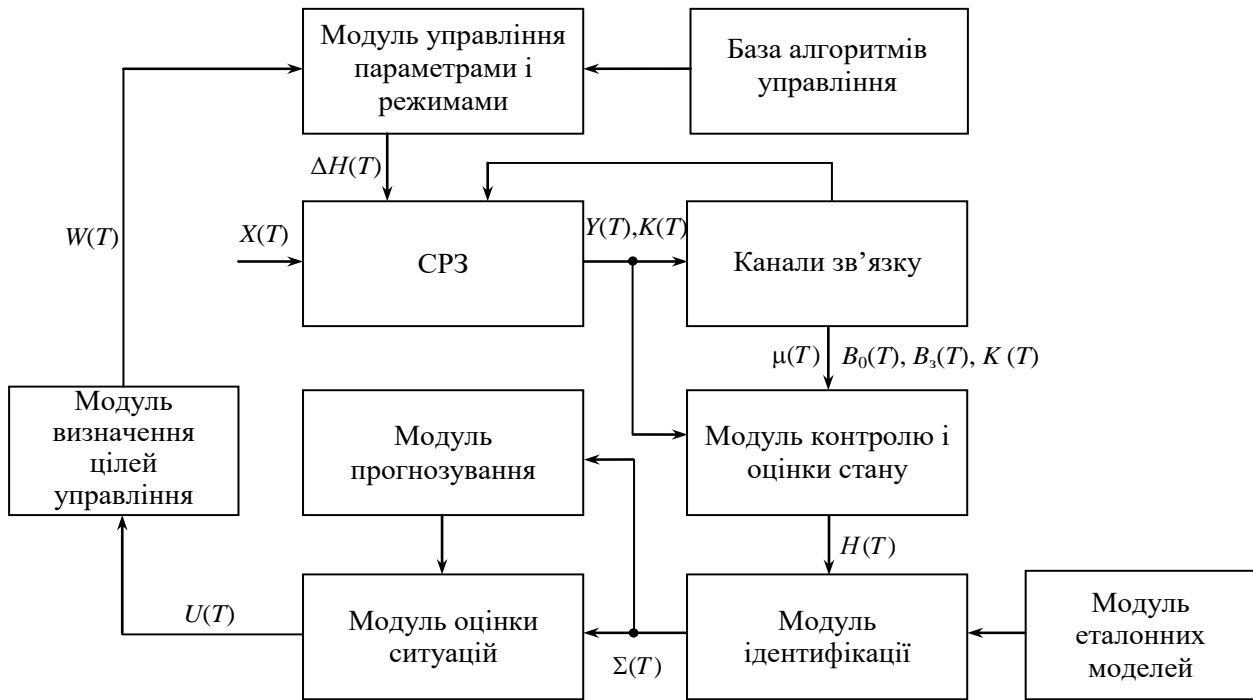


Рис. 2.7 Структура підсистеми управління радіоресурсом СРЗ

Система інтелектуального управління кожного вузла СРЗ функціонально може бути представлена як множина підсистем (рис. 2.8).

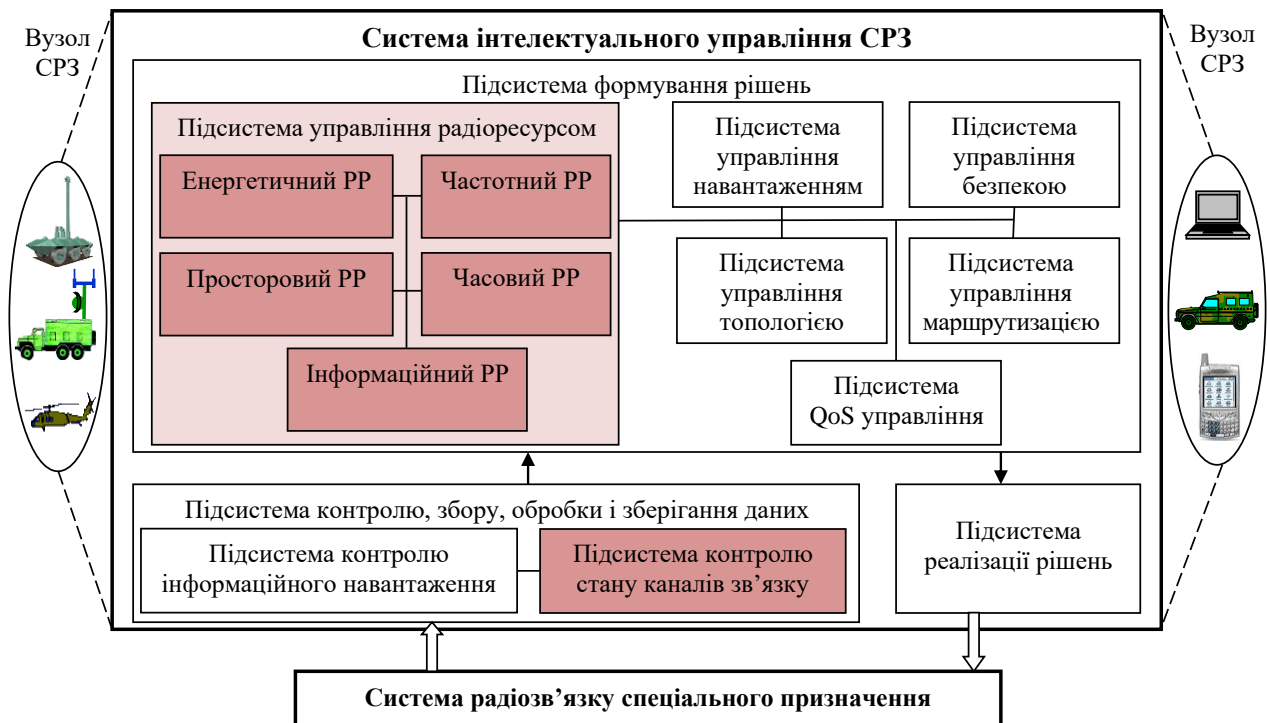


Рис. 2.8. Функціональна модель системи управління СРЗ

Загальною особливістю підсистем інтелектуального управління є відображення в них динамічного характеру функціонування СРЗ.

Підсистема управління маршрутизацією використовує множину методів маршрутизації та забезпечує їх використання в залежності від умов функціонування.

Підсистема управління топологією сприймає СРЗ, як систему, що розвивається (побудова СРЗ представляє собою процес її розвитку з деякої початкової топології в кінцеву). Топологія визначає потенційні можливості мережі з доставки даних між взаємодіючими вузлами. Мобільність (відмови, знищення, переміщення) вузлів призводить до різноманітних мережевих топологій СРЗ.

Однією із задач інтелектуального управління СРЗ є забезпечення передачі певних класів трафіка з заданою якістю обслуговування QoS. Забезпечення заданої якості обслуговування в СРЗ повинне здійснюватися за функціями з їх реалізацією підсистемою QoS управління, основними елементами якої є база методів управління і модуль прийняття QoS-рішень (містить знання про цілі управління і методи їхнього досягнення, а також база моделей ресурсів СРЗ).

Більшість типів трафіка чутливі до перевантажень мережі, затримки та втрати пакетів даних, що передаються в ній, а отже вимагають реалізації методів управління навантаженням, які б забезпечили повноцінну роботу в мережах СРЗ. Це завдання виконує підсистема управління навантаженням, яка реалізує функції: управління перенавантаженням, управління чергами, управління відновленням передачі після втрати зв'язності мережі, управління відновленням втрачених пакетів та пакетів, які надійшли з помилками.

Однією із задач управління СРЗ є розподілення її ресурсів між множиною незалежно функціонуючих вузлів, що передбачає на канальному рівні застосування відповідних методів доступу, які реалізуються підсистемою управління радіоресурсом. В якості ресурсу може виступати частота, час, коди, простір або їх комбінації.

Вузли СРЗ функціонують в загальному інформаційному середовищі і тому вони уразливі для потенційних атак противника. Результатами деструктивних дій на СРЗ може стати як прослуховування (сканування) трафіка, так і повна дезорганізація його роботи. Атаки, які направлені на СРЗ класифікуються як: зовнішні і внутрішні, активні і пасивні. Захист від атак здійснюється методами, які функціонують в підсистемі управління безпекою.

Збір інформації про стан зони вузла, або всієї мережі, її обробка і збереження здійснюється засобами підсистеми контролю, збору, обробки і зберігання даних (ПКЗОЗ), яка формує інформаційний ресурс системи управління. ПКЗОЗ підтримує в актуальному стані інформаційний ресурс.

Необхідність забезпечення вимог до якості функціонування СРЗ і створення множини функціональних можливостей підсистеми інтелектуального управління по формуванню доцільної поведінки і плануванню послідовності операцій управління з активною інтелектуалізацією до впливів зовнішнього середовища і варіаціях поточного стану СРЗ обумовлюють розробку засобів і методів інтелектуального управління, заснованих на комплексному застосуванні мір і засобів підвищення ефективності функціонування СРЗ в умовах активної радіоелектронної протидії.

2.3 Математичні моделі функціонування систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки

СРЗ, відносячись по рівню організації до класу технічних систем, можуть бути охарактеризовані із загальноприйнятих системологічних принципів морфологічного і функціонального описів [34–44]. Під морфологічним описом СРЗ розумітимемо опис мережі з погляду її структури і складу підсистем (елементів), а під функціональним – опис процесів передачі потоків повідомлень і мережі при заданому комплексі зовнішніх умов. Таким чином, СРЗ як об'єкт дослідження характеризується системою математичних моделей.

В процесі побудови математичних моделей СРЗ доводиться вирішувати компроміс між повнотою опису мережі і складністю адекватних їй моделей.

Тому при математичному моделюванні СРЗ найбільш доцільним є поєднання аналітичних і статистичних (імітаційних) методів.

2.3.1 Математична модель оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення

В даний час у багатьох галузях людської діяльності для вирішення важливих практичних завдань використовуються підходи на основі штучного інтелекту. Для розв'язання неформалізованих або погано формалізованих завдань, таких як навчання, діагностика, прогнозування, управління та вимірювання в складних технічних системах успішно застосовуються експертні системи [44–50].

Для даного класу інтелектуальних інформаційних систем характерно те, що вони здатні моделювати процес мислення експерта при прийнятті ним рішення і пояснювати, чому було отримано той чи інший результат. Це досягається шляхом реалізації процедури логічного висновку на формалізованих знаннях про предметну область, про ті процеси, які в ній протікають, про закономірності, яким підкоряються дані процеси [44].

Основним елементом будь-якого завдання аналізу радіоелектронної обстановки (РЕО) є порівняння отриманих сигналів з еталонними значеннями, що є в базі даних.

Однак виникає ряд труднощів і проблем при аналізі РЕО:

1. Сигнали аналізуються в складній радіоелектронній обстановці на фоні навмисних перешкод та природніх завад.

2. Вхідні сигнали не збігаються з еталонами за рахунок впливу різних типів завад та перешкод.

3. Інтерпретація сигналів залежить від досвіду оператора, повноти додаткової інформації по конкретному завданні (умови невизначеності).

Ці обставини обумовлюють звернення до теорії експертних систем, де одним з важливих обмежень при їх використанні є труднощі формулювання

правил для машинної обробки. А при використанні спільно з системою аналізу РЕО – це труднощі формулювання правил передачі і перетворення експертизи оцінки територій від джерела знань до програми. У цьому виді в експертній системі для оперативної вибірки знань повинна бути розроблена ефективна методологія фіксації, збереження і використання експертних знань [44].

Альтернативний метод фіксування експертних знань, не використовуючи правила, полягає в застосуванні штучних нейронних мереж, використовуючи їх здатність до узагальнення, самонавчання і перенавчання. Їх перевага також полягає в можливості роботи в режимі реального часу, швидкої адаптації і швидкої до конкретних ситуаціях.

Перераховані обставини зумовлюють появу невизначеності в умовах завдання розпізнавання сигналів і нечітких висловлювань при їх інтерпретації, коли залучена додаткова інформація може бути неповною і оператор приймає рішення на підставі свого досвіду.

Нехай в результаті класифікації сигналів по спектральним характеристиках отримана векторна модель. Модель визначає форму досліджуваних сигналів, тобто досліджувані сигнали розділені на елементарні складові за характеристиками, що становлять множину V елементарних складових сигналу, що аналізується.

Радіоелектронна обстановка зберігається в пам'яті персональної електронно-обчислювальної машини в цифровому вигляді, буде представлена у вигляді матриці R розмірності $(M * N)$, та має вигляд [42, 44]:

$$R = \left\| r_{i,j} \right\|, \text{ де } i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N. \quad (2.8)$$

Кожен елемент матриці R є вектором параметрів, що характеризують кожен (i, j) -й елементарний параметр сигналу по деякому m -му $(m = 1, \dots, T)$ набору тематичних властивостей:

$$r_{i,j} = (r_{i,j}^1, \dots, r_{i,j}^T), \quad (2.9)$$

природа компонентів векторів $r_{i,j}$ в загальному випадку принципової ролі не грає.

Тоді, якщо задається набір тематичних властивостей $\{P_n\}, (n = 1, \dots, K)$, за якими необхідно класифікувати досліджувані сигнали і порогові значення обмежень по всьому набору тематичних властивостей, то потрібно для кожного P_n по їх пороговим обмеженням поставити в відповідність множини P_n $V_t \in V, (1 \leq t \leq (M \times N))$ елементарних складових сигналу, які мають властивість P_n .

Тоді, показуючи всілякі варіанти значень ознак в рамках порогів обмежень для кожної до k -ої еталонної таблиці на виході маємо матриці оцінок Γ^{kl} :

$$\Gamma^{kl} = \|q_{u,v}^{kl}\|, q_{u,v}^{kl} \in [0,1], \quad (2.10)$$

де відповідь 1 означає, що по набору ознак і їх порогам обмежень виноситься рішення про належність до одного з класів належності та 0 – в іншому випадку, l – кількість варіантів.

Разом з тим, навіть при всіх перевагах нейро-нечітких експертних їм нажалі властиві певні недоліки. Перерахуємо основні з них [36–52]:

– накопичення помилки оцінювання при проведенні процедур фазифікації та дефазифікації;

– архітектура штучної нейронної мережі, що використовуються для формування баз даних має жорстку архітектуру, та не здатна адаптуватися в ході проведення обчислень;

– навчання штучної нейронної мережі обмежено лише навчання синаптичних ваг між нейронами;

– низька продуктивність роботи методів пошуку рішень навіть при незначному обсязі правил;

– велика обчислювальна складність роботи методів пошуку рішень.

Отже, необхідно провести розробку методу оцінки стану радіоелектронної обстановки для нейро-нечітких експертних систем аналізу радіоелектронної обстановки який запропоновано в розділі 3.

2.3.2 Модель оцінки стану систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів

Систему управління процесом аналізу стану СРЗ можна представити у вигляді нечіткої когнітивної моделі (НЧКМ), що є знаковим орієнтованим графом, у якому вершинами видаються сутності, концепції, чинники, цілі та події, а дугами задається їх вплив один на одного. Вплив характеризується деякою граничною функцією, яка може визначатися різними способами. Загалом завдання визначення стану СРЗ зводиться до розрахунків відповідно до формули [45–50]:

$$A_i(k+1) = f \left(\left(A_i(k) + \sum_{j \neq i, j=1}^N A_j(k) W_{ij} \right) \times \iota_{ij} \right) \times \zeta_{ij}, \quad (2.11)$$

де $A_i(k+1)$ – новий стан вершини НЧКМ; $A_i(k)$ – попередній стан НЧКМ; w_{ij} – матриця ваги; f – порогова функція НЧКМ; ι_{ij} – оператор, що враховує ступінь інформованості про стан СРЗ; ζ_{ij} – оператор для врахування ступеню зашумленості даних про стан СРЗ.

Процес розрахунку є ітеративним – після завдання початкових станів вершин значення станів перераховуються до тих пір, поки різниця між поточними та попередніми станами не виявиться меншою за деяке задане значення.

Для функції пристосованості $F(x)$ простору пошуку X потрібно знайти таке значення аргументу x^* , при якому $F(x)$ досягне свого найбільшого значення:

$$x^* = \arg \max_{x \in X} F(x). \quad (2.12)$$

Пристосованість F_i^t особи i в ітерацію t , $t \in [0, +\infty]$, розраховується виходячи з оцінки роботи НЧКМ, штрафу на розмір НЧКМ, штрафу для подібних генотипів та тривалості існування особи в популяції.

Штраф на розмір НЧКМ Φ_i^t обчислюється виходячи з кількості вершин НЧКМ та зв'язків між ними:

$$\Phi_i^t = N_i^t + \frac{M_i^t}{M_{\max}^t}, \quad (2.13)$$

де N_i^t – кількість вершин НЧКМ даної особи; M_i^t – кількість зв'язків між вершинами НЧКМ даної особи; M_{\max}^t – максимальна кількість зв'язків між вершинами НЧКМ.

Штраф для подібних генотипів ρ_i розраховується на підставі $\rho_{\min}(i, j)$ мінімальної відстані між i -ю хромосомою та іншими хромосомами популяції:

$$\rho_i = \frac{\rho_{\min}(i, j)}{1 + \rho_{\min}(i, j)}. \quad (2.14)$$

Врахування ρ , необхідне для підтримки різноманітності популяції і запобігання передчасній збіжності. На значення пристосованості також впливає величина κ_i , що обернена тривалості періоду існування особи в популяції:

$$\kappa_i = \frac{1}{1 + T_i}, \quad (2.15)$$

де T_i – період еволюції кожної особи.

Додавання зі значенням пристосованості сприяє вирішенню проблеми незахищеності інновацій за рахунок суттєвого зниження ризику видалення особини на початкових періодах існування. При цьому на наступних періодах κ_i , не суттєво впливає на пристосованість [45, 46, 52].

З урахуванням обчислених даним способом середньоквадратичних помилок, значень штрафів та тривалості існування особи функція пристосованості F_i^t обчислюється за формулою:

$$\tilde{F}_i^t = \frac{\bar{\omega}_E (1 - E_i^t) + \bar{\omega}_V (1 - V_i^t)}{\Phi_i^t + \rho_i} + \kappa_i, \quad (2.16)$$

де $\bar{\omega}_E$, $\bar{\omega}_V$ – вагові коефіцієнти, що відображають відносну значимість середньоквадратичних похибок,

$$\bar{\omega}_E = \frac{1 - V_i^t}{2 - V_i^t - E_i^t}, \bar{\omega}_V = 1 - \bar{\omega}_E. \quad (2.17)$$

В реальних умовах, коли неможливо отримати повну та достовірну вихідну інформацію про стан СРЗ для оцінки ефективності роботи НЧКМ доцільно використовувати поняття непрямой оцінки f_c . Непряму оцінку доцільно використовувати в умовах апріорної невизначеності та при вирішенні важко формалізованих завдань. При використанні непрямой функції оцінки функція пристосованості індивідів матиме вигляд:

$$\tilde{F}_i^t = \frac{f_c}{\Phi_i^t + \rho_i} + \kappa_i, \quad (2.18)$$

f_c – функція оцінки ефективності роботи НЧКМ.

Для запобігання передчасній збіжності та ситуації, в якій середні та найкращі особини формують приблизно однакову кількість нащадків, значення \tilde{F} масштабується за формулою:

$$F = \left(\tilde{F} + \tilde{F}_{\text{avg}} - c\sigma \right)^{\vartheta}, \quad (2.19)$$

\tilde{F}_{avg} – середня пристосованість популяції; $c = \text{const} \in [1, 5]$; σ – середньоквадратичне відхилення пристосованості по популяції; $\vartheta \in [1, 1.5]$ – коефіцієнт що обирається з урахуванням завдань, що вирішуються.

Відсутність змін пристосованості кращої особи популяції свідчить про стагнацію пошуку.

Перевірка умови завершення еволюції. Незалежними один від одного умовами завершення можуть бути такі:

- по вичерпанню часу еволюції (або кількості звернень до функції оптимізації);
- для досягнення найкращої комбінації генів; після виходу функції пристосованості на “плато” – тобто за відсутністю її зміни протягом заданої кількості ітерацій.

Якщо виконано будь-яку з умов, то алгоритм завершує роботу. Інакше виконується наступний крок.

Селекція. Стратегію пошуку складають механізми селекції та рекомбінування. Це ймовірнісні процеси, що лежать в основі процесу нейроеволюції [50]. Оператор відбору хромосом SL (selection) для нової популяції реалізовано імовірнісним методом у поєднанні з методом “еліт”: найбільш вдалі особини заносяться до пулу “хороших” рішень; інші особини відбираються для рекомбінування з ймовірністю P_{SL} :

$$P_{SL}(i) = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^N F_j}, \quad (2.20)$$

де i, j – індекси особин.

Пул “хороших” рішень необхідний для підтримки різноманітності популяції та запобігання швидкій збіжності алгоритму до неоптимального рішення (локальному оптимуму). Хромосома для фенотипу ρ^* зберігається в пулі при виконанні умови:

$$(\forall \rho \in P)(\rho(\rho, \rho^*) = \rho_{\max}) \cap (F(\rho^*) = F_{\max}), \quad (2.21)$$

ρ_{\max} – максимальна відстань між особинами в популяції за ітерацію налаштування; F_{\max} – максимальна пристосованість особин в популяції за ітерацію налаштування.

Рекомбінування – застосування генетичних операторів кросинговеру та мутації до відібраних на попередньому кроці особин. Кросинговер – генетичний оператор, що впливає на розмір популяції. У даній реалізації нейроеволюції запропоновано двоетапний багатоточковий кросинговер CR (crossingover) [44, 52].

Перший етап кросинговеру полягає у визначенні кількості D і координат $d_k, k \in [1, D]$ точок перетину з наступним схрещуванням вихідних генотипів за заданими точками. У загальному випадку для точок результатом схрещування особин $\rho_i^t = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$, $\rho_i^t = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \in P^t$ ітерації t є два генотипи ітерації $t+1$:

$$\begin{aligned} \rho_i^{t+1} &= \{\alpha_1, \dots, \alpha_{d_1}, b_{d_1+1}, \dots, b_{d_2}, \dots, \alpha_{d_2+1}, \dots, \alpha_{d_D}, \dots\}, \\ \rho_i^{t+1} &= \{b_1, \dots, b_{d_1}, \alpha_{d_1+1}, \dots, \alpha_{d_2}, \dots, b_{d_2+1}, \dots, b_{d_D}, \dots\}, \end{aligned} \quad (2.22)$$

$d_k, k \in [1, D]$ – точки перетину генотипів; D – кількість точок перетину.

Кількість точок перетину визначається як випадкове число на відрізьку $[1, \min\{N_1, N_2\}]$, N_1 і N_2 – відповідно кількість вершин НЧКМ у першому та

другому генотипі, відібраних для кросинговеру. Точки d_k обираються у відповідності до умови:

$$d_k = j : (IN_1(j) = IN_2(j)) \cup (OUT_1(j) = OUT_2(j)), \quad (2.23)$$

j – індекс, що позиціонує вершину НЧКМ в першому та другому генотипі; $(IN_1(j), IN_2(j), OUT_1(j), OUT_2(j))$ – відповідні значення параметрів IN та OUT для j -ї вершини в даних генотипах.

У випадку, якщо індексів з рівними значеннями параметрів декілька, вибираються індекси з найближчими значеннями. Таким чином, індексація нейронів у генотипі в сукупності з використанням параметрів IN та OUT знижує ризик конкуренції представлень та запобігає схрещуванню ділянок генотипів, що несуть різне функціональне навантаження.

Другий етап кросинговеру полягає у видаленні та перерозподілі зв'язків, співвіднесених з відсутніми в новій зміні конфігурації НЧКМ. Етап необхідний для гарантії життєздатності нових особин.

Мутація МТ (mutation) – генетичний оператор, у цій процедурі реалізований у восьми модифікаціях. Можливість застосування мутації для окремого гена P_{MT} в ітерацію t розраховується за формулою:

$$P_{MT}(g_i) = \frac{\alpha e^{-\frac{\beta t}{2}}}{L N}, \quad (2.24)$$

$\alpha, \beta = const$; L – довжина хромосоми; N – розмір популяції.

Вибір формули цього виду обумовлений тим, що для ефективної еволюції імовірність мутації має бути обернено залежна від розміру популяції. У цьому можливість мутації з часом знижується.

Однією з основних цілей застосування оператора мутації є підтримка різноманітності особин, але у маленьких популяціях часті мутації негативно

позначаються на сходження до оптимуму. Хромосоми великої довжини забезпечують варіативність популяції, тому значення P_{MT} тим вища, що менше параметрів містить хромосома. Параметри α , β формули вибираються до початку еволюції та необхідні для тонкого налаштування процесу мутації.

Описані оператори селекції та рекомбінування в сукупності з функцією пристосованості та пулом “хороших” особин призначені для самоадаптації алгоритму до рівня складності задачі.

Розрахунок ресурсоємності отриманих значень і перевірка умов на неперевищення $res_{\text{доп}}$ для кожної особини в початковій популяції:

$$res_i = f(U_{eff}), \quad (2.25)$$

де U_{eff} – ключові показники ефективності.

Локальний пошук. Цей етап оптимізації особин популяції, наділяє алгоритм властивостями меметичності та обґрунтовує використання прямого методу кодування хромосом.

Генерування популяції P^{t+1} та перехід на нову ітерацію еволюції $t+1$:

$$P^{t+1} = MT\left(CR\left((SL)(P^t, F^t)\right)\right). \quad (2.26)$$

Етап локального пошуку складається з наступних кроків: еволюційна доналаштування особин популяції, на попередньому кроці перетворених на фенотипи; перерахунок функцій пристосованості; повернення до попередніх значень параметрів у разі зниження пристосованості.

Розрахунок функції належності рівня досягнення цілі $\Lambda_{ij}^{\text{targ}}$, що полягає в реалізації ітераційної процедури перерахунку цільових показників на основі розробленої нечіткої когнітивної моделі:

$$\Lambda_{ij}^{\text{targ}} = f(U_{\text{eff}}), j = \overline{1, k}. \quad (2.27)$$

Розрахунок параметра зупинки алгоритму на основі мінімального відхилення рівня досягнення цілі щодо необхідного значення:

$$\begin{aligned} \Delta\Lambda_{ij}^{\text{targ}} &= \Lambda_{ij}^{\text{targ}} - \Lambda_{i\text{необ}}^{\text{targ}}, \\ \Delta\Lambda &= \min_i \min_j \Delta\Lambda_{ij}^{\text{targ}}. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Наведені вище аналітичні залежності дозволяють описати СРЗ спеціального призначення у вигляді НЧКМ та провести оцінку її стану.

2.3.3 Математична модель захисту систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів

Однією з основних особливостей СРЗ спеціального призначення є те, що для потреб спеціальних користувачів виділено досить обмежений частотний ресурс, в якому функціонує велика кількість радіовипромінюючих засобів [40 – 64].

Проведений аналіз досліджень [40 – 64] свідчить про те, що ключовими особливостями новітніх засобів радіоелектронного придушення є:

- можливість ефективного придушення усього робочого діапазону частот ЗРЗ;
- інтелектуальне придушення СРЗ угруповань військ (сил) з урахуванням особливостей передачі інформації між пунктами управління, тобто для кожного типу ЗРЗ створюється унікальна перешкода;
- одночасне (квазіодночасне) придушення декількох радіонапрямків, а при груповому придушенні – всієї СРЗ;
- можливість нав'язування хибних режимів роботи ЗРЗ та передача хибної інформації в СРЗ.

Достовірно передбачити всі можливі варіанти деструктивного впливу на СРЗ угруповань військ (сил) на етапі планування зв'язку та на етапі розгортання СРЗ є не можливим. Отже, найбільш доцільним способом управління радіоресурсом є інтелектуальне управління [65–72].

Методи управління, що входять до інтелектуальної парадигми, базуються на теорії штучного інтелекту. Проте неправильно було б стверджувати про явні переваги будь-якої однієї парадигми перед рештою. Кожна з них, поряд з великою кількістю позитивних особливостей має і свої недоліки. Проте здатність інтелектуальних систем проводити самонавчання обумовлює їх перевагу, що виражається в вищій оперативності прийняття рішень, що в умовах радіоелектронного конфлікту є головним чинником [73–86].

Під критерієм ефективності функціонування СРЗ в умовах радіоелектронного придушення будемо вважати завадостійкість передачі конкретного типу інформації з заданою швидкістю передачі.

Враховуючи існуючі можливості засобів РЕП та їх перспективи подальшого розвитку пропонується застосовувати інтелектуальне управління радіоресурсом СРЗ спеціального призначення.

На даний момент машинне навчання активно застосовується в багатьох сферах: оптичному розпізнаванні символів, виявленні спаму, ідентифікації біометричних показників, побудові рекомендаційних сервісів та ін. Але в той же час при використанні машинного навчання виникає ряд труднощів з ідентифікацією деструктивного впливу на СРЗ [73–86].

Визначення виявлення деструктивного впливу на СРЗ включає в себе не тільки ідентифікацію по шаблонам, але і детектування впливу, що раніше не зустрічався. Разом з тим методи машинного навчання в контексті постановки такого завдання спрямовані лише на пошук взаємозв'язків і закономірностей функціонування СРЗ, знаходженні активності, що схожа на ту, що раніше зустрічалася в навчальній вибірці [73–86].

Застосування інструментів машинного навчання в готовому вигляді до завдання виявлення деструктивного впливу на СРЗ призводить до великої

кількості невиявлених впливів та дезорганізації самої СРЗ. Насамперед, це зумовлено динамічністю радіообміну та неоднорідним трафіком, що циркулює в мережі. Крім того, важко відстежити циклічність або сезонність такого обміну [73–86].

Тому для навчання інтелектуальних систем управління радіоресурсом СРЗ пропонується наступний підхід:

- максимально можливий опис множини всіх контрольованих параметрів СРЗ;
- застосування методів кореляційного аналізу для усунення компонентів, а іноді їх лінійних комбінацій, з близькою до нуля дисперсією;
- набір ознак, що залишився, використовується для навчання та перевірки моделі машинного навчання.

Для цього пропонується провести розробку штучної імунної системи, для виявлення та ідентифікації деструктивного впливу на СРЗ.

В даному дослідженні пропонується модель штучної імунної системи на основі еволюційного підходу для ідентифікації деструктивного впливу на СРЗ, яка описується:

$$AISEA = \langle D_\tau, D_M, S_A, S_N, G, R, \Psi \rangle, \quad (2.29)$$

де $D_\tau \subset D$ – набір часових імунних детекторів; D_M – набір імунних детекторів пам'яті; $S_A \subset S$ – навчальна вибірка, що складається з аномальних екземплярів (набір відомих варіантів придушення СРЗ); $S_N \subset S$ – тестова множина, що складається з нормальних екземплярів (множина параметрів ЗРЗ угруповання); $D = D_\tau \cup D_M$ – набір імунних детекторів; $G = \{G_1, \dots, G_K\}$ – стратегії генетичної оптимізації імунних детекторів; $R: D \times 2^{S_A} \times 2^{S_N} \times G \rightarrow D$ – правило навчання імунних детекторів; S – набір можливих вхідних об'єктів; $\Psi: D \times S \rightarrow \mathbb{R}_+$ – функція обчислення афінності (правило відповідності) між імунним детектором $d \in D$ та тестовим об'єктом $s \in S$, де $\mathbb{R}_+ = \mathbb{R} \cap [0, +\infty)$.

Кожен імунний детектор $d \in D$ описується як кортеж наступного виду:

$$d = \langle representation, threshold, life_time, state \rangle, \quad (2.30)$$

де $representation \in \{BitString, RealVector, NeuralNetwork, PetrNet, \dots\}$ – внутрішнє представлення (внутрішня структура) імунного детектора d , який може бути заданий як двійковий рядок з правилом r -неперервних бітів ($BitString$), дійсний вектор ($RealVector$), штучна нейронна мережа ($NeuralNetwork$), мережа Петрі ($PetriNet$) та ін.; $threshold \in \mathbb{R}_+$ – поріг активації імунного детектора d ; $life_time \in \mathbb{R}_+$ – термін дії імунного детектора d ; $state \in \{immature, semimature, mature, memory\}$ – поточний стан імунного детектора (2.43), яке може представляти собою незрілий, напівзрілий, зрілий стани або стан, що відповідає детектору пам'яті.

Загальний підготовчий процес побудови параметрів штучної імунної системи для ідентифікації деструктивного впливу на СРЗ може бути описаний таким чином:

1. Визначення корегувального коефіцієнту на ступінь інформованості сили та засоби деструктивного впливу на СРЗ. Ступенем інформованості може бути: повна невизначеність, часткова невизначеність, повна обізнаність.
2. Вибір внутрішньої структури кожного детектора $d \in D: representation$.
3. Формування навчального набору даних S_A , що містить заздалегідь відібрані “чужі” об’єкти.
4. Формування тестового набору даних S_N , що містить заздалегідь відібрані “свої” об’єкти.
5. Вибір стратегії генетичної оптимізації імунних детекторів.
6. Вибір алгоритму навчання R імунних детекторів D в залежності від їх внутрішнього представлення [66].
7. Вибір правила відповідності Ψ між імунним детектором та вхідним об’єктом.

Запропонована модель штучної імунної системи – це набір імунних детекторів, представлених у вигляді часових детекторів і детекторів пам'яті з заданим алгоритмом їх навчання, а також стратегію генетичної оптимізації.

Причому набір даних призначається для першого попереднього налаштування імунних детекторів, а роль набору даних S_N полягає в фільтрації навчених детекторів. Стратегії генетичної оптимізації імунних детекторів включають деякий набір генетичних операторів (кросоверу, мутації, інверсії) та їх комбінацій для зміни параметрів імунного детектора після його клонування. Правило навчання імунних детекторів є двокроковою процедурою. На першому кроці імунні детектори навчаються виключно на елементах набору даних S_A та піддаються клональній селекції, в процесі якої створені копії імунних детекторів мутують згідно з обраною стратегією $G' \in G$. Ця фаза повторюється кілька разів для формування напівзрілих детекторів. На другій фазі навчання ці детектори перевіряються на відповідність “своїм” об'єктам: ті з них, які помилково активуються, знищуються, заново ініціалізуються та навчаються. В рамках цієї моделі кожен імунний детектор піддається кільком етапам диференціювання. На початку свого розвитку кожен детектор ініціалізується довільним чином відповідно до свого внутрішнього уявлення. У процесі функціонування штучної імунної системи часові детектори здійснюють запис параметрів деструктивного впливу на СРЗ в базу даних, що оновлюється S_{A^*} у разі виявлення. Усі імунні детектори, крім детекторів пам'яті, мають кінцевий термін життя. Якщо протягом даного терміну життя вони не виявили жодного деструктивного впливу на СРЗ, вони піддаються повторному навчанню на розширеному наборі даних, що містить елементи S_A та S_{A^*} .

У той же час, якщо імунний детектор розпізнав деструктивний вплив на СРЗ, його термін життя збільшується. На відміну від них, детектори пам'яті мають нескінченний термін життя та не беруть участі в наповненні оновлюваного набору деструктивного впливу.

Для виявлення кожного класу деструктивного впливу $c \in C$ виділяється кілька імунних детекторів, що об'єднуються в клас детекторів

$D_{\zeta(C)}, \left(\bigcup_{c \in C} D_{\zeta(C)} = D \right)$. Кожен із детекторів $d \in D_{\zeta(C)}$ використовує глибоке навчання, запропоноване в роботі [66] на різних випадкових підвиборках множин S_A та $S_N - S_A^{(d)}$, та $S_A^{(d)}$ які, можливо, містять деякі дублюючі та переупорядковані об'єкти з вихідних наборів. Тим самим досягається різноманітність імунних детекторів усередині $D_{\zeta(C)}$. Відповідно під q -ою групою детекторів розуміється набір детекторів $D_{\zeta(C)} \left(\bigcup_{q=1}^m D^{(q)} = D \right)$, m – число класів деструктивного впливу на СРЗ, які повністю покривають задану множину класів атак. Якщо детектор d реагує на будь-який елемент $s' \in S_N^{(d)}$, тобто, якщо $\exists s' \in S_N^{(d)} \Psi(d, s') > \min_{s \in S_A^{(d)}} \Psi(d, s)$, то детектор d піддається апоптозу та заміні новим довільно згенерованим детектором. Для кожного класу деструктивного впливу $c \in C$ визначається рівно один детектор пам'яті $d_m^{(c)}$ – детектор, який задовольняє вимозі максимальної пристосованості до розпізнавання об'єктів $S_A^{(d_m^{(c)})} \cap C$. Таким чином, набір імунних детекторів пам'яті може бути визначений таким чином:

$$D_M = \bigcup_{c \in C} \left\{ \arg \max_{d \in D_{\zeta(C)}} \left(\frac{\sum_{s \in S_A^{(d)} \cap C} \Psi(d, s)}{\#(S_A^{(d)} \cap C)} \right) \right\}. \quad (2.31)$$

Набір часових імунних детекторів визначається наступним чином:

$$D_{\tau} = \frac{D}{D_M}. \quad (2.32)$$

Поріг активації імунного детектора $d \in D$, навченого на наборах $S_A^{(d)}$ та $S_N^{(d)}$,

обчислюється наступним чином:

$$threshold = \frac{\overbrace{\min_{s \in S_A^{(d)}} \Psi(d, s)}^{h_d^-} + \overbrace{\min_{s \in S_N^{(d)}} \Psi(d, s)}^{h_d^+}}{2}. \quad (2.33)$$

Зазначена формула застосовується для обчислення порогу активації тільки тих детекторів d , які після навчання на множині аномальних даних $S_A^{(d)}$ не мають помилкових спрацьовувань на множині нормальних даних $S_N^{(d)}$, тобто $\forall s' \in S_N^{(d)} \Psi(d, s') < h_d^-$. Якщо така умова виконується, то з'являється додатковий проміжок, рівний величині $h_d = h_d^- - h_d^+ > 0$, і тим самим виникає можливість “зрушити” граничне значення h_d^- , що забезпечує реагування детектора d на будь-який “чужий” об'єкт $s \in S_A^{(d)}$ на величину $\frac{h_d^- - h_d^+}{2}$ в сторону h_d^+

$threshold = h_d^- - \frac{h_d^- - h_d^+}{2} = \frac{h_d^- + h_d^+}{2}$. Виявлення деструктивного впливу на СРЗ $s \in S$ за допомогою розглянутої моделі здійснюється наступним чином:

1. Визначення корегувального коефіцієнту на ступінь інформованості про сили та засоби деструктивного впливу на СРЗ.

2. Обчислення для кожного імунного детектора $d \in D$ значення його активації $a_d = \Psi(d, s) - threshold$. Вважається, що якщо $a_d \geq 0$, то детектор d є активованим, інакше відповідний детектор не реагує на вхідний об'єкт.

3. Мажоритарне голосування всередині кожного класу детекторів

$D_{\zeta(C)} \sum_{d \in D_{\zeta(C)}} [a_d \geq 0] > \sum_{d \in D_{\zeta(C)}} [a_d < 0]$, то s розпізнається як “чужий” об'єкт. Якщо $A_C < B_C$, то s розпізнається як “свій” об'єкт. В разі наявності конфліктів, тобто $A_C = B_C$, s класифікується як “чужий” об'єкт, якщо $a_{d_m^{(C)}} \geq 0$, та s класифікується як “свій” об'єкт, якщо $a_{d_m^{(C)}} < 0$, де $d_m^{(C)} \in D_M \cap D_{\zeta(C)}$, $d_m^{(C)}$ – детектор пам'яті,

навчений для розпізнавання “свого” об’єкту та “чужого” об’єкта з класу C .

4. Формування множини класів імунних детекторів, що активувалися $\{D_{\zeta(C')}\}_{C' \in c}$ які розпізнають вхідний об’єкт s як “чужий” об’єкт, де $C^* = \left\{ C' \mid C' \in c \wedge \left(A_{C'} > B_{C'} \vee \left(A_{C'} = B_{C'} \wedge a_{d_m^{(C')}} \geq 0 \right) \right) \right\} \subset c$.

5. Визначення класу об’єкта s . Якщо $C^* = \emptyset$, то об’єкт s належить до класу “своїх” об’єктів. Якщо $E_{c^*} \rightleftharpoons \max_{C' \in c^*} A_{C'}$ досягається в одній єдиній точці, то клас об’єкта $\arg E_{c^*}$, інакше клас об’єкта s – це $\arg \max_{C' \in \{\arg E_{c^*}\}} \sum_{d \in D_{\zeta(C')}} \times [a_d \geq 0]$.

Даний алгоритм заснований на порівнянні величини афінності імунних детекторів з їх індивідуально налаштованими порогоми активації та врахуванні однакових голосів, отриманих від більшої частини детекторів. У разі виникнення конфліктів при розрізненні між нормальним та аномальним класом (крок 3) вирішальний голос віддається детектору пам’яті. Якщо ж після цього зберігається конфлікт лише на рівні групи детекторів, то береться до уваги сума величин афінності, що саме активувалися у відповідь на даний стимул (вхідний об’єкт) імунних детекторів (крок 5).

Вхідний об’єкт є “своїм” тоді й лише тоді, коли $\forall C \in c \ A_C < B_C \vee \left(A_C = B_C \wedge a_{d_m^{(C)}} < 0 \right)$. Як основу для даної моделі використовувалися: 1) модель з життєвим циклом (M_1); 2) модель з бібліотекою генів (M_2); 3) модель AISEA (M_3); 4) розроблена модель (M_4), що була доповнена низкою удосконалень, а саме: врахуванням типу невизначеності про радіоелектронну обстановку (РЕО); удосконаленим алгоритмом навчання імунних детекторів; механізмом автоматичного підбору їх порогу активації, а також процедурою вирішення конфліктних випадків класифікації одного об’єкта за допомогою імунних детекторів пам’яті. Порівняння цих чотирьох моделей наведено в табл. 2.2. Знаком “+” відмічені характеристики, які притаманні відповідній моделі, знак “-” означає відсутність підтримки цієї особливості моделі.

Результати порівняльного аналізу, що наведені в табл. 2.2, дозволяють зробити висновок про перевагу зазначеної моделі у порівнянні з відомими.

Висновки до розділу 2

1. Проведено обґрунтування принципів побудови інтелектуальних систем управління СРЗ спеціального призначення для реалізації завдань управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення. Зазначено, що при проектуванні інтелектуальних систем управління СРЗ та на етапі оперативного управління засобами завадозахисту необхідно дотримуватися компромісних позицій для високої обґрунтованості управління засобами завадозахисту.

2. Аналіз особливостей функціонування СРЗ спеціального призначення, задач, етапів і функцій управління ними дозволив визначити базові положення методології інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення. Обґрунтовані та розвинуті положення системного підходу до вирішення проблеми інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ:

проведена класифікація задач інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ;

розроблена схема системного аналізу і синтезу методів інтелектуального управління режимами і параметрами сигналів СРЗ;

сформульована мета функціонування підсистеми інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ, обґрунтовані принципи її побудови і структура;

визначені показники і критерії ефективності функціонування СРЗ;

обґрунтовані етапи вирішення проблеми розробки методологічних основ інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ;

проведена декомпозиція рішення даної проблеми на задачі в залежності від сигнальної та заводової обстановки в каналі та наявності інформації про дії системи радіоелектронного придушення.

3. Запропонована 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.

Розроблена концепція дозволяє:

здійснювати організацію взаємодії розрізнених моделей і їх узгодження по параметрам і характеристикам СРЗ, за часом розрахунків, точністю й одиницями виміру;

оперувати із уже існуючими моделями, а також включати до складу комплексу знову створювані моделі, забезпечуючи можливість поповнення, удосконалювання та відновлення моделей;

інтегрувати моделі комплексу залежно від конкретної ситуації створення й адаптації, моделювати мережі і їх елементи;

проводити різноманітні розрахунки й багаторівневе моделювання; ефективно оцінювати мережні параметри та характеристики.

4. Проведено розробку математичної моделі оцінки радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованої математичної моделі від відомих полягає в тому, що запропонована математична модель дозволяє:

класифікувати досліджувані сигнали і порогові значення обмежень по всьому набору тематичних властивостей;

визначити характер деструктивного впливу на СРЗ;

провести оцінку стану радіоелектронної обстановки за кількісними та якісними показниками оцінки радіоелектронної обстановки.

5. Запропоновано модель оцінки стану СРЗ спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів. В зазначеній моделі процес оцінки стану СРЗ представлено у вигляді багатовимірною часового ряду. Це дозволяє створити ієрархічний опис складного процесу за рівнями узагальнення та провести відповідний аналіз її стану.

Запропонована модель дозволяє:

врахувати пристосованість особин та популяції в цілому;

підвищити оперативність прийняття рішень за рахунок використання штрафів на розмір НЧКМ та тривалості існування особин та популяції в цілому;

застосовувати як універсальний інструмент вирішення завдання аналізу стану СРЗ за рахунок ієрархічності опису СРЗ;

перевірити адекватність отриманих результатів;

врахувати ресурсоємність отриманих значень оцінки;

уникнути проблеми локального екстремуму.

б. Запропоновано модель захисту СРЗ спеціального призначення в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів.

Розроблена модель є універсальною по відношенню до внутрішнього представлення імунних детекторів. Розроблена модель додатково:

враховує тип невизначеності про наявні можливості радіоелектронної протидії, засоби кібер впливу на СРЗ;

використовується механізм розв'язання конфліктних випадків класифікації;

використовується процедура автоматичного обчислення порога активації імунних детекторів, а також універсальність структури їхнього представлення;

відбувається постійне оновлення імунних детекторів протягом різних етапів дозрівання (життєвого циклу) та їх перенавчання з використанням набору деструктивного впливу на СРЗ, що розширюється.

Основні наукові результати, отримані в даному розділі дисертаційних досліджень, опубліковані в роботах [26–86].

Список використаних джерел до 2 розділу

1. Шишацький А. В. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил / А. В. Шишацький О. М. Башкиров, О. М. Костина // Науково-технічний журнал “Озброєння та військова техніка”. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2015. № 1(5) 2015. – С. 35–40.

2. Романюк В. А. Направления развития тактических сетей связи / В. А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63–65.

3. Банкет В. Л. Цифровые методы в спутниковой связи / В. Л. Банкет, В. М. Дорофеев. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
4. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений / Л. М. Финк. – [2-е изд.]. – М.: Советское радио, 1970. – 728 с.
5. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011. – 904 с.
6. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
7. Теплов Н. Л. Теория передачи сигналов / Н. Л. Теплов. – М.: Воениздат, 1976. – 424 с.
8. Возенкрафт Дж. Теоретические основы техники связи / Дж. Возенкрафт, И. Джекобс; пер. с англ., ред. Р. Л. Добрушина. – М.: Мир, 1969. – 640 с.
9. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр – [2-е изд.]. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
10. Григорьев В. А. Сети и системы радиодоступа / В. А. Григорьев, О. И. Лагутенко, Ю. А. Распаев. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
11. Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
12. Жук О. Г. Анализ задач оперативного управления радиоресурсом систем радиосвязи [Текст] / О. Г. Жук, О. В. Кувшинов, И. В. Борисов // Научно-практический журнал “Наука и образование” Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана. – 2014 – №. 34 – С. 75–80.
13. Жук О. Г. Методологічні основи створення адаптивних систем радіозв’язку / О. Г. Жук, В. В. Огризько // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – №1(25) – 2016 – С.49–54.
14. Пермяков О. Ю. Застосування сучасних інформаційних технологій в збройній боротьбі / О. Ю. Пермяков // Modern information technologies in the Sphere of security and Defence. – 2008. – №2. – С. 69–74.

15. Клімович С.О., Борисов О.В., Борисов І.В. Ляшенко Г. Т. Оперативне управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку в умовах навмисних завад. Збірник наукових праць ВІТІ № 4 – 2018. С. 59–64.

16. Suman B. Investigation communication architecture for tactical radio networks design / Suman B., Sharma S., Kumar M // International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences. – 2012. – Vol. 2, Issue 2. – pp. 112 – 118.

17. Ramanathan R. A Radically New Architecture for Next Generation Mobile Ad Hoc Networks / R.Ramanathan // In IEEE Proceeding. – 2005. – pp. 132 – 139.

18. Withington T. The Golden Age of Wireless / T. Withington // Compendium by Armada. – 2013. – Vol. 37, Issue 5. – pp. 3 – 26.

19. Ramanathan R. A Radically New Architecture for Next Generation Mobile Ad Hoc Networks / R.Ramanathan // In IEEE Proceeding. – 2005. – pp. 132 – 139.

20. Withington T. The Golden Age of Wireless / T. Withington // Compendium by Armada. – 2013. – Vol. 37, Issue 5. – pp. 3 – 26.

21. Самоорганізуючі радіосеті со сверхширокополосними сигналами / [С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк]. – К.: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН України”, 2012. – 444 с.: ил.

22. Романюк В. А. Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // Збірник наукових праць № 3. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2009. – С. 70 – 76.

23. Миночкин А.И. Методология оперативного управления мобильными радиосетями / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.

24. Міночкін А.І. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – № 3. – С. 51 – 60.

25. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / [Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П.]. – М.: Наука, 2006. – 333 с. – (Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН).

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems / O.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.

30. 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.

31. 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>

32. 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.

33. 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. Volume 9 – 2021. – № 1(109). – pp. 18–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225331.

34. 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.

35. 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>.

36. 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>.

37. 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>.

38. 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>.

39. 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>.

40. 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.

41. 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>.

42. 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>.

43. 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>.

44. 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>.

45. 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>.

46. 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>.

47. 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>.

48. 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>.

49. 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>.

50. 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>.

51. 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>.

52. 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>.

53. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskyi, Dmytro Shevchenko, Bohdan Molodetskyi, Vitalii Stryhun, Yuriy 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>.

54. 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>.

55. 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>.

56. 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., Stadnijtschuk 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/>.

57. Fedoriienko, 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>.

58. Abed, A. A., Repilo, I., Zhyvotovskiy, R., Shyshatskyi, A., Hohoniants, 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>.

59. 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>.

60. 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>.

61. 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.

62. 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.

63. 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.

64. 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.

65. 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.

66. 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.

67. 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., Іжутова І. В., Прошин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

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

69. 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.

70. 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.

71. 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.

72. 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.

73. 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.

74. 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.

75. Шабанова-Кушнаренко 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.

76. 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.

77. 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>.

78. 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.

79. 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.

80. 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.

81. 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.

82. 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.

83. 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.

84. 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.

85. 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.

86. 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.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ СКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ОБСТАНОВКИ

3.1 Метод оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення

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 СРЗ спеціального призначення обрано метод Rete [1–8]. Основним недоліком методу Rete є те його робота тільки з чіткими продукціями, що не дозволяє його використовувати при обробці різнотипних даних в ході аналізу радіоелектронної обстановки.

Схема реалізації запропонованого методу оцінки РЕО наведена на рис. 3.1.

Дія 1 Введення вихідних даних для аналізу радіоелектронної обстановки (дія 1 на рис. 3.1).

На даному етапі відбувається введення початкової радіоелектронної обстановки, що притаманна зазначеному регіону.

Дія 2 Формування бази знань (БЗ) з урахуванням невизначеності.

На зазначеному етапі відбувається формування БЗ за на підставі виразів (3.1)–(3.13). При перетворенні значень РЕО в нечіткі правила враховується значення невизначеності про джерела радіовипромінювання, відповідно до виразів (3.6)–(3.8) [2].

Формальна модель нейро-нечіткої бази правил буде мати вигляд (3.1):

$$\{P_n\} = \{\text{Rule}\}, \quad (3.1)$$

де Rule – правило нейро-нечіткої експертної системи. Кожне правило визначається наступним чином (3.2):

$$\text{Rule} = \langle C \rightarrow S \rangle, \quad (3.2)$$

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 (3.3):

$$C = \langle C_l, R, C_r \rangle, \quad (3.3)$$

де C_l – лівий вузол умови правила, R – відношення між вузлами правил, C_r – правий вузол умови правила.

Далі розглянемо наведені параметри.

$$C_l = FC_l \parallel \text{Null} \parallel C, \quad (3.4)$$

$$C_r = FC_r \parallel \text{Null} \parallel C, \quad (3.5)$$

де FC_l – ліва кінцева трійка умови правила, FC_r – права кінцева трійка умови правила.

Формули (3.4) та (3.5) дозволяють описати умови з різним ступенем вкладеності.

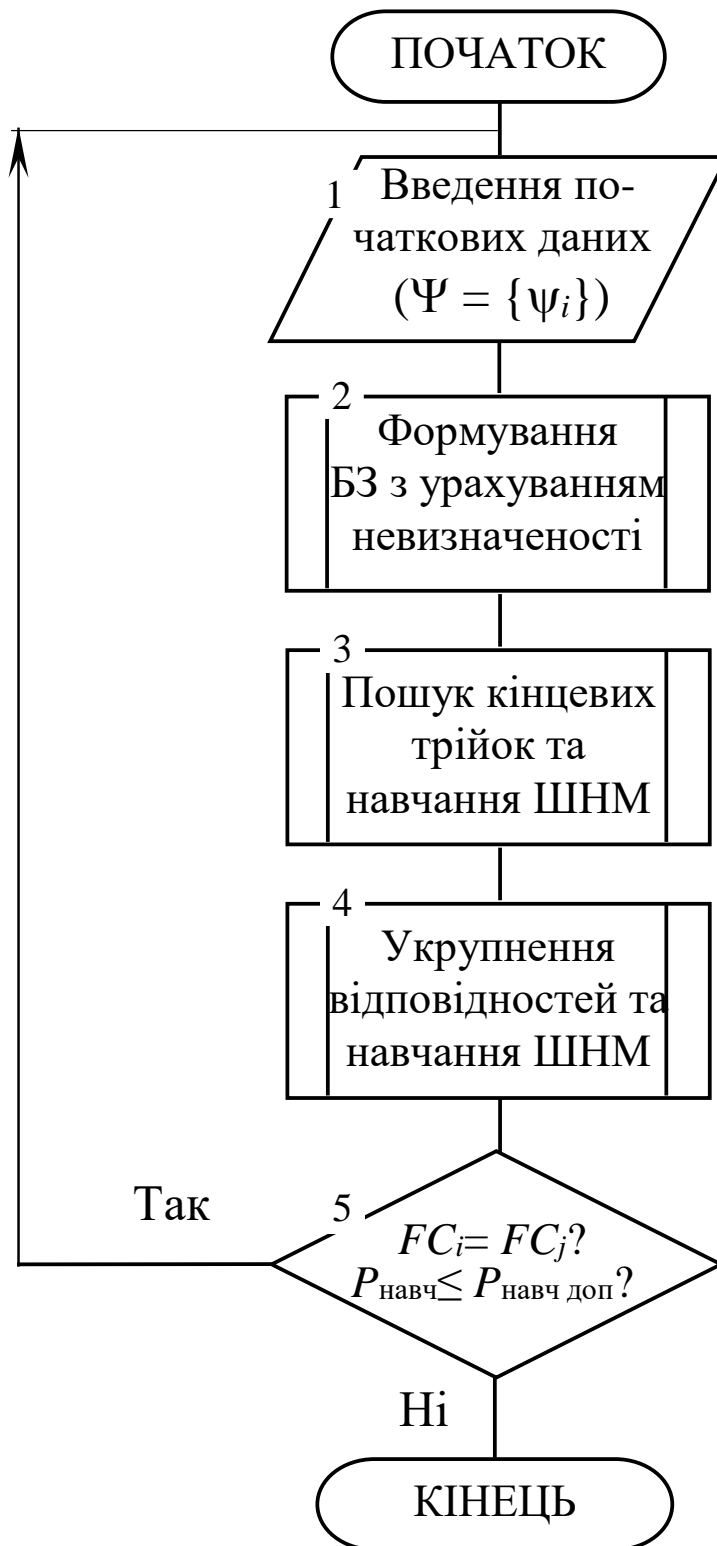


Рис. 3.1 Метод оцінки РЕО СРЗ

$$FC_i = \langle L, Z, W \rangle, \quad (3.6)$$

$$FC_r = \langle L, Z, W \rangle, \quad (3.7)$$

де L – лінгвістична змінна, Z – знак умови $Z = \{<, >, <=, >=, =, !=\}$; W – значення умови, яке визначається наступним чином (3.8):

$$W = L \parallel V, \quad (3.8)$$

де L – лінгвістична змінна, V – фіксоване значення (3.9).

$$V = T_i \parallel \text{const}, \quad (3.9)$$

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 вузовими вершинами $R \subset (C_l \times C_r)$ або $R: C_l \rightarrow C_r$.

Аналогічно параметру C визначається параметр S – наслідок правила.

$$S = \langle S_l, R, S_r \rangle, \quad (3.10)$$

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

$$S_l = FS_l \parallel \text{Null} \parallel S, \quad (3.11)$$

$$S_r = FS_r \parallel \text{Null} \parallel S, \quad (3.12)$$

де FS_l – ліва кінцева трійка наслідку правила, FS_r – права кінцева трійка наслідку правила. Формули (3.11) та (3.12) дозволяють описати наслідки з різним ступенем вкладеності.

$$FS_l = \langle L, Op, W \rangle, \quad (3.13)$$

$$FS_r = \langle L, Op, W \rangle, \quad (3.14)$$

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

Дія 3 Пошук кінцевих трійок та навчання ШНМ (дія 3 на схемі алгоритму)

На даному етапі роботи методу Rete виконується пошук близьких кінцевих трійок у всіх правилах продукційної бази знань. Знайдені відповідності між кінцевими трійками позначаються. У правилах встановлюються посилання такі кінцеві трійки для забезпечення їх одноразової обробки. На відміну від класичних нейро-нечітких експертних систем, в зазначеній нейро-нечіткій експертній системі в якості штучної нейронної мережі пропонується використовувати нейро-нечітку еволюційну мережу, архітектура якої наведена в працях [3, 10]. Також на зазначеному етапі відбувається навчання параметрів та архітектури штучної нейронної мережі відповідно до методу навчання, який запропонований в роботі [3].

Розглянемо алгоритм пошуку відповідностей кінцевих трійок дерева рішення.

Вхідні дані: Rule – база правил, представлена у вигляді дерева рішень.

Вихідні дані: Rule' – скорочена база правил, представлена у вигляді дерева рішень. Проміжні дані: FC_i та FC_j – поточні кінцеві трійки.

Крок 3.1. Спочатку роботи алгоритму всі кінцеві трійки не помічені (не перевірені), m – кількість кінцевих трійок. Встановити початкове значення $i=1$.

Крок 3.2. Якщо $i > m$, то до кроку 3.10.

Крок 3.3. Якщо FC_i помічена, то $i = i + 1$ та до кроку 3.2.

Крок 3.4. Вибрати FC_i . Встановити $j = j + 1$.

Крок 3.5. Якщо $j > m$, то помітити FC_i , як проглянуту кінцеву трійку та

перейти до кроку 3.2.

Крок 3.6. Якщо FC_j помічена, то $j = j + 1$ та до кроку 3.5.

Крок 3.7. Обрати FC_j . Виконати процедуру перевірки близькості кінцевих вузлів та кінцевих трійок FC_i та FC_j .

Крок 3.8. Якщо результат успішний, то додати FC_j в список відповідностей для FC_i , та FC_j , кінцеву трійку, що була перевірена.

Крок 3.9. Визначення помилки навчання. Прийняття рішення щодо навчання ШНМ з урахуванням типу невизначеності.

Крок 3.10. Перейти до кроку 3.2.

Крок 3.11. Кінець.

Дія 4. Укрупнення відповідностей та навчання ШНМ (дія 4 на схемі алгоритму).

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.

Далі розглянемо алгоритм пошуку укрупнення знайдених відповідностей.

Вхідні данні: Rule' – скорочена база правил, представлена у вигляді дерева рішень, з об'єднаними однаковими кінцевими трійками.

S_p – список кінцевих трійок, для яких знайдені відповідності; k – кількість елементів у списку S_p , S_{pi} – список кінцевий трійки FC_i , що містить відповідні їй кінцеві трійки з індексами; k_i – кількість елементів у списку S_{pi} .

Вихідні данні: Rule" – скорочена база правил, в якій об'єднані всі однакові умови.

Проміжні дані: FC_i та FC_j – поточні кінцеві трійки, C_i та C_j батьківські вузли для FC_i та FC_j .

Крок 4.1. Встановити $i = 1$.

Крок 4.2. Вибрати в дереві рішень FC_i , що знаходиться на i -му місці в списку

S_p .

Крок 4.3. Встановити $j = 1$.

Крок 4.4. Обрати зі списку S_{pi} кінцеву трійку FC_j , що знаходиться на j -му місці. Вилучити батьківські вузли C_i та C_j для FC_i та FC_j .

Крок 4.5. Виконати рекурсивну процедуру перевірки проміжних вузлів C_i та C_j .

Крок 4.6. Якщо результат функції успішний, встановити відповідність між вузлами C_i та C_j , інакше перейти до кроку 4.7.

Крок 4.7. $j = j + 1$. Якщо $j > k_i$, то до кроку 4.8, інакше до кроку 4.4.

Крок 4.8. $i = i + 1$. Якщо $i > k$, то до кроку 4.10, інакше до кроку 4.2.

Крок 4.9. Визначення помилки навчання. Прийняття рішення щодо навчання ШНМ з урахуванням типу невизначеності.

Крок 4.10. Кінець.

Дія 5. Перевірка метрики оцінки близькості та визначення помилки навчання ШНМ (дія 5 на рис. 3.1).

На зазначеному етапі відбувається визначення метрики близькості отриманих рішень та визначення помилки навчання з метою прийняття управлінських рішень.

3.2 Метод оцінки та прогнозування стану системи радіозв'язку спеціального призначення

Для забезпечення можливості здійснення аналізу стану СРЗ та забезпечення прогнозування її стану пропонується застосувати системний підхід для аналізу та прогнозування її стану.

На рис. 3.2 представлена структурна схема системи управління процесом аналізу СРЗ яка поділяється на [8, 12]:

- 1) управляючу підсистему (суб'єкт управління, S);
- 2) управляєму підсистему (об'єкт управління, O);
- 3) модель СРЗ (в даному випадку нечітка когнітивна модель Y).

Нечітка когнітивна модель використовується у зв'язку з тим, що стан СРЗ як правило характеризують як числові та і якісні показники. Це вимагає приведення їх до єдиної одиниці виміру.

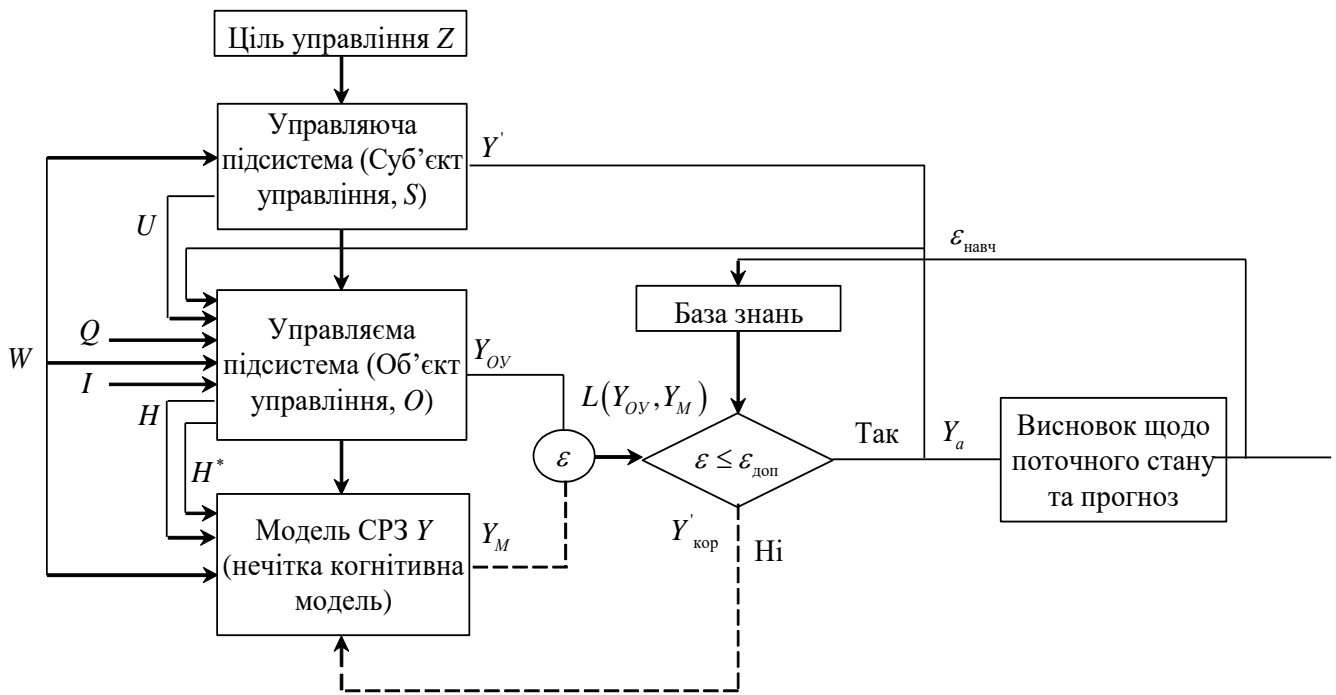


Рис. 3.2 Структурна схема системи аналізу стану СРЗ

Наведемо пояснення змінних які наведені на рис. 3.2:

W – зовнішня інформація; Q – ресурси системи необхідні для аналізу СРЗ; H – внутрішня інформація необхідна для побудови нечітких когнітивних моделей (НКМ); H^* – виправлена помилка; U – керуючий вплив (прийняття управлінських рішень, команди управління) (прямий зв'язок); Y_{OV} – вихідна інформація (фактичні дані, параметри, показники), що характеризує стан об'єкта управління; Y_M – вихідні параметри моделі (бажані, очікувані параметри); ε – помилка (неузгодженість); $\varepsilon_{доп}$ – фіксоване задане значення; $L(Y_{OV}, Y_M)$ – перевірка відповідності даних, отриманих на основі моделі, реальній СРЗ, для опису якого вона будується; Y' – інформація про стан СРЗ (зворотний зв'язок); $Y'_{кор}$ – коригування моделі (додавання нових факторів і зв'язків між ними); Y_a – адекватна модель СРЗ, що відповідає її реальному стану; $\varepsilon_{навч}$ – оновлення бази знань.

Під управляємою підсистемою (O) розглядаються СРЗ (на які спрямовані управлінські впливи. Під моделлю СРЗ розуміється розробка і дослідження нечіткої когнітивної моделі оцінки стану СРЗ з використанням методології нечіткого когнітивного моделювання стану СРЗ.

Управляюча підсистема виробляє управляючий вплив U на основі мети управління, а також інформації, що надійшла з зовнішнього середовища W . Управляема підсистема отримує інформацію (Q, I, U), яка формує завдання по аналізу та прогнозування стану СРЗ.

На основі W, Q, I розробляються і досліджуються нечіткі когнітивні моделі з використанням методології нечіткого когнітивного моделювання процесу аналізу СРЗ, що дозволяють досліджувати і аналізувати можливі сценарії розвитку СРЗ. Під сценаріями розвитку системи розуміються сценарії розвитку ситуацій, пов'язані з характером дій СРЗ.

Якщо отримані результати (розрахункові значення) Y_m не відповідають фактичними результатами, які характеризують стан Y_{ou} (умова $\varepsilon \leq \varepsilon_{доп}$ не виконується), то управляюча підсистема вносить коригування НКМ ($Y_{кор}$). Якщо умова $\varepsilon \leq \varepsilon_{доп}$ виконується, то НКМ є адекватної Y_a . В результаті отримання адекватної НКМ можна передбачати поведінку СРЗ.

Для перевірки адекватності моделі пропонується “історичний метод”, який полягає в тому, що побудовані НКМ застосовуються до подібних ситуацій, якщо подібні ситуації відбувалися в минулому і динаміка їх відома. В цьому випадку НКМ виявляється працездатною (отримані результати збігаються з реальним ходом подій), вона визнається правильною.

Управління здійснюється з застосуванням зворотного зв'язку Y' . Управляюча підсистема отримує інформацію від управляємої підсистеми Y' , а також від зовнішнього середовища W . Управляюча підсистема обробляє і зіставляє її з бажаними характеристиками об'єкта управління, а потім приймає нове рішення, виробляє наступне керуючий вплив U на її основі. Керована підсистема також сприймає інформацію Y' , обробляє і зіставляє її з бажаними характеристиками СРЗ і на її підставі виправляє помилку H^* .

Систему управління процесом аналізу СРЗ можна представити у вигляді кортежу:

$$S_{\text{упр}} = \langle S, O, Y, Z, W, Q, Ya, D \rangle, \quad (3.15)$$

де Z – мета управління; $D = \langle I, H, U, Y_{\text{ОУ}}, Y_{\text{М}}, Y, H^*, Y_{\text{кор}} \rangle$ – внутрішнє середовище системи управління $S_{\text{упр}}$; $Y = \langle W, H, H^*, Y_{\text{М}} \rangle$ – модель СРЗ, результатом $Y_{\text{М}}$ якого є НКМ.

Метод оцінки та прогнозування стану СРЗ складається з наступної послідовності дій (рис. 3.3) [11, 14, 15,]:

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.

$$s_{i(\text{norm})}^{(t-l_i^j)} = \frac{s_i^{(t-l_i^j)} - s_{i(\text{min})}}{s_{i(\text{max})} - s_{i(\text{min})}}, l_i^j = 0, \dots, L_i^j, \quad (3.16)$$

де $s_{i(\text{norm})}^{(t-l_i^j)}$ – нормоване значення; $s_{i(\text{max})}, s_{i(\text{min})}$ – 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.

3. 1. Обробка вихідних даних.

Оскільки обробка вихідних даних є підготовчим етапом для побудови НЧКМ, то далі оперуємо поняттям “вершина”.

Значення параметрів вершин x_{vi} , $i = \overline{1, h}$ (h – кількість факторів) можуть бути представлені у вигляді: чисел, які відрізняються одиницями вимірювання і порядком величин; інтервалами $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}]$, де x_{v_i1} , x_{v_i2} – мінімальне та максимальне значення вершин; вербальних описів; нечітких трикутних чисел $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}]$, де x_{v_i1} , x_{v_i2} , x_{v_i3} – мінімальне, найбільш очікуване і максимальне значення вершин; нечітких трапецієподібних чисел $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}, x_{v_i4}]$, де x_{v_i1} , x_{v_i2} – песимістична та оптимістична оцінки меж інтервалів, x_{v_i3} , x_{v_i4} – інтервал найбільш можливої оцінки.

3.2 Нормування значень параметрів вершин, представлених у вигляді інтервалів, нечітких чисел.

Для нормування значень параметрів вершин пропонуються наступні способи перетворення:

- 1) для інтервалів $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}]$:

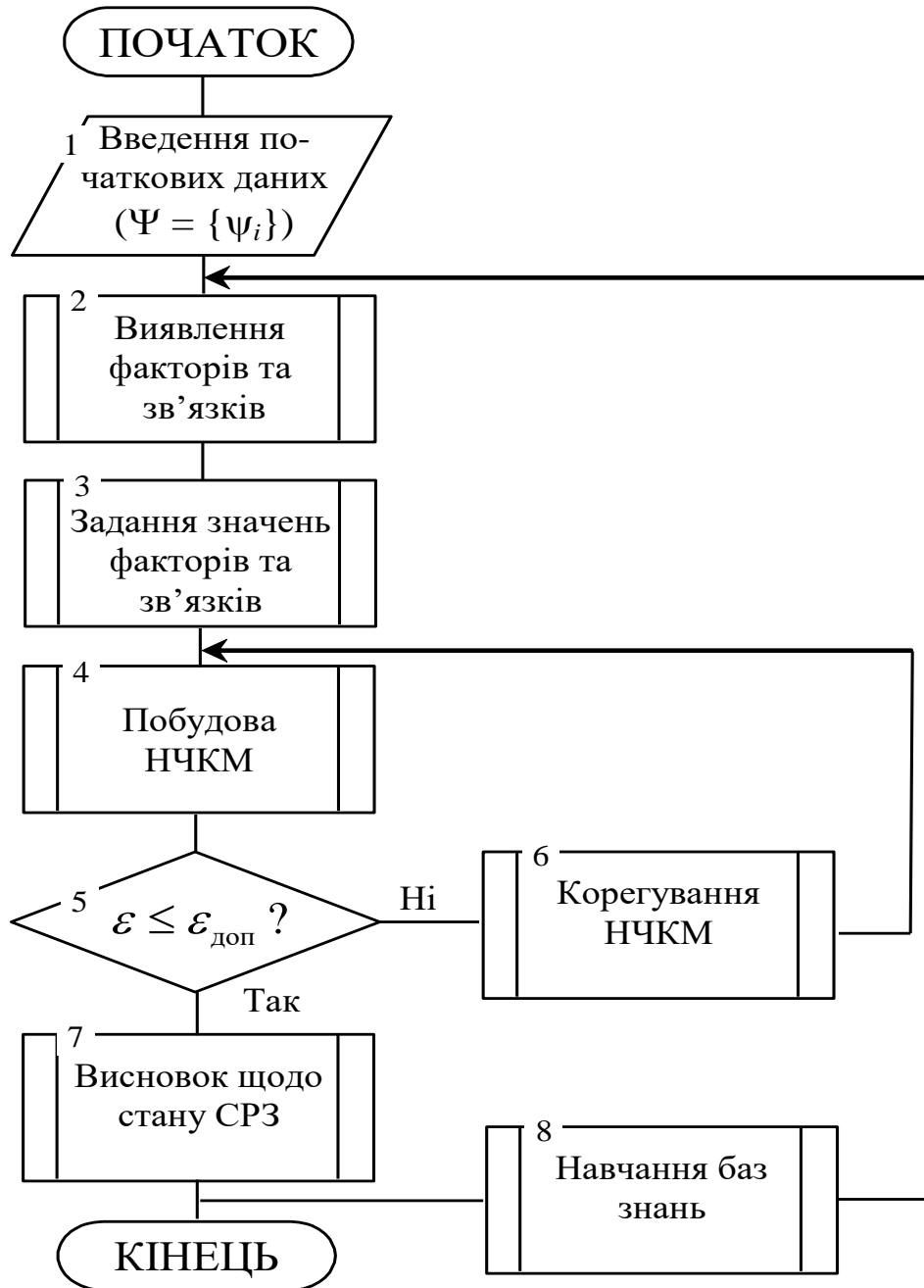


Рис. 3.3 Метод аналізу та прогнозування стану СРЗ

$$x_{v_i}^{\text{норм}} = \left[\frac{x_{v_i 1}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i 2}}{x_i^{\text{max}}} \right], x_i^{*\text{max}} = \max_{1 \leq i \leq h^*} \{x_{v_i 2}\}; \quad (3.17)$$

2) для нечітких трикутних чисел $x_{v_i} = [x_{v_i 1}, x_{v_i 2}, x_{v_i 3}]$:

$$x_{v_i}^{\text{норм}} = \left[\frac{x_{v_i1}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i2}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i3}}{x_i^{\text{max}}} \right], x_i^{**\text{max}} = \max_{l \leq i \leq h^{**}} \{x_{v_i3}\}; \quad (3.18)$$

3) для нечітких трапецієподібних чисел $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}, x_{v_i4}]$

$$x_{v_i}^{\text{норм}} = \left[\frac{x_{v_i1}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i2}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i3}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i4}}{x_i^{\text{max}}} \right], x_i^{***\text{max}} = \max_{l \leq i \leq h^{***}} \{x_{v_i4}\}; \quad (3.19)$$

4) для нечітких багатограноподібних чисел $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}, x_{v_i4}, \dots, x_{v_iN}]$

$$x_{v_i}^{\text{норм}} = \left[\frac{x_{v_i1}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i2}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i3}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i4}}{x_i^{\text{max}}}, \dots, \frac{x_{v_iN}}{x_i^{\text{max}}} \right], x_i^{N*\text{max}} = \max_{l \leq i \leq h^{N*}} \{x_{v_iN}\}; \quad (3.20)$$

де $x_{v_i}^{\text{норм}}$ – нормовані значення параметрів вершин, $x_{v_i}^{\text{норм}} \in [0,1]$; $x_{v_i2}, x_{v_i3}, x_{v_i4}$ – максимальні значення параметрів вершин; $x_i^{*\text{max}}, x_i^{**\text{max}}, x_i^{***\text{max}}$ – максимальні значення серед максимальних значень параметрів вершин, представлених у вигляді інтервалів, нечітких трикутних і трапецієподібних чисел; h^*, h^{**}, h^{***} – кількість вершин, значення параметрів яких представлені у вигляді інтервалів нечітких чисел. В результаті нормування значення параметрів вершин представляють собою інтервали з нормованими значеннями параметрів вершин $x_{v_i}^{\text{норм}} \in [0,1]$.

3.3 Нормування значень зв'язків між вершинами, представлених у вигляді інтервалів, нечітких чисел.

Для нормування значень зв'язків пропонуються наступні способи перетворення:

1) для інтервалів $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}]$:

$$w_{ij}^{\text{норм}} = \left[\frac{w_{ij1}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\text{max}}} \right], w^{*\text{max}} = \max_{\substack{l \leq i \leq h, \\ l \leq j \leq h}} \{w_{ij2}\}; \quad (3.21)$$

2) для нечітких трикутних чисел $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}]$:

$$w_{ij}^{\text{норм}} = \left[\frac{w_{ij1}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij3}}{w^{\text{max}}} \right], w^{**\text{max}} = \max_{\substack{l \leq i \leq h, \\ l \leq j \leq h}} \{w_{ij3}\}; \quad (3.22)$$

3) для нечітких трапецієподібних чисел:

$$w_{ij}^{\text{норм}} = \left[\frac{w_{ij1}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij3}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij4}}{w^{\text{max}}} \right], w^{***\text{max}} = \max_{\substack{l \leq i \leq h, \\ l \leq j \leq h}} \{w_{ij4}\}; \quad (3.23)$$

4) для нечітких багатограноподібних чисел:

$$w_{ij}^{\text{норм}} = \left[\frac{w_{ij1}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij3}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij4}}{w^{\text{max}}}, \dots, \frac{w_{ijN}}{w^{\text{max}}} \right], w^{N*\text{max}} = \max_{\substack{l \leq i \leq h, \\ l \leq j \leq h}} \{w_{ijN}\}; \quad (3.24)$$

де $w_{ij}^{\text{норм}}$ – нормовані інтервальні значення зв'язків між вершинами v_i та v_j $w_{ij}^{\text{норм}} \in [-1, 1]$; $w^{*\text{max}}$, $w^{**\text{max}}$, $w^{***\text{max}}$ – максимальні значення серед максимальних значень зв'язків, представлених у вигляді інтервалів та нечітких чисел. В результаті нормування значення зв'язків між вершинами являють собою інтервали з нормованими значеннями зв'язків.

3. 4 Структуризація значень зв'язків між вершинами.

Для встановлення причинно-наслідкових зв'язків визначена шкала для оцінки характеру зв'язків і сили зв'язків між вершинами. Структуризація полягає в наступному: кожному значенню зв'язку, представленому у вигляді вербального опису, ставиться у відповідність одне число з інтервалу $[-1, 1]$.

Нормування і структуризація значень зв'язків між вершинами необхідна для того, щоб всі значення зв'язків належали інтервалу $[-1, 1]$.

4. Побудова НЧКМ.

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.

Вхідні темпоральні нечіткі змінні моделі FS_i концепту C_i пов'язані з вихідними темпоральними нечіткими змінними тих концептів, які надають на концепт C_i безпосередній вплив. При цьому вхідні темпоральні нечіткі змінні C_i попередньо “зважуються” відповідними нечіткими ступенями впливу $w_{ij}^{(t-l_i^j)}$ відповідно до виразів (3.21)–(3.24), на підставі чого здійснюється наступне перетворення:

$$\tilde{s}_j^{(t-l_i^j)} = \left(w_{ij}^{(t-l_i^j)} \Gamma \tilde{s}_j^{(t-l_i^j)} \right), l_i^j = 0, \dots, L_i^j, \quad (3.25)$$

де Γ – операція Γ -норми.

Вихідні ж темпоральні нечіткі змінні моделі FS_i концепту C_i призначені для формування, зберігання і виведення прогнозованих значень i -го компонента багатовимірною часового ряду, відповідних часовим лагам. Для побудови нечітких компонентних темпоральних моделей FS_i можуть бути використані як апріорні відомості про компоненти багатовимірною часового ряду, що є в базі знань, так і дані, отримані в результаті оцінювання або вимірювань. У першому випадку мається на увазі, що завдання забезпечення повноти і несуперечливості бази нечітких правил моделі FS_i вирішена заздалегідь.

Якщо ж відомі тільки експериментальні дані, то стоїть завдання ідентифікації моделі. На практиці, найчастіше має місце змішаний випадок, коли початкова база правил моделі будується, виходячи з евристичних припущень ній, а її параметричне настроювання (навчання) виконується на основі навчальної вибірки (рис. 3.4). 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 – $S_1' = \{\tilde{s}_1^{(t)}, \tilde{s}_1^{(t-1)}, \tilde{s}_1^{(t-2)}\}$.

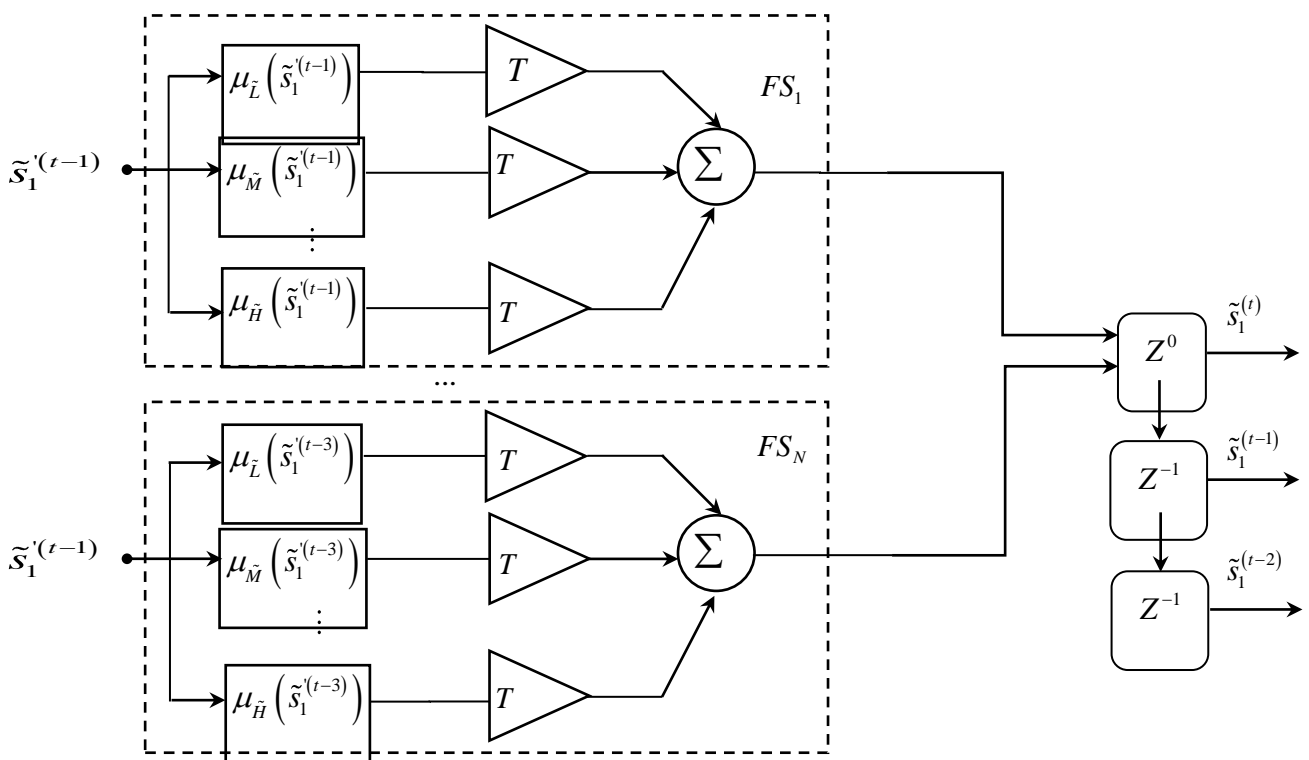


Рис. 3. 4 Структура нечіткої компонентної темпоральної моделі FS_i

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:

$$\alpha_p = \min \mu_{\tilde{L}}(\tilde{s}_1^{(t-1)}), \mu_{\tilde{L}}(\tilde{s}_3^{(t-3)}), \mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_4^{(t-3)}), \mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_5^{(t-3)}), \mu_{\tilde{H}}(\tilde{s}_1^{(t-3)}). \quad (3.26)$$

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

$$\mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_1^{(t)}) = \min(\alpha_p, \tilde{M}). \quad (3.27)$$

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

$$\tilde{s}_1^{(t)} = \max(\mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_1^{(t)}), \dots, \mu_{\tilde{M}}(\tilde{s}_1^{(t)}), \dots, \mu_{\tilde{H}}(\tilde{s}_1^{(t)})). \quad (3.28)$$

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

$$\tilde{s}_{1(norm)}^{(t)} = Z^0(\tilde{s}_1^{(t-1)}), \tilde{s}_{1(norm)}^{(t-2)} = Z^{-1}(\tilde{s}_1^{(t-1)}). \quad (3.29)$$

5. Навчання ШНМ. В зазначеній процедурі відбувається навчання ШНМ за допомогою розробленого в роботі [3] методу навчання ШНМ, що еволюціонують. Зазначений метод відрізняється від відомих тим, що дозволяє проводити навчання не тільки синаптичних ваг, але й параметрів функції належності разом з архітектурою ШНМ.

Також на даному етапі відбувається узгодження всіх нечітких компонентних темпоральних моделей НЧКМ. Узгодження всіх нечітких компонентних темпоральних моделей FS_i , $i=1, \dots, N$ НЧКМ здійснюється після їх "персоніфікованої" параметричного налаштування. Узгодження полягає в такій зміні модальних значень і ступенів розмитості нечітких ступенів впливу

$\left\{ w_{ij}^{(t-l_i^j)} \mid l_i^j = 0, \dots, L_i^j \right\}$ між концептами НЧКМ, що забезпечує максимальне підвищення

точності прогнозування кожного з компонентами багатовимірною часового ряду без погіршення. Процедурі узгодження нечітких компонентних темпоральних моделей НЧКМ передують формування додаткової “узгоджуючою” навчальної вибірки, що складається з ретроспективних даних одночасно для всіх компонентів багатовимірною часового ряду. Процедура узгодження всіх нечітких компонентних темпоральних моделей НЧКМ вважається успішно завершеною, якщо для кожної з цих моделей підсумкова похибка не перевищує деякого встановленого порога. Для добре узгоджених компонентів багатовимірною часового ряду, або для цих моделей буде виконуватися принцип Еджворта-Парето.

6. Прогнозування стану СРЗ. Багатовимірний аналіз і прогнозування стану СРЗ виконується на основі структурно і параметрично налаштованої НЧКМ і може здійснюватися в наступних режимах:

– по-перше, безпосереднє багатовимірне прогнозування стану СРЗ для t -го моменту часу, тобто розрахунок значень вихідних змінних моделей $FS_i, i=1, \dots, N$ по заданим кожен раз відповідним сукупностями значень вхідних змінних цих моделей;

– по-друге, саморозвиток і прогнозна оцінка зміни стану СРЗ, при якому моделювання динаміки зміни стану проводиться з деякої ситуації, заданої початковими значеннями всіх концептів НЧКМ, при відсутності зовнішніх впливів на неї;

– по-третє, розвиток і прогнозна оцінка зміни стану СРЗ, при якому моделювання динаміки зміни стану проводиться в деякій ситуації. Ситуація задана початковими знаннями всіх концептів НЧКМ, при зовнішньому впливі на значення концептів і / або на відносини впливу між концептами НЧКМ.

3.3 Метод оцінки кіберзахисності системи радіозв’язку спеціального призначення

Метод складається з наступної послідовності дій (рис. 3.5) [7–11].

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 сформуванати 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]. У першому підході кожний детектор $F_{jk}^{(k)} : \mathbb{R} \rightarrow \{0,1\} (k=1,\dots,m)$ навчається на даних $\{x_l, [c_l = k]\}_{l=1}^M$, і функціонування групи детекторів $F_{jk}^{(k)}$ описується за допомогою принципу, що виключає:

$$F_j^{(i)}(z) = \begin{cases} \{0\}, \text{ якщо } \forall k \in \{1, \dots, m\} F_{jk}^{(i)}(z) = 0 \\ \{k \mid F_{jk}^{(i)}(z) = 1\}_{k=1}^m, \text{ інакше} \end{cases}, \quad (3.30)$$

У другому підході кожний з $C_{m+1}^2 = \frac{(m+1) \cdot m}{2}$ детекторів $F_{jk_0k_1}^{(k)}$ навчається на множині станів, що належать тільки двом класам з мітками k_0 і

$k_1, -\{(x_l, 0 | \bar{c}_l = k_0)\}_{l=1}^M \cup \{(x_l, 1 | \bar{c}_l = k_1)\}_{l=1}^M, 0 \leq k_0 < k_1 \leq m$ та функціонування групи детекторів $F_j^{(i)}$ задається за допомогою голосування max-wins:

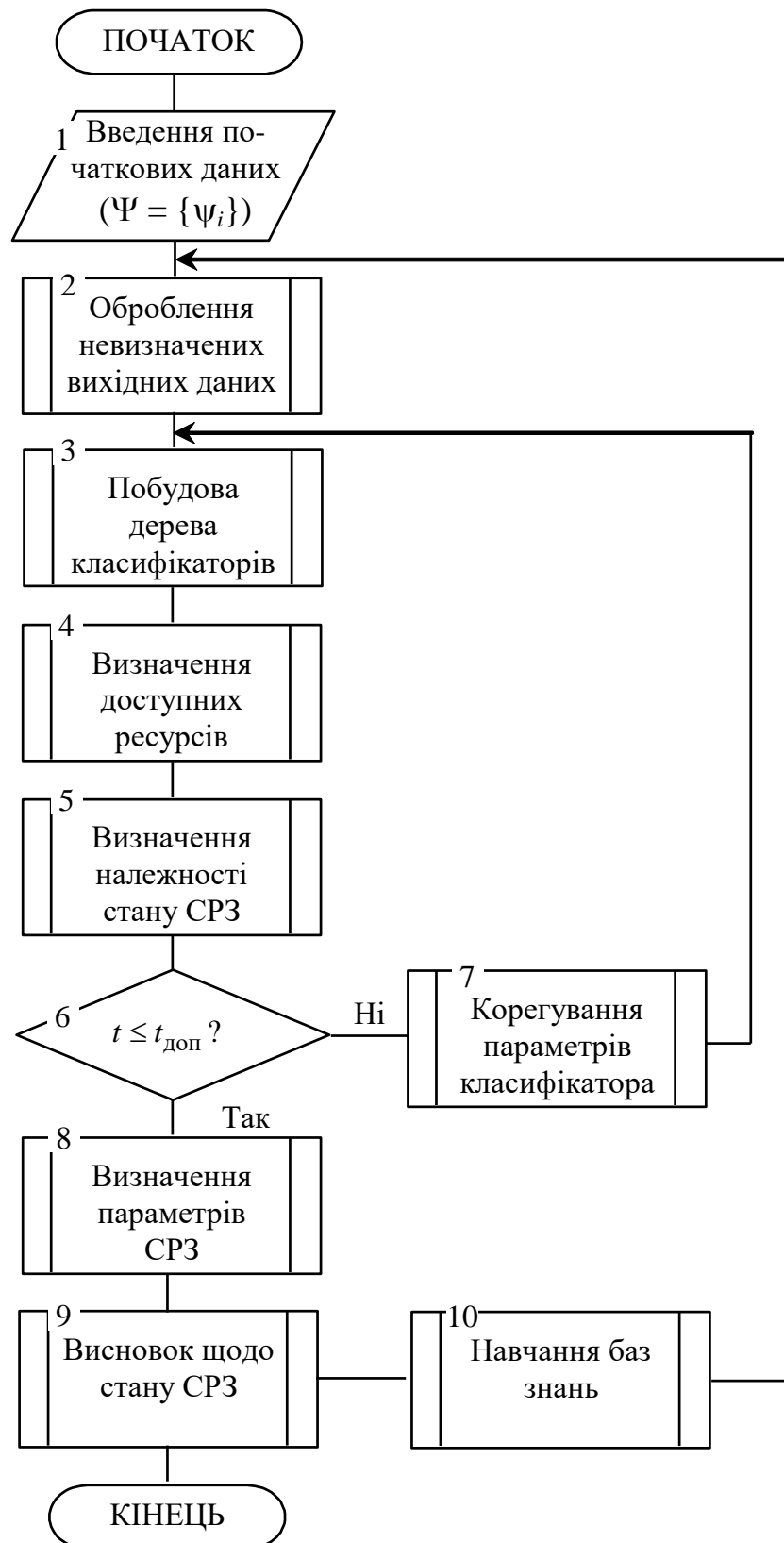


Рис. 3.5 Метод оцінки кіберзахисності СРЗ спеціального призначення

$$F_j^{(i)} = \left\{ \arg \max_{\bar{c} \in \{0, \dots, m\}} \sum_{k=\bar{c}+1}^m [F_{j\bar{c}k}^{(i)}(z) = 0] + \sum_{k=0}^{\bar{c}-1} [F_{j\bar{c}k}^{(i)}(z) = 1] \right\}. \quad (3.31)$$

4. Визначення доступних апаратних обчислювальних ресурсів.

На даному етапі визначаються доступні апаратні обчислювальні ресурси СРЗ. На підставі чого визначаються можливі варіанти класифікації: бінарне класифікаційне дерево, генетичний алгоритм, нечіткі когнітивні моделі та ациклічний граф. У таблиці 3.1 наведені характеристики розглянутих схем об'єднання детекторів у багатокласову модель, призначену для співвіднесення вхідного стану СРЗ однієї або декільком з $(m + 1)$ міток класів.

Таблиця 3.1 – Характеристики схем об'єднання детекторів

Схема об'єднання	Число детекторів, що підлягає навчанню	Мінімальне число детекторів, задіяних при класифікації СРЗ	Максимальне число детекторів, задіяних при класифікації СРЗ
один-до-усіх	m	m	m
один-до-одного	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$
Класифікаційне бінарне дерево	m	1	m
Спрямований ациклічний граф	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$	m	m
Нечітка когнітивна модель	$(m \cdot x) \cdot m$	$(m \cdot x)$	$(m \cdot x) \cdot m$
Генетичний алгоритм	$(m \cdot x)$	m	$(m \cdot x)$

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 [25]. Формально така структура задається рекурсивно в такий спосіб:

$$CBT_{\mu} = \begin{cases} \langle F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}, CBT_{L_{\mu}}, CBT_{R_{\mu}} \rangle, & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \\ \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1. \end{cases} \quad (3.31)$$

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 $\{(x_l, 0) | \bar{c}_l \in L_{\mu}\}_{l=1}^M \cup \{(x_l, 1) | \bar{c}_l \in R_{\mu}\}_{l=1}^M$.

Вихідний результат детектора настроюється таким чином, щоб він дорівнював 0, якщо вхідний стан x_l належить класу з міткою $\bar{c}_l \in L_{\mu}$, і 1, якщо стан x_l належить класу з міткою $\bar{c}_l \in R_{\mu}$. Тому функціонування групи детекторів $F_j^{(i)}$, представлених у вигляді вузлів такого дерева, описується за допомогою рекурсивної функції $\phi_j^{(i)}$, що задає послідовну дихотомію множини μ :

$$F_j^{(i)} = \phi_j^{(i)}(\mu, z),$$

$$\phi_j^{(i)}(\mu, z) = \begin{cases} \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1 \\ \phi_j^{(i)}(L_{\mu}, z) & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}(z) = 0 \\ \phi_j^{(i)}(R_{\mu}, z) & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}(z) = 1. \end{cases} \quad (3.32)$$

Застосування функції $\phi_j^{(i)}$ до вихідного набору міток класів і стану СРЗ дозволяє здійснювати однозначний пошук мітки класу цього стану. Це пояснюється тим, що оскільки під час спуску вниз по класифікаційному дереву відбувається диз'юнктивне розбиття множини міток класів. Після досягнення та спрацьовування термінального детектора залишається тільки одна можлива мітка для класифікації вхідного стану z у якості вихідного результату $F_j^{(i)}$. Тому для класифікаційного дерева неможливі конфліктні випадки при класифікації стану, які можуть мати місце для двох інших підходів комбінування. Іншим підходом є спрямований

ациклічний граф, який організує $C_{m+1}^2 = \frac{(m+1) \cdot m}{2}$ детекторів у зв'язну динамічну структуру, яка може бути задана наступною формулою:

$$DAG_{\mu} = \begin{cases} \langle F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}, DAG_{\mu \setminus \{k_0\}}, DAG_{\mu \setminus \{k_1\}} \rangle, & \text{якщо } \#\mu \geq 2, \text{ де } k_0 \in \mu, k_1 \in \mu, \\ \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1. \end{cases} \quad (3.33)$$

Тут, як і в підході один-до-одного, кожний вузловий детектор $F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}$ навчається на елементах $\{(x_l, 0 | \bar{c}_l = k_0)\}_{l=1}^M \cup \{(x_l, 1 | \bar{c}_l = k_1)\}_{l=1}^M$ ($k_0 < k_1$). Обхід розглянутого графа виконується за допомогою рекурсивної функції $\xi_j^{(i)}$, що задає заелементне „відщиплення“ від множини μ :

$$F_j^{(i)} = \xi_j^{(i)}(\mu, z),$$

$$\xi_j^{(i)}(\mu, z) = \begin{cases} \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1 \\ \xi_j^{(i)}(\mu \setminus \{k_1\}, z), & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}(z) = 0 \\ \xi_j^{(i)}(\mu \setminus \{k_0\}, z), & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}(z) = 1. \end{cases} \quad (3.34)$$

Якщо детектор $F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}$ голосує за k_0 -ий клас для стану z , тобто $F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}(z) = 0$, то з множини μ видаляється мітка k_1 як свідомо невірна, а якщо ні, то виключається мітка k_0 . Процес повторюється доти, поки множина μ не вироджується в одноелементне.

З розглянутих шести схем тільки одна, а саме класифікаційне бінарне дерево, має змінне число детекторів, які можуть використовуватися в процесі класифікації стану. Мінімальне значення досягається, коли активується детектор $F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}$, розташований у корені дерева та навчений для розпізнавання тільки одного класу стану серед усіх інших, і $F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}(z) = 0 \left(F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}(z) = 1 \right)$ тобто коли $\#L_{\mu} = 1 (\#R = 1)$.

Максимальне значення досягається, коли дерево представляється послідовним списком і активується найбільш вилучений у ньому детектор. У випадку збалансованого дерева цей показник може становити величину $\lfloor \log_2(m+1) \rfloor$ або $\lceil \log_2(m+1) \rceil$. Кожний класифікатор $F^{(i)}$ ($i=1, \dots, P$) містить q_i груп $F_j^{(i)}$ ($j=1, \dots, q_i$), кожна з яких поєднує m детекторів $F_{jk}^{(i)}$ ($k=1, \dots, m$) за допомогою підходу один-до-усіх. Кожна із груп детекторів $F_j^{(i)}$ навчається на різних випадкових вибірках, які можуть включати повторювані та переупорядковані елементи з вихідного навчального набору $Y_{\chi_c^{(LS)}}$. 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:

$$F^{(i)}(z) = \left\{ \bar{c} \left| \underbrace{\sum_{j=1}^{q_i} [\bar{c} \in F_j^{(i)}(z)]}_{\Xi_i(\bar{c})} > \frac{1}{2} \cdot q_i \wedge \Xi_i(\bar{c}) = \max_{\bar{c}' \in \{0, \dots, m\}} \Xi_i(\bar{c}') \right. \right\}_{\bar{c}=0}^m. \quad (3.35)$$

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 $\# \left\{ \bar{c} \left| \Xi_i(\bar{c}) = \frac{1}{2} \cdot q_i \wedge \Xi_i(\bar{c}) = \max_{\bar{c}' \in \{0, \dots, m\}} \Xi_i(\bar{c}') \right. \right\}_{\bar{c}=0}^m = 2$ (у цьому випадку виходом класифікатора є порожня множина \emptyset).

У процесі роботи інтерпретатора перевіряється коректність оброблюваних даних і ініціалізуються поля СРЗ усередині дерева класифікаторів. За рахунок використання такої структури в рамках запропонованого методу стає можливим будувати багаторівневі схеми. Даний метод має розподілену архітектуру, у яких збір даних здійснюється вторинними вузлами-сенсорами (технічними засобами розвідки), а вся обробка агрегованих потоків даних виконується на централізованому сервері.

6. Визначення параметрів CPЗ відповідного класу

Зазначений етап методу, виконуваний на стороні сенсорів (технічних засобів моніторингу), полягає в складанні необроблених відомостей у класифікаційні блоки, виділенні їх параметрів і виконанні аналізу з використанням декількох паралельних алгоритмів шаблонного пошуку. Суть процедури полягає в розбивці заданого часового інтервалу $\Delta_0^{(L)} = [0, L]$ довжиною L , протягом якого проводиться безперервне спостереження за рядом параметрів, на трохи більш дрібних інтервалах $\Delta_0^{(L')}, \Delta_{\delta}^{(L')}, \dots, \Delta_{\delta(k-1)}^{(L')}$ однакової довжини $0 < L' \leq L$, початок кожного з яких має зсув $0 < \delta \leq L'$ відносно початку попереднього інтервалу. Причому $\bigcup_{i=0}^{k-1} \Delta_{\delta i}^{(L')} \subseteq \Delta_0^{(L)}$ й $\bigcup_{i=0}^k \Delta_{\delta i}^{(L')} \supseteq \Delta_0^{(L)}$ тому $k = 1 + \left\lfloor \frac{L - L'}{\delta} \right\rfloor$. Протягом проміжків часу $\Delta_0^{(L')}, \dots, \Delta_{\delta(k-1)}^{(L')}$ відбувається фіксація значень $\omega_0, \dots, \omega_{k-1}$ параметрів, і їх середня величина (інтенсивність) та у рамках часового вікна довжини L' розраховується по формулі $\bar{\omega} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=0}^{k-1} \omega_i$. У дослідженні використовувався інтервал зі значенням параметра L , рівним п'яти секундам. Довжина інтервалу, що L' згладжує, була обрана рівній одній 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 CPЗ. Перед безпосереднім навчанням детекторів виконується попередня обробка даних параметрів для зменшення ефекту їх сильної мінливості. Багато методів, включаючи нейронні мережі та метод головних компонентів, чутливі до такого роду флуктуаціям і вимагають, щоб усі ознаки оброблюваних векторів мали однаковий масштаб.

7.1 Нормалізація компонентів вектору. Перший крок попередньої обробки кожного компонента x_{ij} вектору $x_i \in \{x_k\}_{k=1}^M$ включає його нормалізацію за

допомогою функції $f(x_{ij}) = \frac{x_{ij} - x_j^{(\min)}}{x_j^{(\max)} - x_j^{(\min)}}$ (у випадку $x_j^{(\max)} = x_j^{(\min)}$ можна вважатися

$f(x_{ij})=0$), де $x_j^{(\min)} = \min_{1 \leq i \leq M} x_{ij}$ та $x_j^{(\max)} = \max_{1 \leq i \leq M} x_{ij}$

7.2 Мінімізація простору ознак. Зменшення числа значимих ознак, яке досягається за допомогою методу головних компонентів [26–30], описуваного як послідовність наступних кроків:

7.2.1 Обчислення математичного очікування випадкового вектору, представленого в цьому випадку у вигляді елементів набору навчальних даних:

$$\left\{ x_i = \left\{ x_{ij} \right\}_{j=1}^n \right\}_{i=1}^M : \\ \bar{x} = \left(\frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M x_{i1}, \dots, \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M x_{in} \right)^T. \quad (3.36)$$

7.2.2 Формування елементів незміщеної теоретичної коваріаційної матриці:

$$\Sigma = \left(\sigma_{ij} \right)_{\substack{i=1, \dots, n \\ j=1, \dots, n}} : \\ \sigma_{ij} = \frac{1}{M-1} \cdot \sum_{k=1}^M (x_{ki} - \bar{x}_i) \cdot (x_{kj} - \bar{x}_j). \quad (3.37)$$

7.2.3 Знаходження власних чисел $\{\lambda_i\}_{i=1}^n$ і власних векторів $\{v_i\}_{i=1}^n$ матриці Σ як корінь рівнянь (із цією метою використовувався метод обертань Якобі):

$$\begin{cases} \det(\Sigma - \lambda \cdot \mathbf{I}) = 0 \\ (\Sigma - \lambda \cdot \mathbf{I}) \cdot v = 0, \end{cases} \quad (3.38)$$

де \mathbf{I} — одинична матриця розміром $n \times n$.

7.2.4 Ранжування власних чисел $\{\lambda_i\}_{i=1}^n$ у порядку їх убутання й відповідних їм власних векторів $\{v_i\}_{i=1}^n$:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_n \geq 0. \quad (3.39)$$

7.2.5 Відбір необхідного числа $\hat{n} \leq n$ головних компонентів:

$$\hat{n} = \min \{j | \zeta(j) \geq \varepsilon\}_{j=1}^n, \quad (3.40)$$

де $\zeta(j) = \frac{\sum_{i=1}^j \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$ – захід інформативності [1], $0 \leq \varepsilon \leq 1$ – експертно обирає

величина.

7.2.6 Центрування вектору ознак $z : z_c = z - \bar{x}$.

7.2.7 Проектування центрованого вектору ознак z_c у нову систему координат,

що задається ортонормованими векторами $\{v_i\}_{i=1}^{\hat{n}}$:

$$y = (y_1, \dots, y_{\hat{n}})^T = (v_1, \dots, v_{\hat{n}})^T \cdot z_c,$$

$y_i = v_i^T \cdot z_c$ називається i -ою головною компонентною вектору z .

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.

Навчання кожного класифікатора породжує запит на навчання класифікаторів, що внизу, зазначених у списку його залежностей, і генерацію їх вихідних даних для формування вхідних даних класифікатора, що вище. Наслідком використовуваного в такий спосіб каскадного навчання є можливість “ледачого” завантаження класифікаторів: у навчанні й розпізнаванні беруть участь тільки ті класифікатори, які зустрічаються в списку залежностей класифікатора, відповідального за формування загального рішення в колективі класифікаційних правил. Ця

властивість є особливо вигідною при розборі динамічних правил навчання класифікаторів, тобто таких правил, від успішного або неуспішного спрацьовування яких залежить ініціалізація іншого правила. Зокрема, це характерно для класифікаційного дерева, коли правила є вкладеними один у одного. Метод надає можливість будувати багаторівневі схеми з довільною вкладеністю класифікаторів один одного і їх “лінивим” підключенням у процесі аналізу вхідного вектору.

Висновки за розділ 3

1. Використання розроблених методів оцінювання стану СРЗ спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки підвищує оперативність та достовірність прийняття рішення щодо стану СРЗ спеціального призначення як засобу забезпечення системи радіозв'язку до деструктивних впливів на неї.

2. Розроблено удосконалений метод оцінки радіоелектронної обстановки СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих, що визначає його новизну, полягає у наступному: при оцінці радіоелектронної обстановки додатково враховується тип невизначеності; для підвищення оперативності обробки інформації використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують та з алгоритмом їх навчання; можливість роботи як з чіткими так і нечіткими продукціями за рахунок використання штучних нейронних мереж, що еволюціонують; відсутності накопичення помилки навчання штучних нейронних мереж в результаті обробки інформації, що надходить на вхід штучних нейронних мереж за рахунок навчання архітектури та параметрів. В основу запропонованого методу покладена розроблена математична модель оцінювання радіоелектронної обстановки, що запропонована в другому розділі дисертаційного дослідження. Зазначений метод дозволяє підвищити оперативність 20–25 %.

3. Проведено постановку завдання аналізу та прогнозування стану СРЗ спеціального призначення. Зазначена формалізація дозволяє описати процеси, що проходять в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень під час

вирішення завдань аналізу та прогнозування стану СРЗ. В якості критерію ефективності зазначеного методу обрано оперативність процесу аналізу та прогнозування стану СРЗ.

4. В ході дослідження розроблено 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. Концепти НЧКМ, на відміну від відомих нечітких когнітивних моделей, пов'язані підмножинами нечітких ступенів впливу, упорядкованих в хронологічній послідовності з урахуванням часових лагів відповідних компонентів багатовимірного часового ряду. Також запропонований метод відрізняється удосконаленою процедурою прогнозування стану СРЗ на основі нового типу НЧКМ, що забезпечує багатовимірний аналіз, врахування і опосередкований вплив компонентів багатовимірного часового ряду з їх різними часовими лагами один відносно одного. Також забезпечується прогнозна оцінку в умовах нестохастичної невизначеності, нелінійності взаємовпливу, часткової неузгодженості і суттєвою взаємозалежності компонентів багатовимірного часового ряду. Зазначений метод підвищення ефективності функціонування штучних нейронних мереж на рівні 13–18 % по оперативності обробки інформації за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

5. Розроблено метод оцінки кібер захищеності СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих, що визначає його новизну полягає у врахуванні типу невизначеності та зашумленості даних; врахуванні наявних обчислювальних ресурсів підсистеми аналізу кібер захищеності СРЗ; вибіркового задіяння ресурсів системи за рахунок підключення тільки необхідних типів детекторів; побудовою класифікаторів верхнього рівня за допомогою різних низькорівневих схем їх комбінування та агрегуючих композицій. Зазначений метод дозволяє підвищити оперативність обробки даних на рівні 12–20 %.

Основні наукові результати, отримані в даному розділі дисертаційних досліджень, опубліковані в роботах [1–33].

Список використаних джерел до 3 розділу

1. I. Alieinykov, K. A. Thamer, Y. Zhuravskiy, O. Sova, N. Smirnova, R. Zhyvotovskiy, S. Hatsenko, S. Petruk, R. Pikul, A. Shyshatskiy. 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>.
2. A. Koshlan, O. Salnikova, M. Chekhovska, R. Zhyvotovskiy, Y. Prokopenko, T. Hurskiy, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskiy. 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>.
3. V. Dudnyk, Yu. Sinenko, M. Matsyk, Ye. Demchenko, R. Zhyvotovskiy, Iu. Repilo, O. Zabolotnyi, A. Simonenko, P. Pozdniakov, A. Shyshatskiy. 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>.
4. Shyshatskiy A. Method of multicriterial evaluation of the state of the special purposes of radio communication system channels / A. Shyshatskiy, 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.
5. Shyshatskiy, 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>.
6. Nalapko, O., Sova, O., Shyshatskiy, 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>.

7. 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>.

8. 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>.

9. 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>.

10. 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>.

11. 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>.

12. 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>.

13. 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>.

14. 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>.

15. 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>.

16. 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., Stadnijtschuk 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/>.

17. 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>.

18. Fedoriienko, 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>.

19. Abed, A. A., Repilo, I., Zhyvotovskiy, R., Shyshatskyi, A., Hohoniants, 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>.

20. 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>.

21. 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), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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., Іжутова І. В., Процин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

27. 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.

28. 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>.

29. 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.

30. 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.

31. 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.

32. 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.

33. 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.

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ЗАВАДОЗАХИСТУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

4.1 Метод синтезу раціональної топології систем радіозв'язку спеціального призначення

Завдання управління топологією СРЗ полягає в забезпеченні передачі максимальної кількості повідомлень з необхідною якістю (достовірністю, оперативністю, надійністю та ін.).

Топологія визначає потенційні можливості СРЗ з доставки даних між вузлами, що взаємодіють [1–5]. Мобільність (відмови, знищення пакетів) вузлів призводить до різних мережевих конфігурацій топології. В таких умовах зміна топології мережі може мати більший ефект, на відміну від використання маршрутизації.

Метод синтезу раціональної топології СРЗ, розроблені до теперішнього часу, в основному використовують як вихідні дані обмежену кількість можливих варіантів радіоелектронної обстановки, які визначаються, як правило, на основі суб'єктивних оцінок осіб, що приймають рішення. Дослідження всього простору рішень при визначенні раціональної топології, як правило, ускладнене із-за занадто великого обсягу необхідних розрахунків і неможливості аналітичного описання цільової функції.

Генетичний алгоритм, використання якого запропоноване в дослідженні, дозволяє знайти раціональну топологію СРЗ з урахуванням варіанту ведення радіоелектронного придушення противника.

Розглянемо задачу управління топологією СРЗ як задачу інтелектуального управління [1–8].

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 (перешкоди, 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 пропускну здатності $\max C$. Він визначений на контролюємих станах системи та середовища:

$$C(t) = C(\Lambda(t), Y(t)). \quad (4.1)$$

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

$$Y(t) = F(\Lambda(t), E(t), H(t), U(t)), \quad (4.2)$$

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 $Z^*(t)$:

$$U(t) = U(\Lambda(t), \bar{Y}(t), Z^*(t)). \quad (4.3)$$

Для ефективного використання ресурсів СРЗ в вузлах необхідно передбачити можливість використання множини методів доступу до СРЗ. Застосування конкретного методу доступу буде визначатися параметрами інформаційного навантаження, поточної метою управління мережею, ситуацією на мережі (її зоні) і прийнятими рішеннями на інших рівнях еталонної моделі [1–7].

Вважаємо, що мета ведення радіоелектронного придушення противника відома, відповідно, з використанням, наприклад, методик [6, 8] визначений перелік вузлів СРЗ, що підлягають радіоелектронному придушення та визначені їх пріоритети, тобто деяка числова характеристика важливості того чи іншого вузла СРЗ у досягненні мети радіоелектронного конфлікту противником.

Генетичний алгоритм заснований на ідеї еволюції за допомогою природного відбору та являє собою штучну імітацію таких властивостей живої природи, як природний відбір, пристосованість до змінюваних умов середовища, спадкоємність нащадками властивостей батьків і та ін.

Метод синтезу раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму, алгоритм реалізації якого подано на рис. 4.1 складається з наступної послідовності дій.

Введення вихідних даних (дія 1).

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 $\Omega^{(0)}, \Omega^{(1)}, \Omega^{(2)}, \dots, \Omega^{(T)}$. Покоління $\Omega^{(t+1)}$ – це сукупність особин, батьки яких належать поколінню $\Omega^{(t)}$. Покоління $\Omega^{(0)}$ є початковою популяцією. Процес формування покоління $\Omega^{(t)}$ називається *ініціалізацією*. Кожне наступне покоління є результатом циклу роботи генетичного алгоритму.

Для кожної особини поточного покоління визначається значення цільової функції, яке характеризує пристосованість особини. У ході *відбору (селекції)* найменш пристосовані особини гинуть, а найбільш пристосовані дістають можливість відтворити нащадків у ході попарного *схрещування*. Це приводить до появи нових особин, які наслідують від батьків деякі властивості. Таким чином, з покоління в покоління, гарні властивості розповсюджуються по всій популяції. Для підвищення різноманітності пошуку і більш повного дослідження простору пошуку застосовується *мутація* – введення в популяцію нових особин. Зрештою, популяція збагатиметься до найбільш пристосованої особини (до оптимального рішення).

Для використання властивостей особин популяції у генетичному алгоритмі ці властивості подаються в закодованому вигляді – у вигляді *хромосоми*. Хромосома являє собою сукупність *генів*, кожний з яких зберігає певну властивість (ознаку, характеристику) особини. В залежності від того, які властивості необхідно закодувати і, відповідно, які значення можуть приймати гени, розрізняють бінарні, числові та векторні хромосоми, а в залежності від структури простору пошуку хромосоми можуть бути одно-, дво- або багатомірними. Таким чином, генетичні оператори (схрещування, мутації, відбору) здійснюють перетворення хромосом без використання інформації про внутрішню структуру об'єкта досліджень.

Представлення топології мережі у вигляді хромосоми (дія 2).

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. Відомо [3], що достатньо адекватною для вирішування задачі дослідження топології СРЗ є математична модель, яка зображується у вигляді матриці інцидентності, у якій номери рядків відповідають номерам джерел інформації, а номери стовпців — номерам споживачів інформації. Елементи a_{ij} на перетині рядків та стовпців набувають значення характеристики інформаційного зв'язку, що з'єднує відповідне джерело інформації з відповідним споживачем (зауважимо, що одні і ті ж вузли можуть бути і джерелами, і споживачами інформації).

$$C = \begin{matrix} & & \text{споживачі інформації} \\ & & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & \dots & J \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{джерела} \\ \text{інформації} \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ I \end{matrix} & \begin{matrix} | & a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1J} \\ | & a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2J} \\ | & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ | & a_{I1} & a_{I2} & a_{I3} & \dots & a_{IJ} \end{matrix} \end{matrix} \quad (4.4)$$

При числових розрахунках також виникає необхідність використання різновиду матриці інцидентності – ортонормованої матриці інцидентності, в якій значення елементів можуть набувати значення 0 або 1. Така матриця може бути використана у тому випадку, якщо для дослідження є необхідність визначати наявність інформаційних зв'язків між відповідними елементами структури системи без визначення характеристики зв'язку.

Нескладно побачити аналогію між відображенням топології мережі у матрицю виду (4.4) та відображенням точки простору рішень у двомірну *хромосому*, що має місце у генетичному алгоритмі. Ортонормована матриця інцидентності (4.4) є двомірною *хромосою* і може використовуватись для представлення топології СРЗ в генетичному алгоритмі.

Розвиваючи наведену вище аналогію, назвемо елементи матриці (4.4) генами, а декілька реалізацій матриці (4.4) з різними значеннями елементів (генів) – сукупністю *хромосом*, або *популяцією*. Зауважимо, що в загальному випадку структура *хромосоми* може бути і іншою. Це буде визначатись змістом задачі, що вирішується.

При визначенні числового значення характеристики зв'язків між елементами структури необхідно використовувати числові *хромосоми*, якщо ж визначається значення декількох характеристик зв'язку, необхідно використовувати векторну *хромосому*.

Пояснимо роботу окремих складових методу докладніше.

Ініціалізація початкової популяції (дія 3).

При ініціалізації початкової популяції $\Omega^{b(0)}$ випадковим чином створюються N_b *хромосом* – матриць виду (4.4). При цьому необхідно враховувати обмеження на вигляд матриць (4.4), 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.

В результаті у кожному циклі генетичного алгоритму формується популяція хромосом-мутантів $\Omega^{m(t)}$:

елементи стовбців – нулі;

інформація передається тільки на один вузол СРЗ – це означає, що у відповідних рядках матриці може бути тільки одна одиниця, інші елементи рядків – нулі;

вузол СРЗ може отримувати і обробляти дані не більше ніж від $N_{\text{ретр max}}$ вузлів-ретрансляторів СРЗ та передати інформацію не більше ніж $N_{\text{ВЗmax}}$ вузлам отримувачам.

Застосування операторів схрещування та мутації (дія 4).

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 . Схрещування потрібно виконувати з урахуванням обмежень на вигляд матриці (4.3), щоб в результаті не отримати хромосоми, відповідні яким структури створити неможливо. В прикладі, наведеному нижче (рис. 4.2), застосований блочний оператор схрещування для двомірних хромосом. При схрещуванні хромосоми здійснюють обмін генами, розташованими на ділянці, положення якої визначається випадковим чином з врахуванням наведених вище обмежень.

Розпізнавання варіанту дій РЕП та оцінка ефективності (дія 5) 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 (4.1). 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.

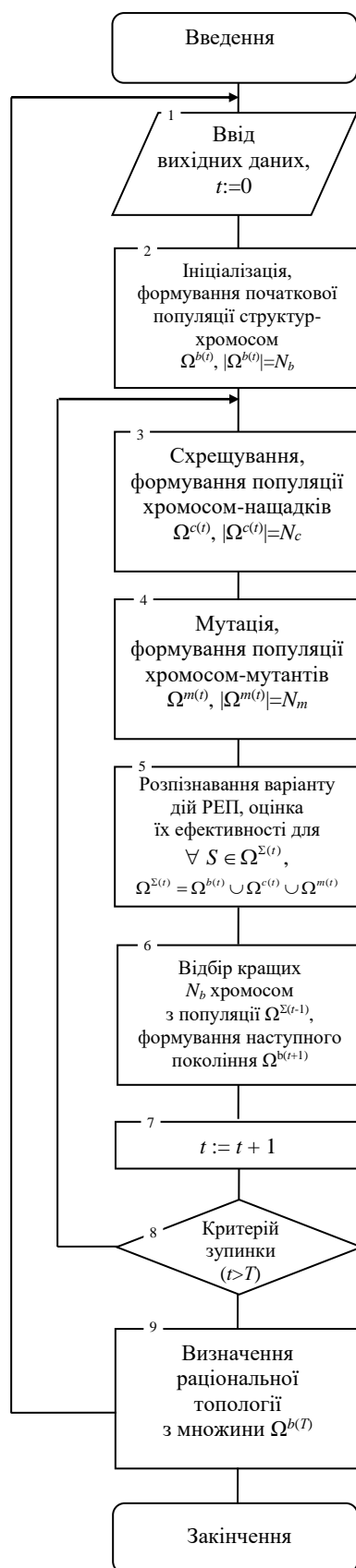


Рис. 4.1 Реалізація методу синтезу топології СРЗ з використанням генетичного алгоритму

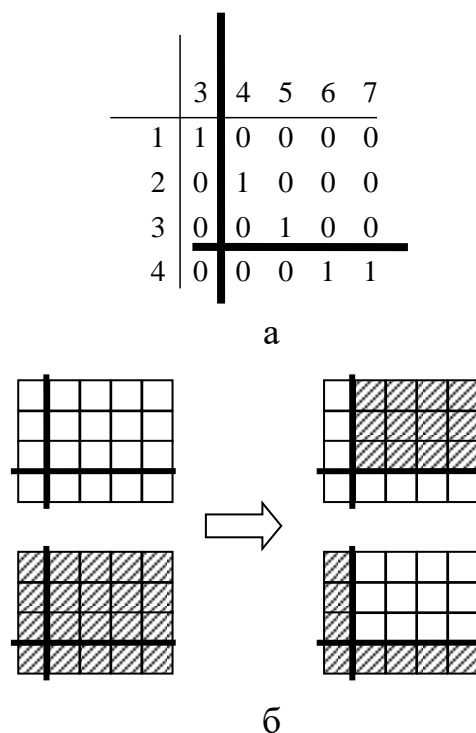


Рис. 4.2 Блочний оператор схрещування: а – визначення ділянки обміну генів двомірних хромосом; б – приклад застосування оператора схрещування

Проведення навчання СРЗ. Навчання системи відбувається на підставі одного з розроблених в роботах [6, 17] методів навчання.

Таким чином, буде виконана адаптація чи настроювання топології СРЗ в умовах невизначеності. Аналіз значень цільової функції (4.1) для отриманої множини хромосом $\Omega^{(T)}$ дозволяє визначити одну чи декілька раціональних топологій СРЗ.

4.2 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 ЗРЗ.

Зазначені процедури в комплексі дозволяють проводити управління каналними та мережевими ресурсами. Кожна з перелічених вище процедур зазначеного методу є удосконаленою. Розглянемо основні процедури методу інтелектуального управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення.

1. Введення початкових даних. Вводяться дані СРЗ $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення допустимої величини ймовірності бітової помилки $P_{\text{б доп}}$ та мінімально швидкості передачі інформації $v_{\text{і доп}}$ для кожного з елементів СРЗ 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].

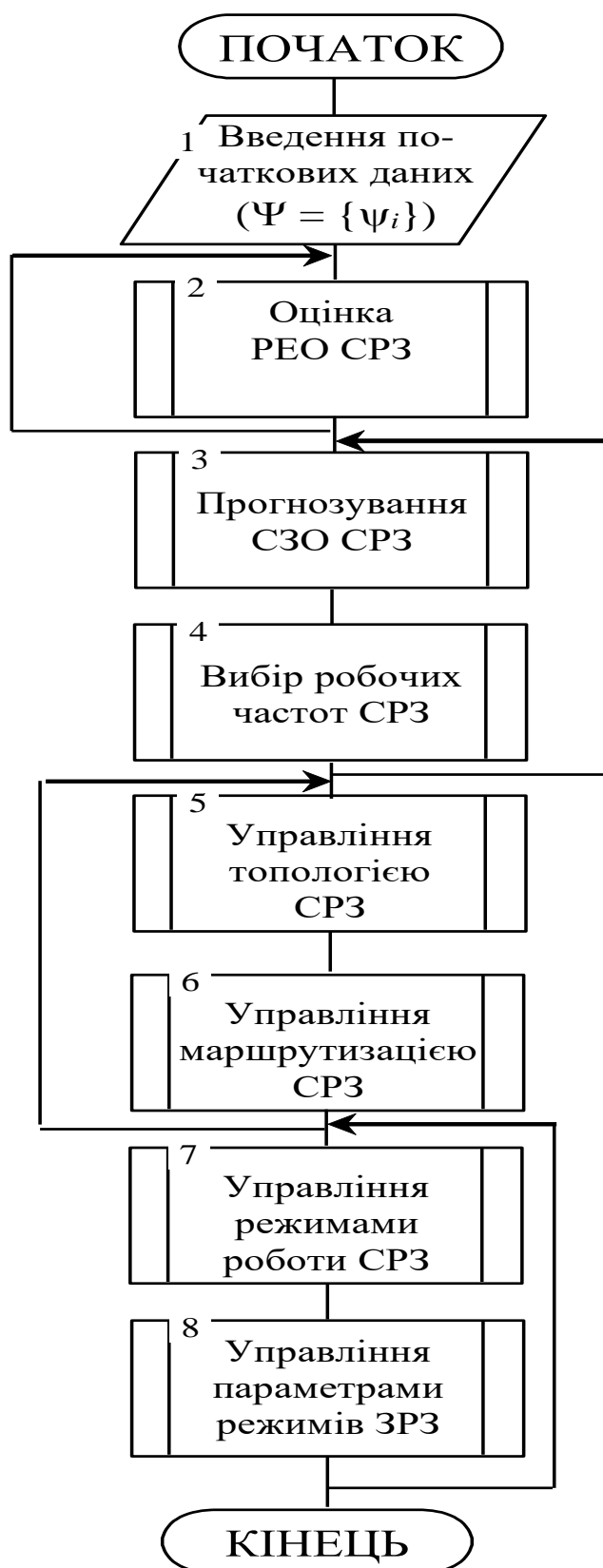


Рис. 4.3 Метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи СРЗ

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 СРЗ.

Проводиться аналіз радіочастотного ресурсу. Зазначена процедура відрізняється від відомих, тим що вибір робочих частот відбувається наступним чином:

визначення кількості придушених частотних діапазонів та ступеню їх придушення (коефіцієнтів перекриття стану каналу). Тобто якщо частотний канал придушений 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.

Пошук найкоротшого шляху між парою точок є NP-важкою проблемою, яка вимагає перерахування всіх можливих маршрутів. Крім того, більшість користувачів сьогодні потребують не тільки маршрути з найменшою кількістю переходів (хопів) до адресату, але й потребують маршрутів, які можуть задовольнити інші важливі

потреби. Таким користувачам найчастіше потрібно забезпечувати підтримку QoS , мати можливість враховувати енергетичну складову [3, 4, 7, 9–27, 29–66] у зв'язку з тим, що в СРЗ спеціального призначення може бути значна кількість вузлів які працюють на акумуляторних батареях, врахування швидкості каналу зв'язку, час затримки між відправником пакету та його адресатом, кількість наявних маршрутів, надійність доставки пакету відповідним маршрутом.

Загальна структура запропонованої процедури маршрутизації складається з чотирьох основних компонентів [3, 4, 7, 9–27, 29–66], таких як: система підтримання маршрутів, система пошуку маршрутів, система прийняття рішення направлення IP пакетів та система пам'яті з якою взаємодіють всі вищезазначені системи.

Запропонована процедура використовує комбінацію алгоритму нечіткої логіки (FL) і систему колоній мурашок (ACS) для пошуку оптимального маршруту між парою вузлів NS/ND. Оптимальний маршрут відноситься до маршруту, який задовольняє всі бажані параметри необхідні для вибору кращого маршруту. Такими параметрами є: “QoS”, “швидкість каналу”, “надійність доставки пакетів”, “енергетична складова”, “час затримки End to End Delay” та “кількість наявних маршрутів” (рис. 4.4).

Основними кроками алгоритму визначення відправки IP пакету до вузла призначення процедури маршрутизації в СРЗ спеціального призначення є:

Крок 1. Збір даних стану вузлів в мережі до кешу стану вузлів в СРЗ.

Крок 2. Отримання запиту на відправку пакету до вузла призначення.

Крок 3. Перевірка наявності маршруту до вузла призначення. У разі відсутності маршруту в таблиці маршрутизації системою пошуку маршруту виконується пошук маршруту до вузла призначення (крок 4).

Крок 4. Система пошуку маршруту виконує запит пошуку маршруту.

Крок 5. У разі отримання відповіді на запит маршруту відбувається запис маршруту до кешу стану вузлів в СРЗ.

Крок 6. Фазифікація та дефазифікація показників маршруту.

Крок 7. Виконується пошук маршруту.

Крок 8. Формування бази даних маршрутів.

Крок 9. Система прийняття рішення направлення IP пакетів з урахуванням наявних маршрутів в базі даних маршрутів приймає рішення щодо відправки IP пакету відповідним маршрутом до вузла призначення з врахуванням QoS.

Крок 10. Відправлення IP пакету до вузла призначення.

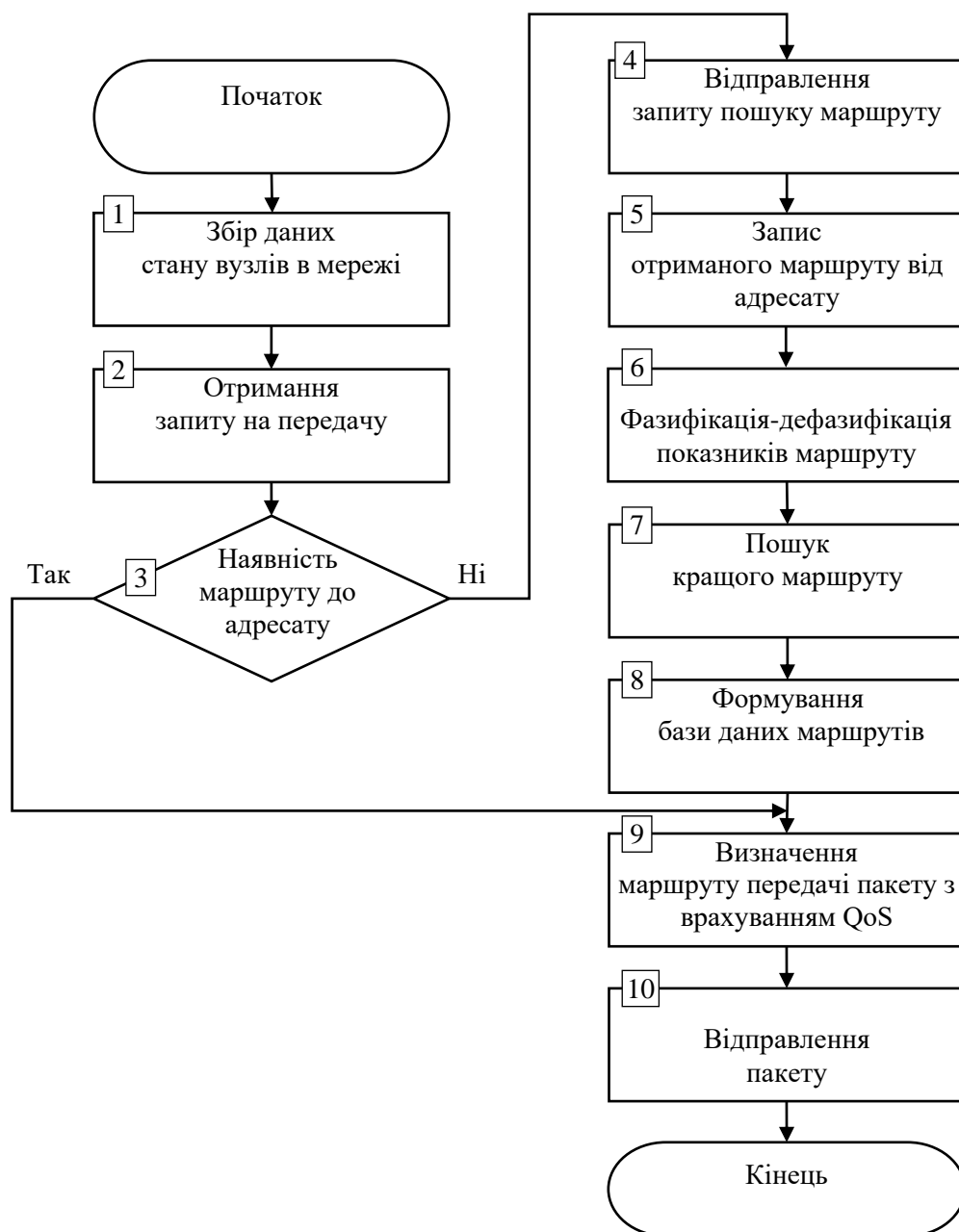


Рис. 4.4 Опис процедури маршрутизації в СРЗ спеціального призначення

Нечітка нейронна мережа (NFS – neuro-fuzzy system), запропонована для визначення маршрутів складається з п'яти шарів: функція лінійної передачі, фазифікації, операції “та”, нечіткий умовивід та дефазифікація.

Шар 1. Функція лінійної передачі, тобто отримання показників вузлів в СРЗ призначення параметрів з прийнятих IP пакетів. А саме: швидкість передачі інформації, час передачі пакету до вузла призначення, рівень заряду батареї вузла, надійність доставки IP пакету.

За показник швидкості передачі інформації P_{speed} береться мінімальна швидкість передача інформації радіозв'язності між вузлами з усього маршруту, тобто:

$$P_{speed} = \min V_{ij_{speed}}, \quad (4.5)$$

де V_{ij} – вузол, що приймає участь в передачі пакету на маршруті ij .

За показник заряду батареї, також визначається мінімальний заряд батареї на вузлі, який задіяний у маршруті:

$$P_{power} = \min V_{ij_{power}}. \quad (4.6)$$

Затримка доставки пакету є сумою часу доставки IP пакету всіх проміжних вузлів та таким чином показує час доставки пакету до вузла призначення на маршруті в цілому:

$$P_{delay} = \sum_{i=1}^N V_{i_{delay}}. \quad (4.7)$$

Показником надійності передачі IP пакету є ймовірнісним показником передачі пакету вздовж всього маршруту:

$$P_{reliability} = \prod_{i=1}^N V_{i_{reliability}}. \quad (4.8)$$

Шар 2. Процес фазифікації для переходу від чіткого значення параметрів до нечіткого значення деякої лінгвістичної змінної. Для досягнення адаптивності протоколу маршрутизації до змін в мережі враховуються мінімальні та максимальні значення параметрів бази даних стану вузлів.

$$\xi_{ij_{speed}} = S(i, j, t), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{speed}, 1 = \max P_{speed}, \quad (4.9)$$

$$\xi_{ij_{power}} = P(i, j), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{power}, 1 = \max P_{power}, \quad (4.10)$$

$$\xi_{ij_{delay}} = S(i, j, t), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{delay}, 1 = \max P_{delay}, \quad (4.11)$$

$$\xi_{ij_{reliability}} = S(i, j, t), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{reliability}, 1 = \max P_{reliability}. \quad (4.12)$$

Кожен вузол цього шару представляє один терм функції належності. Побудова функцій належності для всіх чотирьох параметрів відповідно до рівнянь:

$$\mu_{Low}(x) = \max \left(0, \min \left(1, \frac{\Delta - x}{\Delta} \right) \right), \quad (4.13)$$

функція належності визначає слабке (Weak) та середнє (Medium) значення параметру:

$$\mu(k, x) = \max \left[0, \min \left[\frac{x - \Delta \cdot (k - 1)}{\Delta}, \frac{\Delta \cdot (k + 1) - x}{\Delta} \right] \right], \quad (4.14)$$

функція належності, що визначає високе (High) значення параметру:

$$\mu_{High}(x) = \min\left(1, \max\left(0, \frac{x - (N-1)\Delta}{\Delta}\right)\right). \quad (4.15)$$

де $N = 3$, $\Delta = \frac{1}{N}$, $\mu(1, x) \equiv \mu_{Weak}(x)$, $\mu(2, x) \equiv \mu_{Medium}(x)$.

Побудова функцій належності, що визначають загальну метрику маршруту тобто рівень феромону який буде залишати мураха після кожного проходу матиме вид:

$$\mu_{ph1}(x) = \max\left(0, \min\left(1, \frac{\Delta - x}{\Delta}\right)\right), \quad (4.16)$$

$$\mu(k, x) = \max\left[0, \min\left[\frac{x - \Delta \cdot (k-1)}{\Delta}, \frac{\Delta \cdot (k+1) - x}{\Delta}\right]\right], \quad (4.17)$$

$$\mu_{ph13}(x) = \min\left(1, \max\left(0, \frac{x - (N-1)\Delta}{\Delta}\right)\right), \quad (4.18)$$

де $N = 12$; $\Delta = \frac{1}{N}$; $\mu(1, x) \equiv \mu_{ph2}(x)$, $\mu(2, x) \equiv \mu_{ph3}(x)$, $\mu(3, x) \equiv \mu_{ph4}(x)$,
 $\mu(4, x) \equiv \mu_{ph5}(x)$, $\mu(5, x) \equiv \mu_{ph6}(x)$, $\mu(6, x) \equiv \mu_{ph7}(x)$, $\mu(7, x) \equiv \mu_{ph8}(x)$, $\mu(8, x) \equiv \mu_{ph9}(x)$,
 $\mu(9, x) \equiv \mu_{ph10}(x)$, $\mu(10, x) \equiv \mu_{ph11}(x)$, $\mu(11, x) \equiv \mu_{ph12}(x)$, $\mu(12, x) \equiv \mu_{ph13}(x)$ – функції
рівня феромону.

Шар 3. Кожна нечітка система реалізується у вигляді нечітких правил. Нечіткі правила виконує логічні операції “та” чи “або”. Даний шар мережі має кількість вузлів відповідну до кількості операцій “та”. Так для повного перебору 4 параметрів, кожен з яких має по 4 терми необхідно 256 нейронів, що відповідають усім можливим варіаціям термів параметрів.

$$\text{якщо } P_{speed} \in A_x \text{ та } P_{power} \in B_x \text{ та } P_{delay} \in C_x \text{ та } P_{reliability} \in D_x \text{ то,} \quad (4.19)$$

де A_x, B_x, C_x, D_x – функції належності визначені відповідно на $P_{speed}, P_{power}, P_{delay}, P_{reliability}$. Тобто на вході нейрон третього шару матиме вид:

$$\text{If } I_1 \text{ is Low and } I_2 \text{ is Low and } I_3 \text{ is High and } I_4 \text{ is Low then.} \quad (4.20)$$

На виході нейрона третього шару відбувається агрегування передумов нечітких правил та визначається за виразом, що є логічною кон'юнкцією, якщо $\mu_g = \mu(P_{speed} \cap P_{power} \cap P_{delay} \cap P_{reliability})$ то:

$$\mu_g = \min \{ \mu(P_{speed}), \mu(P_{power}), \mu(P_{delay}), \mu(P_{reliability}) \}. \quad (4.21)$$

Шар 4. Є активізація висновків нечіткого правила. На четвертому рівні на кожній з відповідних вхідних комбінацій які були на вході визначається конкретний вихід. Так для прикладу нейрон четвертого шару буде мати вигляд:

$$\text{If } I_1 \text{ is Low and } I_2 \text{ is Low and } I_3 \text{ is High and } I_4 \text{ is Low then } O \text{ is Ph1.} \quad (4.22)$$

Шар 5. Нечіткий результат, який є результатом висновків, перетворюється на реальне значення, яке може використовуватися як керуючий вхід. Оскільки бажаний вихід є невиразним результатом, то кількісне значення керуючого виходу визначається шляхом дефазифікації. В процедурі використовується метод центру тяжіння. Визначення центру тяжіння вираховується за виразом:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x_i \cdot \mu(x) \cdot dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) \cdot dx}, \quad (4.23)$$

де y є результат дефазифікації, x є вихідна лінгвістична змінна ω , $\mu(x)$ є функцією належності нечіткої множини, яка відповідає вихідній змінній ω після етапу акумуляції, \min , \max є правою та лівою точкою інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної ω .

Шар 6. Є функція активації нейронів часто є неперервною і нелінійною функцією, яка називається сигмоподібною функцією і визначається як:

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(ax^2)}, \quad (4.24)$$

де a – константа та $a \geq 0$.

Процедура пошуку маршруту на основі нечіткої логіки та системи мурашиних колоній, що має наступні кроки:

Крок 1. *Ініціалізація*. Вона складається з початкових значень параметрів алгоритму, таких як кількість мурах, коефіцієнт випаровування феромону, швидкість передачі інформації, заряд батареї, час передачі пакету, надійність передачі пакету.

Крок 2. *Початкове виставлення мурах*. На цьому етапі мурахи розташовуються на початкових точках з яких відбудуватиметься ітерація. Активний мурашка відноситься до мурашки, який ще не прибув до місця призначення і не заблокований на вершинах (вузлах). Оскільки кожен мураха може проходити кожен вузлу (вузол) один раз в кожній ітерації, мураха блокується в місці з'єднання, коли він не має шансів продовжити свій перехід до пункту призначення і не має можливого шляху для переміщення назад.

Крок 3. *Побудова ймовірних маршрутів*. На цьому етапі ймовірність кожного

можливого прямого маршруту обчислюється на основі його функції витрат для кожної активної мурахи. Імовірнісний перехід мурашок між вузлами також може бути заданий як правило переходу вузла. Ймовірність переходу k -ю мурахою від вузла i до вузла j задається:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{h \notin \text{tabu}_k} (\tau_{ih})^\alpha (\eta_{ih})^\beta} & j \notin \text{tabu}_k, \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (4.25)$$

де τ_{ij} та η_{ij} інтенсивність феромонів і вартість маршруту між вузлами i та j , відповідно. Відносне значення τ_{ij} та η_{ij} контролюються параметрами α та β , відповідно. tabu_k це список недоступних маршрутів (відвіданих вузлів) для мурахи k .

Крок 4. *Вибір маршруту.* Випадковий параметр $0 \leq q \leq 1$ з однаковою ймовірністю порівнюється з параметром Q , де $0 \leq Q \leq 1$. Результат порівняння між Q і q бере один з двох методів вибору активною мурахою маршрут наступного переходу таким чином:

$$j = \begin{cases} \arg \max (p_{ih}^k) & q > Q, \\ \text{Колесо рулетки} (p_{ih}^k) & \text{інакше.} \end{cases} \quad (4.26)$$

Якщо q більший Q , активний мураха вибирає маршрут з найбільшою ймовірністю, інакше, правило колеса рулетки вибирається для вибору наступного переходу через ймовірності.

Крок 5. *Оновлення списку Tabu.* На цьому етапі маршрут (вибраний вузол), який мурахою k було вибрано, додано до переліку в таблиці. Це направлення не буде повторно обрано, а його ймовірність більше не обчислюється.

Якщо мураха k дійшла до пункту призначення або була заблокована на вершині

(вузлі), цей крок деактивує заблоковану чи прибувшу у поточній ітерації мурашу.

Крок 6. *Оновлення феромону.*

Система феромонів ACS складається з двох основних правил: спочатку застосовується під час побудови рішень (локальне правило оновлення феромонів), а друге правило застосовується після того, як всі мурашки закінчили побудову рішення (правило оновлення глобальної феромони). Сума феромонів маршруту між переходами i та j оновлюється для k -ї мурашки як:

$$\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij}^{old} + (10 \times \Delta\tau), \quad (4.27)$$

де $\Delta\tau$ – кількість місцевого оновлення феромонів. Значенням $\Delta\tau$ є вихідна система FL.

Кеш тимчасових маршрутів містить інформацію про маршрутизацію необхідну для вузла.

База знань зберігає всі вивчені маршрути з показниками залишкового заряду батареї, швидкості передачі даних, час затримки на маршруті, надійності маршруту, завантаженості маршруту та кількості ретрансляцій (хопів). База даних наповнюється шляхом вивчення інформації про маршрут з пакетів передачі даних, та з пакетів запиту маршрутів.

На основі бази знань відбувається формування таблиці маршрутизації.

Відбувається формування вартості маршруту за допомогою нечіткої логіки, використовуючи модифікований алгоритм мурашиних колоній виконується пошук найкращого маршруту, та в подальшому знайдені маршрути записувати до таблиці маршрутизації.

До таблиці маршрутизації записуються не більше чотирьох наявних маршрутів. У разі перевищення кількості маршрутів до вузла призначення вибираються шляхом ранжування кращі чотири маршрути. Наявність декількох маршрутів в таблиці маршрутизацію дає змогу робити балансування завантаженості маршрутів.

7. Вибір режиму роботи ЗРЗ (дія 7).

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:

$$F_{opt} = \max F \{Im, \beta_E, C\}, \quad (4.28)$$

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

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.

Представимо основні НЧКК за допомогою кількісних характеристик (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – НЧКК для вибору режиму роботи ЗРЗ

НЧКК	Кількісна характеристика показника	Діапазон зміни показників	Показники, що враховуються при визначенні важливості РЕО
β_E	Енергетична ефективність ЗРЗ	0,1-0,4	MIMO-OFDM
		0,401-0,79	MIMO-UWB
		0,801-1,0	MIMO-FHSS
C	Пропускна спроможність	0,81-1,0	MIMO-OFDM
		0,41-0,79	MIMO-UWB
		0,1-0,4	MIMO-FHSS
X_{PEB}	ступінь використання радіочастотного ресурсу засобами РЕП	0,1-0,8	Перешкоди в частині смуги
		0,801-1	Загороджувальні перешкоди
Im	Важливість РЕО	0,1-0,4	Низький
		0,401-0,79	Середній
		0,801-1,0	Високий

8. Вибір параметрів сигналу для режиму роботи (дія 8).

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.

4.3 Метод комплексного управління ресурсами систем зв'язку спеціального призначення

Пропонується проводити наскрізне управління ресурсами СРЗ спеціального призначення з відносним дотриманням ієрархії на кожному з рівні еталонної мережевої моделі взаємодії відкритих систем OSI. Під ресурсами СРЗ спеціального призначення розуміється управління [3, 4, 7, 9–66]:

- просторовим ресурсом;
- часовим ресурсом;
- частотним ресурсом;
- резервом ЗРЗ.

До дестабілізуючих факторів відноситься:

- перешкоди навмисного походження;

- природні завади;
- кібератаки, направлені на відмову в обслуговуванні;
- вогневе ураження елементів системи зв'язку спеціального призначення.

Метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення складається з наступної послідовності дій (рис. 4.5).

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 підходи [2, 3, 17, 18, 37].



Рис. 4.5 Метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення

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 розроблених в попередніх дослідженнях підходах [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) $CTC < U^t, S_{\delta}^{*tf} >$ при яких [3, 7, 9, 18, 32]:

$$J_{\theta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{<\chi, \chi'>}^t, \Pi_{(\delta, \bar{\delta})}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \underset{<U^t, S_{\delta}^{*tf}> \in \Delta_g}{extr_{*tf}} \\ \Delta_g \left\{ <U^t, S_{\delta}^{*tf} > \left| R_{\beta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{<\chi, \chi'>}^t, \Pi_{(\delta, \bar{\delta})}^t \right) \leq \tilde{R}_g \right. \right\}, \quad (4.29)$$

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 ; $\prod_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t$ – композиції структурного стану СРЗ спеціального призначення з номерами $\tilde{\delta}, \tilde{\delta}$ 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. Зв'язок між якими відбувається шляхом передачі інформації про статус операцій, інтенсивності потоків передачі та обробки даних, а також інформації про стані різних ресурсів, сервісів та базових послуг. Подібний підхід дозволяє представити етап паралельного функціонування та нарощування СРЗ спеціального призначення як процес оновлення (покращення характеристик) інформаційних послуг, що підтримують СРЗ спеціального призначення. Представимо процес програмного управління нарощуванням СРЗ спеціального призначення:

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{r=1}^{p_s} u_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (4.30)$$

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (4.31)$$

$$\frac{dx_{rS_l}^{(s,l)}}{dt} = \omega_{rS_l}^{(s,l)}(t). \quad (4.32)$$

Обмеження на керуючі дії:

$$0 \leq u_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \left[e_{nr}^{(s,l)} \left(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right) + \bar{e}_{nr}^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right] w_{nr}^{(s,l)}; \quad (4.33)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} V_n^{(s,l)} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \left[V_r^{(j)} \left(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right) + \bar{V}_r^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right]; \quad (4.34)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} u_n^{(s,l)}(t) \leq \left[P_r^{(j)} \left(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right) + \bar{P}_r^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right]; \quad (4.35)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \left[\sum_{\pi \in G_c} \left(\alpha_\pi^{(s,l)} - x_\pi^{(s,l)} \right) + \sum_{k \in G_c} \left(\alpha_k^{(m,r)} - x_k^{(m,r)} \right) \right] = 0, \forall l; \quad (4.36)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \varepsilon_n, \forall n; \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \theta_r, \forall r; \quad (4.37)$$

$$\omega_{rS_l}^{(s,l)} \left(a_{S_l}^{(s,l)} - x_{S_l}^{(s,l)} \right) = 0; \quad (4.38)$$

$$w_{nr}^{(s,l)} \in \{0, u_{vln}^{(b,j)}\}; \gamma_r^{(m,\delta)}(t), \omega_{rS_l}^{(s,l)} \in \{0, 1\}. \quad (4.39)$$

Крайові умови:

$$\begin{aligned} \text{для } t = t_0 : x_n^{(s,b)}(t_0) = x_r^{(s,l)}(t_0) = x_{rS_l}^{(s,l)}(t_0) = 0; \\ \text{для } t = t_f : x_n^{(s,l)}(t_f) = a_n^{(s,l)}; x_r^{(s,l)}(t_f), x_{rS_l}^{(s,l)}(t_f) = x_{rS_l}^{(s,l)}(t_0) \in \mathbf{R}^1. \end{aligned} \quad (4.40)$$

Показники якості програмного управління нарощуванням СРЗ спеціального призначення:

$$J_4 = \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \int_{t_0}^{t_f} \delta_{nr}^{(s,l)}(\tau) \cdot w_{nr}^{(s,l)}(\tau) d\tau; \quad (4.41)$$

$$J_5 = \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{n=1}^{m_j} \int_{t_0}^{t_f} c_{nr}^{(s,l)}(\tau) w_{nr}^{(s,l)}(\tau) d\tau; \quad (4.42)$$

$$J_6 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} \left(\alpha_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f) \right)^2. \quad (4.43)$$

У співвідношеннях (4.30) –(4.43) 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;

$x_{rSl}^{(s,l)}$ – 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;

$\alpha_n^{(s,l)}$ – 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.

Висновки до розділу 4

1. Запропоновано метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму. Структура СРЗ представляється у вигляді двомірної матриці інцидентності. Ця матриця використовується як хромосома операторами генетичного алгоритму. Елементи матриці інцидентності, що описують зв'язки між елементами СРЗ, у генетичному алгоритмі являються генами. В кожному циклі генетичного алгоритму здійснюється попарне схрещування хромосом, в ході якого здійснюється обмін частини генів, що для досліджуваної мережі означає появу та зникнення відповідних зв'язків між елементами. Розрахунок значень цільової функції (ступеню радіоелектронного придушення) пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій РЕП. Виграш від реалізації зазначеного методу складає від 9 до 14 % за рахунок скорочення часу на прийняття рішення на вибір топології СРЗ спеціального призначення.

2. Запропоновано метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих полягає у комплексному управлінні параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня СРЗ спеціального призначення. Запропонований метод дозволяє проводити вибір робочих частот засобів радіозв'язку з урахування стратегії засобів радіоелектронної протидії; дозволяє обрати раціональну топологію мережі, обрати раціональний маршрут передачі інформації та дозволяє обрати режим роботи засобу радіозв'язку з урахуванням пропускнуої спроможності СРЗ. Виграш в діапазоні 10–16 % був отриманий в ході оперативного контролю поточного стану сигнальної і заводової обстановки в каналах, зайнятих під передачу, за час, порівняний із тривалістю циклу обміну інформацією. Неоднозначність визначення стану каналів викликано різними параметрами сигналу, що приймається, в зв'язку з різними траєкторіями проходження сигналу та рівнями сигнал/шум в підканалах.

3. Запропоновано метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального

призначення.

Зазначений метод дозволяє: провести визначення впливу дестабілізуючих факторів на СРЗ спеціального призначення та визначити кількість необхідних сил та засобів радіозв'язку, які необхідно наростити для повноцінного функціонування СРЗ спеціального призначення при впливі засобів радіоелектронної протидії, вогневого ураження та кібер впливу. Зазначений метод дозволяє підвищити ефективність функціонування системи спеціального зв'язку при впливі дестабілізуючих факторів на 20–26 %, що підтверджується результатами моделювання.

Основні наукові результати, отримані в даному розділі дисертаційних досліджень, опубліковані в роботах [1–66].

Список використаних джерел до 4 розділу

1. 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(4), pp. 39–44. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.05>

2. 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>.

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., Volume 8. – pp. 1–6.
DOI: 10.30534/ijatcse/2019/0181.22019.

5. Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems / O.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. 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.

7. 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. Volume 9 – 2021. – № 1(109). – С. 18–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225331.

8. 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>.

9. 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>.

10. 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>.

11. A. Koshlan, O. Salnikova, M. Chekhovska, R. Zhyvotovskiy, Y. Prokopenko, T. Hurskiy, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskiy. 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>.

12. V. Dudnyk, Yu. Sinenko, M. Matsyk, Ye. Demchenko, R. Zhyvotovskiy, Iu. Repilo, O. Zabolotnyi, A. Simonenko, P. Pozdniakov, A. Shyshatskiy. 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>.

13. Shyshatskiy A. Method of multicriterial evaluation of the state of the special purposes of radio communication system channels / A. Shyshatskiy, 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.

14. Shyshatskiy, 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>.

15. P. Zuiev, R. Zhyvotovskiy, O. Zvieriev, S. Hatsenko, V. Kuprii, O. Nakonechniy, M. Adamenko, A. Shyshatskiy, 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>.

16. Minochkin, A., Shyshatskiy, 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>.

17. 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>.

18. 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>.

19. 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>.

20. 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>.

21. 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>.

22. 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>.

23. Романов О. М., Шишацький А. В., Налапко О. Л. Розробка методу підвищення оперативності передачі інформації в мережах спеціального призначення. *Modernn aspekty vědy: XXI. Dnĭ mezinĭrodnĭ kolektivnĭ monografie / Mezinĭrodnĭ Ekonomickĕ Institut s.r.o.. Āeskĕ republika: Mezinĭrodnĭ Ekonomickĕ Institut s.r.o.*, 2022. С. 381–403.

24. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Vakulenko, Y., Shyshatskiy, 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>.

25. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskiy, Pavel Shvets, Valentyna Tkachenko, Serhii Nevhad, Oleksandr Zhuk, Serhii Kravchenko, Bohdan Molodetskiy, & 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>.

26. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Shyshatskiy, A., Zhuk, O., Hurskiy, 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>.

27. 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., Stadnijtschuk 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/>.

28. 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>.

29. Fedoriienko, 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>.

30. Abed, A. A., Repilo, I., Zhyvotovskiy, R., Shyshatskyi, A., Hohoniants, 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>.

31. 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>.

32. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y., Luscschay, 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>.

33. 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.

34. 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.

35. 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.

36. 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.

37. 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.

38. 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.

39. 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.

40. 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.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

44. 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., Іжутова І. В., Процин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

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

46. 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.

47. 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.

48. 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.

49. 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.

50. 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.

51. 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.

52. 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.

53. 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.

54. 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.

55. 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.

56. 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>.

57. 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.

58. Сова О. Я., Шишацький А. В., Нерозник 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.

59. 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.

60. 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.

61. 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.

62. 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.

63. 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.

64. 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.

65. 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: I міжнар. наук.-практ. конф., 1 жо-вт. 2020 р: тези доповідей / Міністерство оборони України, НУОУ імені Івана Черняхівського. – К. : НУОУ, 2020. – С. 95.

66. 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.

РОЗДІЛ 5

РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ЗАВАДОЗАХИСТУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

5.1 Імітаційна модель системи радіозв'язку спеціального призначення

В розділі 4 розроблено сукупність методів інтелектуального управління засобами завадозахисту СРЗ спеціального призначення в залежності від сигнальної та заводої обстановки та наявності інформації про дії системи РЕП. Оцінити їх ефективність в умовах високої динаміки зміни радіоелектронної обстановки СРЗ можливо тільки методами імітаційного моделювання [1–8]. Методи імітаційного моделювання не накладають жодних обмежень на складність моделі, дозволяють врахувати в ній будь-яку кількість факторів, які впливають на результат, і вирішувати задачі для будь-якого типу систем без спрощення.

Суть імітаційного моделювання полягає у відтворенні процесу управління СРЗ спеціального призначення на кожному з рівнів моделі OSI за допомогою ймовірнісних та детермінованих процедур.

Метою розробки імітаційної моделі (ІМ) є експериментальне дослідження ефективності розроблених методів інтелектуального управління, з точки зору прийнятих критеріїв ефективності [1–8]. При цьому до ІМ висуваються наступні основні вимоги:

– в достатньо повній мірі відображати умови функціонування СРЗ та процес управління ними з урахуванням особливостей розроблених методів (адекватність моделі);

– вихідні характеристики, отримані в результаті експериментів, повинні забезпечувати можливість порівняльної оцінки ефективності розроблених методів;

– гарантувати точність та достовірність результатів моделювання.

Відповідно до принципів імітаційного моделювання, наведених у [4], представимо процес імітаційного моделювання СРЗ у вигляді сукупності етапів.

Змістовний опис об'єкта моделювання та створення концептуальної моделі. На даному етапі визначається об'єкт імітації й склад вихідної інформації, достатньої для вивчення процесів його функціонування. Складається можливий список обмежень моделі, які допустимі при організації імітації. Визначаються цілі моделювання та формулюються основні критерії ефективності, за якими передбачається проводити порівняння на моделі різних проектних рішень або варіантів архітектури системи.

Вихідними даними для імітаційного моделювання виступають характеристики СРЗ та розроблені методи інтелектуального управління СРЗ [8]. Характеристиками СРЗ є: кількість вузлів, радіоканалів та їх параметри, структура та динаміка зміни топології мережі. Кожен вузол в мережі в ході його моделювання може бути описаний сукупністю параметрів, які різносторонньо показує процес його функціонування. Вхідне навантаження кожного вузла визначають його сусіди. Кожен з них генерує повідомлення різного розміру, пріоритету, типу (мова, дані, відео), які визначають різні вимоги до якості обслуговування. Своєю чергою вузол може бути описаний з різних позицій: мобільності (швидкість та напрямок переміщення), надійності (інтенсивності відмов/відновлення), живучості (інтенсивність знищення, залишкова ємність батарей).

Так, з урахуванням особливостей розроблених методів, процес функціонування СРЗ може моделюватися на фізичному, каналному, мережевому, транспортному та прикладному рівнях [8]. На фізичному рівні параметрами моделювання є ймовірність втрати пакетів з даними, потужність сигналу, ймовірність бітової помилки та відношення сигнал/шум на прийомі. На каналному рівні параметрами моделювання є спосіб розділення каналу (частотний, часовий, кодовий) та протокол доступу до каналу (випадковий, з контролем несучої та ін.). На мережевому рівні – множина методів маршрутизації та управління топологією. На транспортному рівні беруться до уваги протоколи обміну інформацією (кількість повторних передач, час очікування квитанції та ін.), управління чергами та навантаженням. На прикладному рівні – вимоги до якості обслуговування та безпечної передачі кожного типу

трафіку, пріоритет трафіку та його орієнтовні об'єми (за умови, що передається не пульсуючий трафік даних).

В якості показників якості моделювання будуть використані параметри вузла чи радіоканалу за рівнями моделі OSI. При цьому контрольованими параметрами є:

- обсяги інформації, яка передається;
- залишкова ємність батареї вузлів на маршруті передачі;
- розмір черг в проміжних вузлах та швидкість зміни розміру черг;
- час затримки передачі пакетів;
- пропускна спроможність вузла (інформаційного напрямку).

Вплив функціонування розроблених методів на функціонування СРЗ відбувається на фізичному, каналному, мережевому та транспортному рівнях моделі OSI. Причому опис зовнішнього середовища в ІМ зводиться до опису процесів, що відбуваються на інших рівнях моделі OSI, для визначення їх впливу на прийняття рішень досліджуваними методами інтелектуального управління. Однак, врахувати в моделі всі параметри функціонування МР на даний час неможливо, через неповну дослідженість СРЗ на всіх рівнях моделі OSI. Тому фізичний рівень функціонування вузла спрощено (без втрат адекватності результатів моделювання) пороговою моделлю радіоканалу – якщо рівень сигналу на прийомі між вузлами i та j більший граничного значення, тоді радіоканал $i-j$ існує і вузли можуть вести інформаційний обмін. На каналному рівні для моделювання процесу доступу до радіоканалу пропонується використовувати випадкову величину часу доступу до радіоканалу $t_{дк}$, яка змінюється в певних межах (від $t_{дкmin}$ до $t_{дкmax}$).

На рис. 5.1 зображена структурна схема імітаційної моделі СРЗ, яка включає дві основні складові: модель вузла та модель радіоканалу. З урахуванням особливостей ЗРЗ як об'єкта моделювання, імітацію її роботи пропонується здійснювати з використанням транзактного способу [1–8]. Даний спосіб передбачає, що як модель вузла, так і модель радіоканалу представляються у вигляді системи масового обслуговування (СМО), елементами якої є блоки, що імітують роботу генераторів повідомлень, черг, приладів та багатоканальних приладів обслуговування. Один прогін моделі полягає в генеруванні повідомлення (транзакту) у вузлі-відправнику,

його проходженні мережею (через елементи СМО) до вузла-адресата, згідно з протоколами її функціонування, та знищенні. У цей час відбувається збір статистики. Кількість прогонів визначається необхідною точністю та достовірністю результатів моделювання [8, 9].

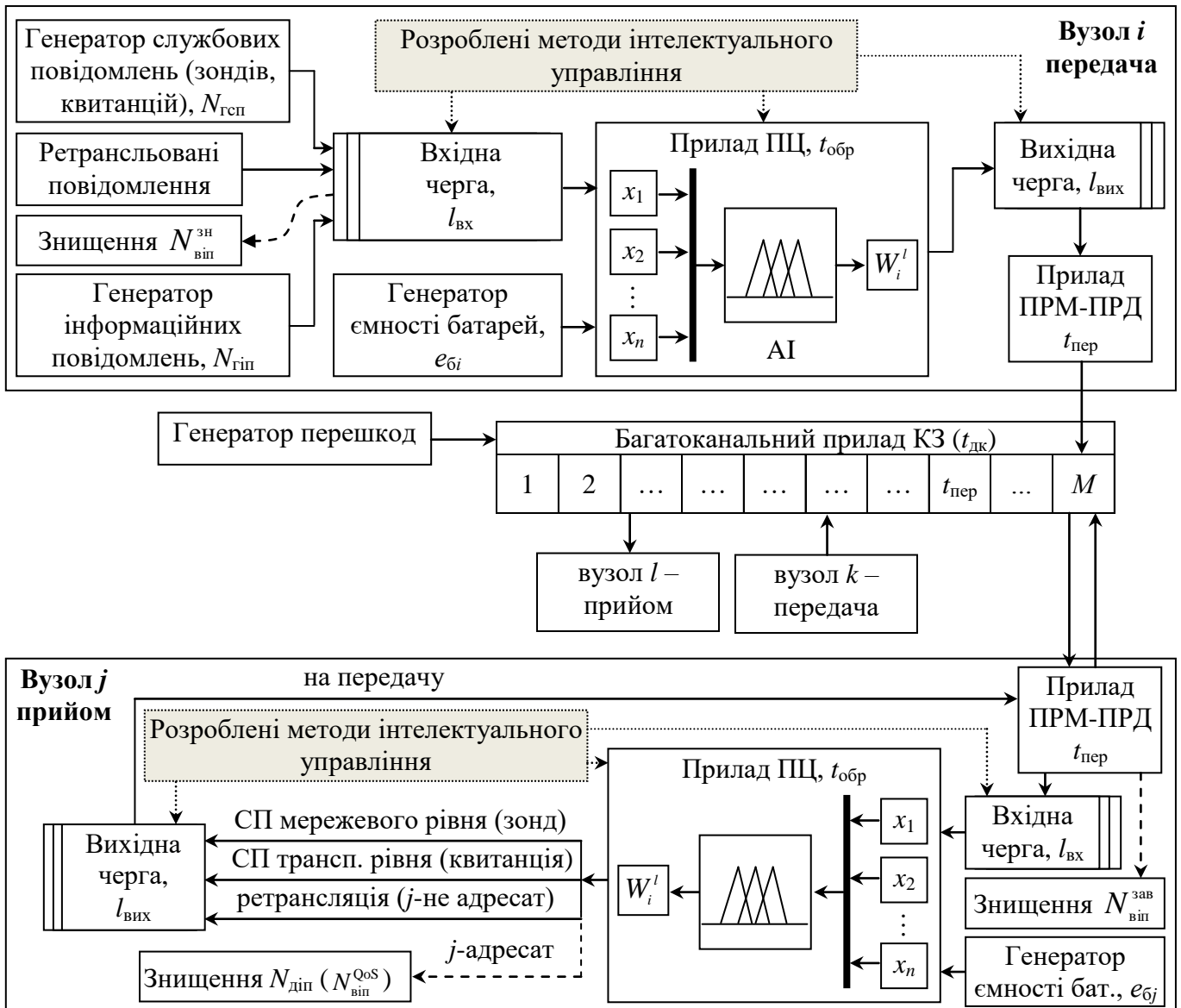


Рис. 5.1 Структурна схема імітаційної моделі з використанням транзактного способу імітації: ПЦ – процесор; СП – службове повідомлення; АІ – методи штучного інтелекту; ПРМ – приймач; ПРД – передавач

У якості параметрів блоків, які імітують роботу генераторів повідомлень, виступають інтенсивності повідомлень різного типу: службових повідомлень λ_3 (зондів чи квитанцій), та інформаційних повідомлень λ_c^ξ . З метою спрощення ІМ

було здійснено припущення, що генерування повідомлень відбувається за пуассоновським законом. Змінними для блоків, що імітують роботу вхідної та вихідної черг, приладів процесора та прийомопередавача, є час затримки, протягом якого дане повідомлення обробляється тим чи іншим приладом. При цьому, час обробки повідомлень у приладі процесор включає час, що витрачається на прийняття рішень базою знань (вважається, що база знань вузлової ІС) не потребує навчання в процесі прийняття рішень).

У якості статистичних даних при моделюванні будуть виступати:

- розміри вхідної $l_{вх}$ та вихідної $l_{вих}$ черг;
- час затримки повідомлень під час передачі в СРЗ (включає час обробки $t_{обр}^{\xi}$ на передачі та прийомі, час доступу до каналу $t_{дк}^{\xi}$ та час передачі в радіоканалі $t_{пер}^{\xi}$);
- кількість генерованих $N_{гін}$ та доставлених $N_{дін}$ інформаційних повідомлень;
- кількість генерованих службових повідомлень $N_{сп}$;
- кількість маршрутів між вузлами відправником та адресатом $m^{ab} = \{m_r^{ab}\}; r = \overline{1, R}$;
- ємність батарей вузлів $e_{\phi_i}, i = \overline{1, N}$, які складають r -й маршрут передачі.

Оскільки основне завдання мобільної радіомережі полягає в передачі трафіку із заданою якістю обслуговування, то в якості критеріїв ефективності вибрано пропускну спроможність $S = N_{дін}/N_{гін}$ та обчислювальну складність розробленого науково-методичного апарату маршрутизації в мережах військового призначення, що самоорганізуються, на процес функціонування СРЗ.

Формальний опис об'єкта моделювання. Модель передбачає, що кожен вузол генерує повідомлення відповідно до свого вхідного навантаження. Процес проходження пакета від вузла i (передавальний вузол) до вузла j (приймальний вузол) зображено на рис. 5.1.

В процесі передачі радіоканалом повідомлення може бути втрачене (в моделі – знищене) через вплив внутрішньосистемних завад (вплив протоколу доступу до каналу, проблема “прихованого термінала”) або перешкод, які створюються противником. Моделювання впливу зазначених перешкод здійснюється блоком

генератор перешкод, які формуються випадковим чином за показниковим законом. Кількість втрачених інформаційних повідомлень через наявність перешкод підраховується змінною $N_{\text{вип}}^{\text{зав}}$.

Створення імітаційної моделі. Моделювання процесу маршрутизації ЗРЗ включає наступні процедури: генерацію службових повідомлень (квитанцій, зондів), їхнє розсилання, формування (корегування) бази знань про стан мережі у вузлах при прийомі службових повідомлень (СП) (квитанцій, зондів). Змінними параметрами є:

– спосіб розсилки СП (квитанцій, зондів) – періодичний або пов’язаний з подіями;

– частота генерації СП (квитанцій, зондів);

– глибина розсилання СП (квитанцій, зондів);

– метрика вибору методу управління потоками даних (формат СП, зондів).

В якості основних можна виділити наступні події:

– генерація пакета (інформаційного, службового) для передачі;

– зайняття та звільнення пакетом вхідної (вихідної) черги вузла;

– зайняття та звільнення пакетом процесора вузла;

– зайняття та звільнення пакетом процесора прийомопередавача;

– зайняття та звільнення пакетом радіоканалу;

– відмова та відновлення каналу радіозв’язку;

– виникнення піку вхідного трафіку, його нормалізація та ін. Схема алгоритму

функціонування імітаційної моделі зображена на рис. 5.2.

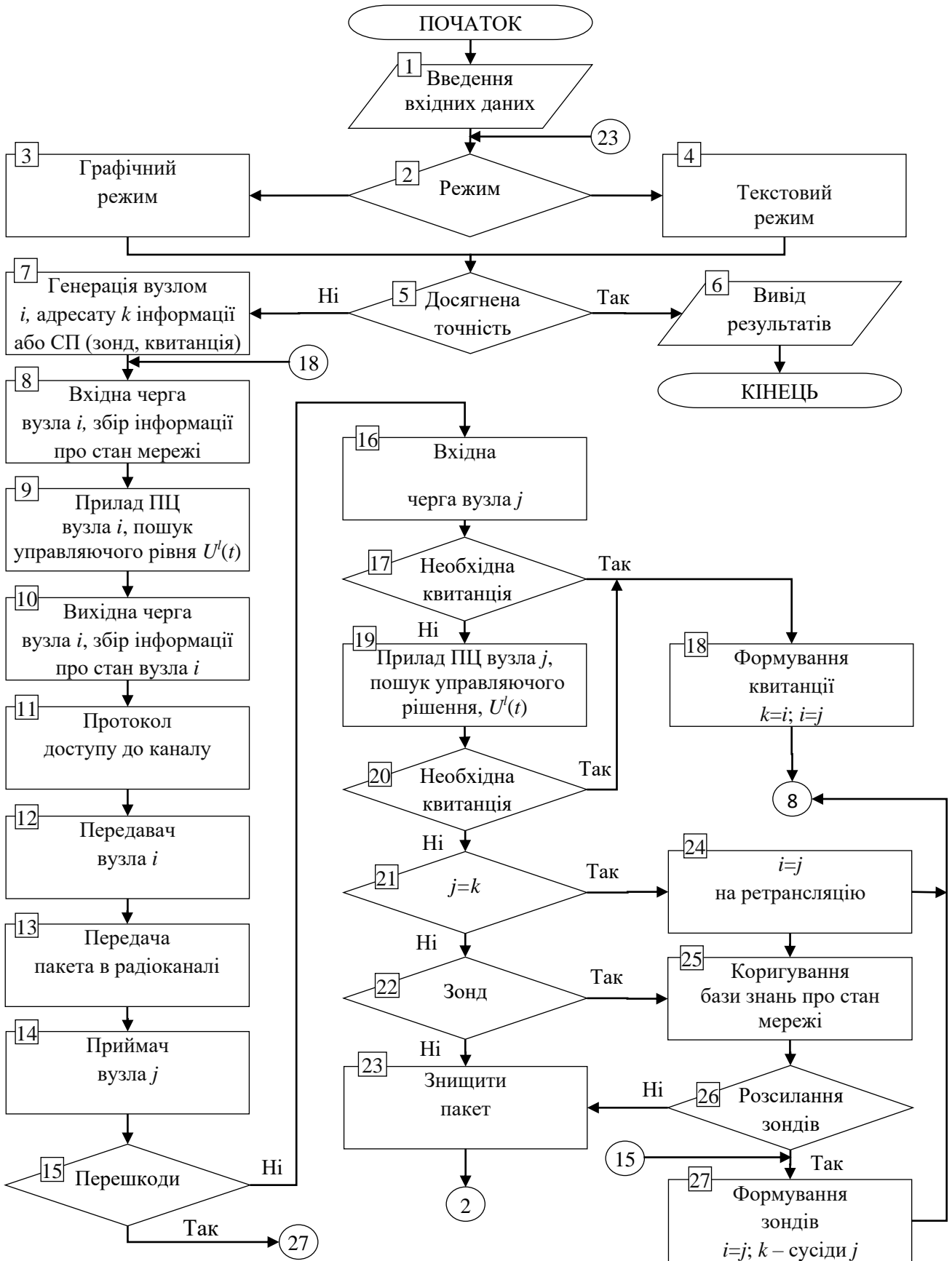


Рис. 5.2 Схема алгоритму функціонування імітаційної моделі мобільної радіомережі: СП – службове повідомлення; ПЦ – процесор

Як зазначалося вище, імітацію роботи ЗРЗ пропонується здійснювати з використанням транзактного способу, який передбачає, що для кожного генерованого повідомлення встановлюється часова координата, яка при проходженні блоків ІМ змінює своє значення. При цьому, внутрішня синхронізація транзактів (в тому числі вирішення конфліктних ситуацій, що виникають за необхідності одночасного обслуговування різними блоками своїх транзактів) відбувається за допомогою черг та визначених дисциплін їх обслуговування.

Програмування. В цілому, імітаційна модель являє собою сукупності процедур та може бути використана для аналізу та синтезу інтелектуальних методів управління ЗРЗ на мережевому, а також транспортному рівнях моделі OSI. Як зазначалося вище, особливості НМА ЗРЗ вимагають включення до складу ІМ процедур, пов'язаних з введенням та корегуванням бази знань, яка містить правила “поведінки” вузла в залежності від стану радіомережі. З цією метою запропоновано імітувати процес управління ЗР з використанням системи комп'ютерної математики MATLAB + Simulink [8], яка включає досить функціональний набір засобів для моделювання роботи вузлів та мереж зв'язку, а також для статистичного аналізу результатів моделювання.

Оцінка адекватності моделі. У загальному випадку під адекватністю розуміють ступінь відповідності моделі тому реальному явищу або об'єкту, для опису якого вона будується. Один з найбільш поширених способів формального обґрунтування адекватності розробленої моделі – використання методів математичної статистики. Суть цих методів полягає в перевірці висунутої гіпотези щодо адекватності моделі на основі деяких статистичних критеріїв, здійснення якої можливе різними способами, найпоширеніші з яких:

- за середніми значеннями відгуків моделі та системи;
- за дисперсією відхилень відгуків моделі від середнього значення відгуків системи;
- за максимальним значенням відносних відгуків моделі та системи.

При цьому, процедура оцінки заснована на порівнянні вимірювань на реальній системі (чи її прототипі) і результатів експериментів на моделі. Однак, якщо

прототип системи відсутній, то для порівняння можна використовувати систему вкладених ІМ, які відрізняються одна від одної ступенем деталізації одних і тих же явищ. У такому випадку більш детальна модель служить у якості прототипу для узагальненої ІМ. Якщо ж побудувати таку послідовність ІМ неможливо через відсутність ресурсів на виконання цієї роботи чи через нестачу інформації про об'єкт моделювання, то оцінку адекватності моделі не проводять [8].

Так як на даний момент існуючий прототип ЗРЗ відсутній, то оцінка адекватності запропонованої ІМ відбувалася шляхом її порівняння з імітаційною моделлю, яка передбачала більш детальний опис функціонування ЗРЗ на каналному та фізичному рівнях моделі OSI. При цьому, перевірку адекватності можна проводити різними способами:

- за середніми значеннями відгуків моделей;
- за дисперсіями відхилень відгуків досліджуваної моделі від середнього значення моделі-прототипу;
- за максимальним значенням абсолютних відхилень відгуків досліджуваної моделі та моделі-прототипу.

Для дослідження адекватної запропонованої ІМ було використано перший спосіб [8].

Таким чином, можемо скористатися таблицею розподілу t -статистики [12], прийнявши кількість ступенів волі рівною $\gamma = N + N^* - 2$. Зазвичай задаються рівнем залежності $\alpha = 0,05$ та за конкретним значенням кількості ступенів волі γ за таблицями знаходять критичне значення t -статистики $t_{кр}$. Якщо виконується нерівність $t_n \leq t_{кр}$, то гіпотеза про близькість середніх значень n -ї компоненти відгуків моделей приймається. Тільки при наближеності відгуків за всіма компонентами векторів Y_k^* та Y_k можна говорити про адекватність моделей.

Оцінка стійкості моделі. При оцінці адекватності моделі проектованої системи реально може бути використана лише обмежена підмножина всіх можливих значень вхідних параметрів, за якими здійснюється оцінка як системи, так і зовнішнього середовища. У зв'язку з цим для обґрунтування достовірності отримуваних результатів моделювання велике значення має перевірка стійкості моделі, яка

відображає її здатність зберігати адекватність при дослідженні ефективності системи на всьому можливому діапазоні робочого навантаження, а також при внесенні змін в конфігурацію системи. Тобто оцінюється ступінь нечутливості досліджуваної системи до змін вхідних умов.

Перевірка стійкості ІМ полягає в порівнянні результатів моделювання до та після внесення до неї змін. Стійкість результатів моделювання також може бути оцінена методами математичної статистики. Суть полягає в тому, щоб перевірити гіпотезу щодо властивостей деякої множини елементів, яка називається генеральною сукупністю, оцінюючи властивості деякої підмножини генеральної сукупності (тобто вибірки).

Універсальної процедури перевірки стійкості моделі не існує. Тому для перевірки гіпотези про стійкість ІМ у даній роботі було використано критерій Уїлкоксона [8], який дозволяє встановити не тільки напрямок зміни параметрів, але й інтенсивність таких змін. Суть методу полягає в тому, що зіставляються абсолютні величини відхилень компонентів вектору відгуку в тому чи іншому напрямку. Для цього спочатку всі абсолютні величини відхилень ранжуються, а потім сумуються ранги. Якщо зрушення в ту чи іншу сторону відбуваються випадково, то й суми їх рангів виявляться приблизно рівні. Якщо ж інтенсивність зрушень в одну сторону більша, то сума рангів абсолютних значень зрушень в протилежну сторону буде значно нижчою, ніж це могло б бути при випадкових змінах.

Оцінка чутливості моделі. Якщо зміна вхідних впливів або параметрів моделі (в деякому заданому діапазоні) не відбивається на значеннях вихідних параметрів, то користь від такої моделі невелика, так як модель нечутлива до зміни параметрів. Тому необхідно оцінити чутливість моделі до зміни параметрів робочого навантаження та внутрішніх параметрів самої системи. Така оцінка проводиться за кожним параметром окремо.

У ході перевірки чутливості встановлюється діапазон зміни відгуку ІМ Y при зміні кожної компоненти вектору параметрів X . У залежності від діапазону зміни відгуків Y визначається стратегія планування експериментів на ІМ. Якщо при значній амплітуді зміни деякої компоненти вектору параметрів моделі X відгук Y

змінюється не значно, то це означає, що точність відображення цієї компоненти в ІМ не відіграє суттєвої ролі і в планування імітаційного експерименту ця компонента не буде використовуватися в якості основної. В іншому випадку таку компоненту слід представляти в моделі з максимальною точністю.

5.2 Оцінка ефективності методу синтезу раціональної топології системи радіозв'язку спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму

Враховуючи взаємопов'язаність результатів дослідження то на етапі введення вихідних даних методу (дія 1) використовуються дані з удосконаленого методу оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення, а на етапі 5 метод оцінки та прогнозування стану СРЗ та метод оцінки кібер захищеності СРЗ спеціального призначення.

Тоді оцінка методу синтезу раціональної топології системи радіозв'язку спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму повинна проводитися сумісно з ними.

Для проведення оцінки ефективності запропонованого удосконаленого методу оцінки радіоелектронної обстановки систем радіозв'язку спеціального призначення було проведено моделювання з використанням наступних складових [9]:

- персонального комп'ютеру з встановленим спеціальним програмним забезпеченням та MathCad 2014;

- аналізатору цифрових потоків Agilent OmniBER 718 з програмним забезпеченням та набором з'єднувальних кабелів, що вимірює параметри;

- постановника перешкод TRC 274 H/V/UHF Jammer (20-3000 МГц), що імітував роботу комплексу радіоелектронної протидії (потужність передавача – 20 Вт. Смуга частот, що може бути придушена – 10 МГц; тип перешкоди – шумова загороджувальна перешкода з частотною маніпуляцією; стратегія комплексу РЕП-динамічна);

- станції широкосмугового радіодоступу MikroTik NetMetal 5 з наступними

параметрами (128 позиційна квадратурна амплітудна маніпуляція; ширина смуги випромінювання 40 МГц, потужність випромінювання 1 Вт; частота випромінювання 2.1 – 3 ГГц).

Для вирішення поставленої задачі використовувалися наступні лінгвістичні змінні:

1. Ймовірність бітової помилки (BER): Діапазон допустимих значень: $10^{-3} \div 10^{-12}$;

BER = “Ймовірність бітової помилки” = {«канал непридатний», «канал обмежено придатний», «канал придатний для роботи»};

2. Коефіцієнт перекриття каналу: Діапазон допустимих значень: $0 \div 1$;

KOV = “Коефіцієнт перекриття каналу” = {“канал перекритий перешкодою повністю”, “канал перекритий перешкодою частково”, “канал без перешкод”};

3. Потужність передавача перешкод:

Діапазон допустимих значень: $1 \div 20$ Вт;

PJ = “Потужність передавача перешкод” = {“низька потужність”, “середня потужність”, “висока потужність”};

4. Частота випромінювання передавача перешкод:

Діапазон допустимих значень: $20 \div 3000$ МГц;

FJ = “Частота випромінювання передавача перешкод” = {“Нижня ділянка смуги частот”, “середня ділянка смуги частот”, “верхня ділянка смуги частот”};

5. Потужність станції широкосмугового радіодоступу:

Діапазон допустимих значень: $0 \div 1$ Вт;

PW = “Потужність станції широкосмугового радіодоступу” = {“низька потужність”, “середня потужність”, “висока потужність”};

6. Вид сигнально-кової конструкції станції широкосмугового радіодоступу:

Діапазон допустимих значень: $4 \div 128$ позиційна квадратурна амплітудна маніпуляція;

SC = «Вид сигнально-кової конструкції станції широкосмугового радіодоступу» = {“низька позиційність”, “середня позиційність”, “висока

позиційність”};

7. Частота випромінювання станції широкосмугового радіодоступу:

Діапазон допустимих значень: 2100÷3000 МГц;

FW = “Частота випромінювання станції широкосмугового радіодоступу” = {“Нижня ділянка смуги частот”, “середня ділянка смуги частот”, “верхня ділянка смуги частот”};

8. Невизначеність радіоелектронної обстановки:

Діапазон допустимих значень: повна невизначеність÷повне знання;

UN = “Невизначеність радіоелектронної обстановки” = {“Повна невизначеність”, “часткова невизначеність”, “повне знання”};

Для спрощення подальшого запису позначимо нечіткі змінні “нульова” – “Z”, “низька” – “L”, “нормальна” – “N”, “висока” – “H”.

Експерт (оператор станції широкосмугового радіодоступу) виконав первинне налаштування функцій належності терм безлічі нейрон-нечіткої експертної системи, оскільки всі джерела радіовипромінювання мають різні характеристиками. Експерт вказав, які значення первинних і розрахункових параметрів вважати високими для даної станції широкосмугового радіодоступу, які середніми, а які низькими. Функції належності для аналізу радіоелектронної обстановки представляються в зазначеному вигляді згідно з формулою:

1) (PJ=“H”) та (KOV=“H”) та (UN=“H”) та (PW=“L”)→(BER=“H”),

...

81) (PJ=“L”) та (KOV=“L”) та (UN=“L”) та (PW=“H”)→(BER=“L”),

82) (FJ=“L”) та (FW =“L”) та (UN=“H”) та (PW=“H”)→(BER=“N”),

...

108)(SC=“L”) та (KOV=“L”) та (UN=“H”) та (PJ=“L”)→(BER=“N”),

В даному прикладі наводиться частина бази правил нейрон-нечіткої експертної системи. В основній базі правил присутні правила не тільки зі зв'язками умов з допомогою Т-норм, а й за допомогою Т-конорм і з запереченнями умов.

У гіршому випадку для пошуку рішення системі слід перевірити всі правила містяться в базі правил. Тобто необхідно перевірити 405 умов і обчислити 297 операцій Т-норми. Це неприйнятно тривалий процес, в умовах обмежень апаратного забезпечення.

Вхідними даними для нейро-нечіткої експертної системи є показники потужності передавача станції широкосмугового доступу, вид сигнально-кової конструкції станції широкосмугового радіодоступу, невизначеність РЕО (частка параметрів яка відома про постановник перешкод), частота випромінювання станції широкосмугового радіодоступу. Після проходження етапу фазифікації система отримала нечіткі оцінки для кожного контрольованого параметра.

Наприклад, якщо значення ймовірності бітової помилки в каналі складає $BER=10^{-3}$, потужність станції широкосмугового радіодоступу максимальна та складає 1 Вт, використовується 4 позиційна квадратурна амплітудна маніпуляція, невизначеність РЕО – повна, частота випромінювання станції широкосмугового радіодоступу – нижня і ці значення фазифікуються для даної станції, як “низькі”, то буде виконано правило з бази знань, в результаті якого будуть отримані наступний висновок: “Так як, ймовірність бітової помилки – висока, позиційність сигнально-кової – низька, невизначеність РЕО – висока, то потужність передавача постановника перешкод – висока, коефіцієнт перекриття спектру каналу – повний, постановник перешкод та станція широкосмугового доступу працюють на однаковій частоті. Тому необхідно виконати перестройку частоти випромінювання станції широкосмугового радіодоступу = “висока”. Потім була виконана дефазифікація значення “висока” лінгвістичної змінної “частота випромінювання станції широкосмугового радіодоступу”, і до станції широкосмугового радіодоступу передано нове значення частоти випромінювання, яке необхідно встановити.

Проведемо оцінку складності $\Xi_{\text{mod Rete}}(n, m, k, t, s)$ пошуку рішення для нейро-нечіткої експертної системи, що функціонує на основі модифікованого методу Rete. Необхідно спочатку сформулювати оцінку складності роботи нейро-нечіткої експертної системи з класичним методом пошуку рішення $\Xi_{\text{Rete}}(n, m)$ і потім оцінити

скорочення кількості обчислень.

Нехай n – кількість правил в нейро-нечіткої експертної системі, m_i – кількість умов в i -му правилі ($i = 1, \dots, n$), k – кількість різних лінгвістичних змінних, що беруть участь в умовах правил, t_i – потужність терм-множини i -ї лінгвістичної змінної, що бере участь в умовах правил, s – кількість відносин між змінними в умовах.

Необхідно відзначити, що модифікований метод Rete скорочує кількість ітерацій при пошуку рішення та скорочує кількість обчислень на кожній ітерації.

В такому випадку середня складність виконання одного циклу перевірки правил при роботі нейро-нечіткої експертної системи з класичним методом матиме вигляд (5.1):

$$\Xi_{\text{Rete}}(n, m) = \sum_{i=1}^n (2 \times m_i - 1), \quad (5.1)$$

$$\Xi_{\text{mod Rete}}(n, m, k, t, s) = \sum_{i=1}^n (m_i - 1) + \min \left\{ \sum_{i=1}^n (m_i), \sum_{i=1}^k (t_i) \times s \right\}, \quad (5.2)$$

де спочатку обчислюється складність обробки т-норм або т-конорм, а потім обчислюється мінімальне значення з якої складності всіх умов правил і складності всіх сполучень елементів терм-множин змінних і знаків відносин. Оцінка складності для баз правил (БПі) наводяться в таблиці 5.1. Для порівняння оперативності оцінки використовувалися класичний метод Rete, Treat та Leaps та запропонований метод [9].

В цій таблиці наочно показано, що застосування модифікованого методу Rete обґрунтовано для баз правил, що містять велику кількість правил і відносно малу кількість лінгвістичних змінних. В цьому випадку модифікований метод Rete дозволяє прискорити обробку інформації практично в два рази у порівнянні з нечіткою експертною системою, та на 20–25 % у порівнянні з класичним методом Rete.

Таблиця 5.1 – Значення оцінок складності

	n	$m_{\text{н\ddot{a}d}}$	k	$t_{\text{н\ddot{a}d}}$	s	$\Xi_{\text{f \AA N}}$	Ξ_{Rete}	Ξ_{Treat}	Ξ_{Leaps}	$\Xi_{\text{mod Rete}}$
БП1	20	9	12	5	6	150	150	150	150	150
БП2	200	9	12	5	6	1500	1420	1550	1580	1140
БП3	400	9	12	5	6	3450	3300	3500	3550	2660
БП4	600	9	12	5	6	7000	6560	6600	6690	5050
БП5	20	9	12	5	6	150	150	150	150	150
БП6	200	9	12	5	6	1500	1420	1550	1580	1140
БП7	400	9	12	5	6	3450	3300	3500	3550	2660
БП8	600	9	12	5	6	7000	6560	6600	6690	5050
БП9	20	9	12	5	6	150	150	150	150	150
БП10	200	9	12	5	6	1500	1420	1550	1580	1140
БП11	400	9	12	5	6	3450	3300	3500	3550	2660
БП12	600	9	12	5	6	7000	6560	6600	6690	5050
БП13	20	9	12	5	6	150	150	150	150	150
БП14	200	9	12	5	6	1500	1420	1550	1580	1140
БП15	400	9	12	5	6	3450	3300	3500	3550	2660
БП15	600	9	12	5	6	7000	6560	6600	6690	5050

Результати оцінки стану радіоелектронної обстановки для різних систем представлені рис. 5.2.

Особливостями систем аналізу радіоелектронної обстановки є: велика кількість параметрів, що аналізуються; динамічна зміна радіоелектронної обстановки; функціонування в умовах невизначеності про стан радіоелектронної обстановки; постійне оновлення сигнальної бази; функціонування в умовах впливу природних та навмисних перешкод. При цьому в умовах постійного поповнення баз знань використання класичного методу Rete є неприйнятним з точки зору адекватності та правильності обчислень.

Дослідження розробленого методу показало, що зазначений метод забезпечує в середньому на 20–25 % більшу високу оперативність отримання оцінки та не накопичує помилок в ході навчання (табл. 5.1).

Основними перевагами запропонованого методу оцінки є:

– не накопичує помилки навчання в ході пошуку рішень за рахунок навчання штучних нейронних мереж (корегування параметрів та архітектури штучної нейронної мережі);

– менша обчислювальна складність (20–25 % підвищення оперативності прийняття рішення);

– при виконанні пошуку рішення однакові умови обчислюються одноразово, що забезпечує прискорення проходження циклу перегляду правил;

– менший обсяг займаної пам'яті, так як замість однакових умов правил використовуються посилання на них;

– дозволяє визначати не тільки окремі однакові умови в базі правил, але й блоки однакових умов, що дозволяє додатково збільшити швидкість пошуку рішення;

– дозволяє працювати з чіткими та нечіткими продукціями;

– врахування типу невизначеності про стан радіоелектронної обстановки.

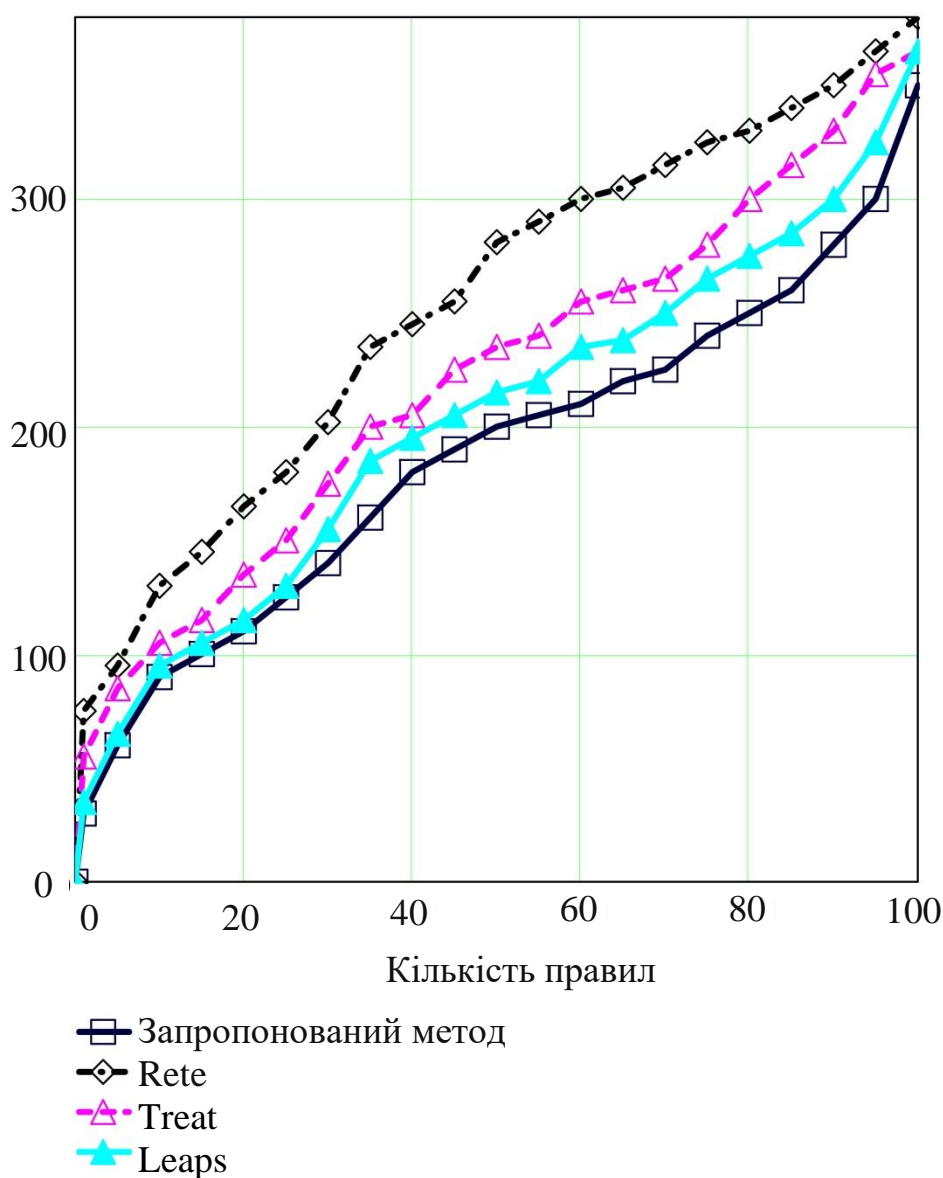


Рис. 5.3 Порівняння оперативності отриманої оцінки для різних методів

Що стосується обмежень роботи зазначеного методу, то зазначений метод адаптований для аналізу радіоелектронної обстановки, в умовах її невизначеності та високої динамічності. Разом з тим, запропонований метод здатний успішно вирішувати завдання з аналізу даних при відповідній адаптації до певного виду систем підтримки прийняття рішень аналізу РЕО.

Разом з тим, як вже було зазначено, в ході роботи відомі методи накопичують помилки, саме тому в запропонованому методі запропоновано використання штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Результати оцінки ефективності наведені на рис. 5.4.

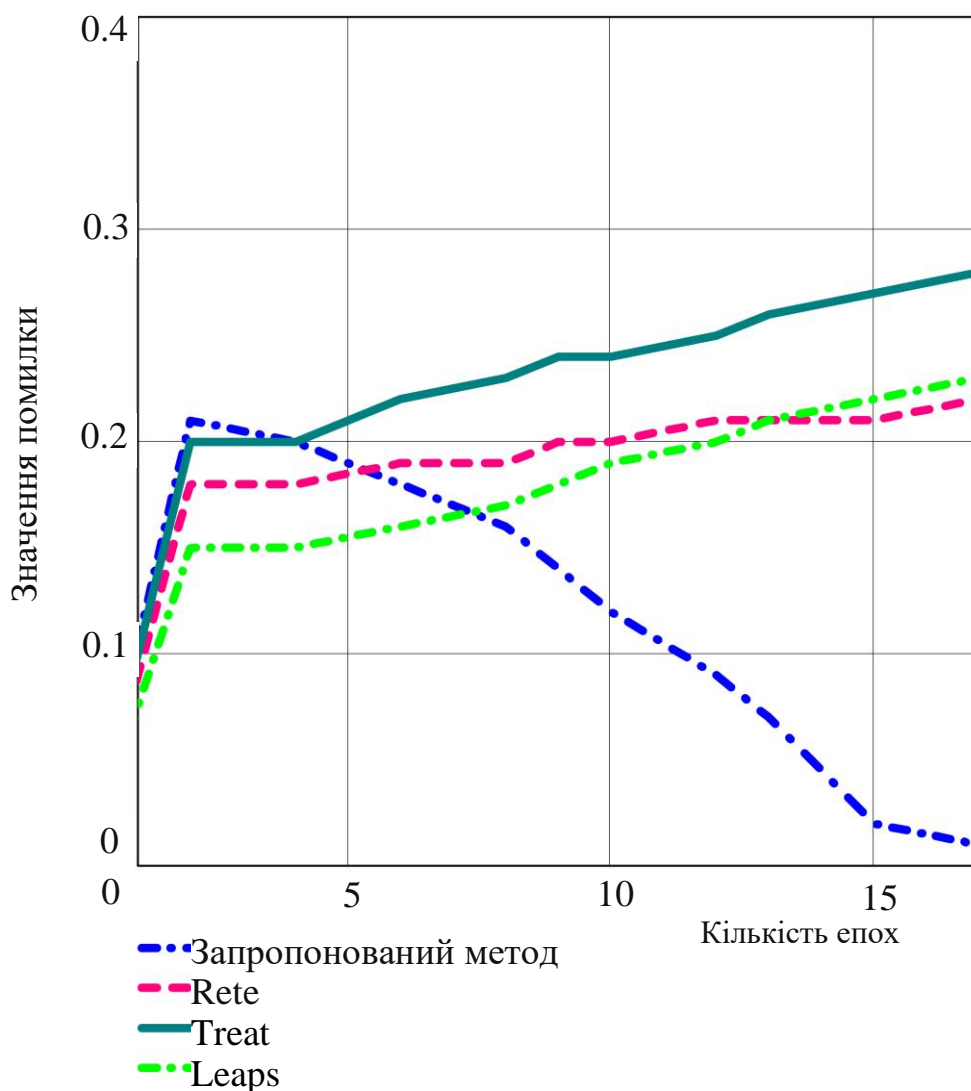


Рис. 5.4 Оцінка ефективності використання штучних нейронних мереж, що еволюціонують

З рис. 5.4 видно, що використання штучних нейронних мереж, що еволюціонують, дозволяє вже після 3 епохи не накопичувати помилки навчання та відбувається поступове зменшення помилки навчання.

Розглянемо витрати на навчання штучної нейронної мережі, що еволюціонує.

Для проведення моделювання використовувалася навчальна вибірка, що містить дані про джерело радіовипромінювання. Для моделювання використовувалося база правил із цієї вибірки.

Для порівняння витрат на навчання ШНМ використовувалися запропонований метод, Rete, Treat та Leaps.

Результати порівняння для різних методів представлені в табл. 5.2 [9–14].

Таблиця 5.2 – Результати порівняння для різних методів

Назва системи	Кількість параметрів	Кількість умов правил що обчислюються	Кількість правил в базі даних	Час, с
Rete	8	350	100	0.1398
Treat	8	350	100	0.1501
Leaps	8	350	100	0.1456
Запропонований метод з ШНМ, що еволюціонує	8	387	100	0.954

Як видно з таблиці 5.2, для навчання ШНМ необхідно провести обчислювання додаткових 37 правил (навчальна вибірка), що складає 10,5%, що підвищує обчислювальну складність на навчання штучної нейронної мережі складає, проте дає вигоду в оперативності на рівні 20-25% у порівнянні з класичним методом Rete.

Когнітивна карта оперативної обстановки угруповання (в частині визначення РЕО) – це квадратна таблиця (матриця інцидентності). Рядки і стовпці взаємно однозначно відповідають базисним факторам, що описують досліджуваний об'єкт (в

даному СРЗ), а число, що стоїть на перетині i -го рядка та j -го стовпчика, описує дію i -го фактору на j -й фактор (табл. 5.3) [9–14].

Розглянемо роботу генетичного алгоритму, описаного вище на конкретному прикладі.

Є чотири альтернативи $(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, x_3^{(k)}, x_4^{(k)})$ стану СРЗ, які описуються чотирма частковими критеріями. Критеріями є: c_1 – вид деструктивного впливу (загороджувальні перешкоди, перешкоди в частині смуги, кібер атаки типу відмова від обслуговування); c_2 – кількість ЗРЗ, од.; c_3 – ймовірність дезорганізації СРЗ, може бути не досягнута повністю або частково; c_4 – вартість організації зв'язку угруповання $s(x_i)=[767,830]$ у. о., ($i=1\dots4$). Необхідно провести оцінку ЗРЗ з наступним вибором її топології.

Таблиця 5.3 – Матриця інцидентності когнітивної карти оцінювання оперативної обстановки

№	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	w_{11}	w_{12}
w_1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
w_2	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0
w_3	0	1	0	0	1	0	0	-1	0	1	0	-1
w_4	0	0	1	0	0	1	-1	0	0	1	1	0
w_5	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
w_6	0	1	0	0	-1	0	1	1	-1	1	1	0
w_7	1	-1	1	0	0	-1	0	1	0	1	0	0
w_8	0	-1	1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0
w_9	1	0	1	1	-1	1	1	0	0	1	1	0
w_{10}	1	-1	0	1	0	1	0	-1	0	0	0	0
w_{11}	1	1	1	-1	0	1	0	0	0	1	1	1
w_{12}	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0

Розрахункові значення часткових критеріїв стану СРЗ для кожної альтернативи представлено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахункові значення часткових критеріїв стану СРЗ для кожної альтернативи поточного стану

Альтернативи ведення радіозв'язку	Часткові критерії стану СРЗ		
	c_1	c_2	c_3

$x^{(1)}$	[9,5, 10, 10,7, 11]	[10, 12, 13, 15]	[0,8, 0,82, 0,83, 0,84]
$x^{(2)}$	[8,7, 9, 9,5,10]	[8, 9,10,12]	[0,83, 0,85, 0,86, 0,87]
$x^{(3)}$	[9,2, 9,6, 10, 10,3]	[9,10,11,12]	[0,8, 0,83, 0,84, 0,85]
$x^{(4)}$	[9,5, 9,8, 10,3, 10,7]	[10, 11, 12, 13]	[0,84, 0,86, 0,87, 0,9]

На основі підходів наведених в [2, 4] отримана коефіцієнти відносної важливості часткових критеріїв у вигляді трапецієподібних чисел:

$$w_1 = [3, 3,4, 3,7, 4,3], \quad w_2 = [3,2, 3,65, 3,76, 4,2],$$

$$w_3 = [2,2, 2,6, 2,77, 3,12], \quad w_4 = [2,5, 2,85, 3,3, 3,4],$$

де $w_{4(s)}$ – вагові коефіцієнт відносної важливості критерію вартості ведення радіозв'язку операції угрупованням військ (сил).

Початкові значення параметрів генетичного алгоритму такі: крапка кроссовера (схрещування) – 1; крапка мутації – 1; кількість ітерацій – 10.

У результаті були отримані наступні рішення, представлені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати оптимізації

Альтернативи ведення радіозв'язку	Вектор вартості радіозв'язку в операції	Оцінка узагальненої корисності для кожної з топологій
$x^{(1)}$	[600, 656, 661,721]	0,94
$x^{(2)}$	[600, 692,710, 736]	0,72
$x^{(3)}$	[600, 674,693, 709]	0,55
$x^{(4)}$	[600, 685,743, 750]	0,69

З табл. 5.5 видно, що альтернатива x_1 зі значеннями вартості [600, 656, 7661, 721] і відповідної їй узагальненою корисністю $F(x^{(1)})=0,94$ є найкращою альтернативою топології СРЗ угруповання. Вектор розподілу [600, 656, 7661, 721] означає, що при зазначеному варіанті застосуванні угруповання військ (сил) реалізація альтернативи $x^{(1)}$ даного виду топології СРЗ складає від 656 до 717 млн. умовних одиниць.

Для оцінки ефективності методу оцінки кібер захищеності СРЗ спеціального призначення позначимо, які параметри для кожного типу операторів розглядалися. Метод був апробований при пропорційній селекції (обсяг 18 %); рекомбінації:

середня. Щоб визначити найбільш ефективну комбінацію налаштувань для кожної окремої розглянутої схеми необхідно всі інші параметри пошуку залишити однаковими. Обсяг популяції був обраний рівним 50, число популяцій – 50. Зазначені дані взяті відповідно до орієнтовної чисельності командних пунктів оперативного угруповання військ (сил). Порівняння алгоритмів здійснюється за критерієм придатності отриманих рішень. Число незалежних запусків у експериментах – 100. Швидкість оцінювалася як середнє покоління, на якому алгоритм знаходить глобальний оптимум. Порівнювалися кілька різних оптимізаційних алгоритмів вирішення поставленого екстремальної задачі. Серед них: класичний бінарний генетичний алгоритм; дійсний генетичний алгоритм; запропонований метод та генетичний алгоритм з алгоритмом налаштування Population-Level Dynamic Probabilities (PDP). При цьому кількість обчислень цільової функції для роботи генетичних алгоритмів було вибрано рівним числу вимірювань цільової функції, в циклах яких використовувалося локального поліпшення [19–25].

В табл. 5.6 наведені результати порівняння для запропонованого методу та відомих при пошуку в одному напрямку, пошуку в двох напрямках та пошуку в трьох напрямках.

Таблиця 5.6 – Часові та системні витрати навчання та тестування

Індикатори		Схеми комбінування				
		one-vs-all	one-vs-one	<i>CBT</i>	<i>DAG</i>	
Навчання: кількість навчальних екземплярів — 8000						
Однопоточковий режим	Час (сек.)	min	11235.000	4569.000	4679.000	4660.000
		max	12 228.000	5218.000	5092.000	6148.000
		avg	11822.000	4967.333	4880.000	5217.333
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	92.700	92.700	92.700	92.700
		max	100.000	100.000	100.000	100.000
		avg	99.215	99.194	99.219	99.220
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	62.496	64.309	62.492	64.324
		max	92.352	98.996	94.219	99.563
		avg	95.487	97.688	99.067	97.435
багатонаправлений режим	Час (сек.)	min	1782.000	754.000	900.000	743.000
		max	6996.000	875.000	1228.000	880.000

		avg	2767.429	823.429	1059.143	831.571
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	92.700	92.700	92.700	92.800
		max	800.000	800.000	800.000	800.000
		avg	455.184	579.644	445.293	610.500
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	62.496	64.305	62.504	64.324
		max	83.867	66.070	68.820	66.090
		avg	263.452	480.843	248.808	480.758
Тестування: кількість тестових екземплярів — 16000						
Однопоточковий режим	Час (сек.)	min	383.000	985.000	176.000	296.000
		max	387.000	1019.000	182.000	301.000
		avg	384.667	996.667	179.000	298.000
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	92.800	92.800	92.700	92.800
		max	100.000	100.000	100.000	100.000
		avg	99.197	99.177	99.123	99.212
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	63.656	65.289	63.395	65.348
		max	88.957	90.816	88.125	90.500
		avg	82.348	84.368	79.987	83.629
багатонаправлений режим	Час (сек.)	min	644.000	1764.000	288.000	563.000
		max	701.000	1789.000	324.000	576.000
		avg	660.857	1776.857	308.286	569.429
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	86.400	86.300	59.800	59.700
		max	93.000	96.100	93.000	72.800
		avg	113.028	119,584	99.806	100.081
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	64.477	66.301	63.934	67.000
		max	91.031	92.215	88.473	91.250
		avg	82.987	84.877	80.397	84.525

За результати аналізу даних, що наведені в табл. 5.6 видно, що запропонований метод має прийнятну обчислювальну складність. Запропонований метод дозволяє отримувати адекватні рішення при складній ієрархічній структурі СРЗ. Ефективність запропонованого методу в середньому складає від 12 до 20 % при різних схемах комбінування.

Виграш від реалізації методу складає від 9 до 14 % за рахунок скорочення часу на прийняття рішення на вибір топології СРЗ спеціального призначення.

5.3 Оцінка ефективності методу інтелектуального управління параметрами та режимами роботи систем радіозв'язку спеціального призначення

Моделювання управління ресурсами каналного та фізичного рівнів проводилися при наступних параметрах:

– засоби радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти (ППРЧ): діапазон частот – 30–512 МГц; потужність передавача – 10 Вт; ширина смуги частот, що випромінюється – 12,5 кГц, чутливість приймача – 110 дБ; кількість ЗРЗ в мережі – 4; кількість частотних каналів для переналаштування – 10000; кількість перестроювання – 333,5 стрибків/сек;

– комплексів радіоелектронного придушення (РЕП) –4; діапазон частот – 30–2000 МГц; потужність передавача – 2000 Вт; максимальна смуга частот, що може бути придушена – 80 МГц; кількість радіоліній з ППРЧ, що може бути придушена одночасно – 4, тип перешкоди – шумова загороджувальна перешкода з частотною маніпуляцією, як одна з найбільш поширених та вплив якої добре відомий; стратегія комплексу РЕП-динамічна.

До ПЕОМ було підключено 4 програмовані приймопередавачі LimeSDR (США) з програмним забезпеченням GNU Radio (Німеччина) та підключено до генератора шуму RIGOL DG5252 (Німеччина), що імітував роботу комплексу РЕП.

Для перевірки ефективності методу припустимо, що час роботи програмованого засобу радіозв'язку з ППРЧ на одній частоті є однаковим з комплексом РЕП.

Рис. 5.5, 5.6 були отримані шляхом усереднення відношення сигнал/шум на частотних підканалах.

Зазначена перевага обумовлена більшою точністю оцінювання відношення сигнал/шум в частотних підканалах за рахунок використання удосконалених процедур оцінювання радіоелектронної обстановки, використання процедури прогнозування закону постановку перешкод (рис. 5.5, 5.6). Це означає, що були обрані оптимальні робочі частоти за критерієм максимуму пропускної спроможності (які не були придушені), вибрана оптимальна сигнально-кодова конструкція та режим роботи [2–22, 33–36].

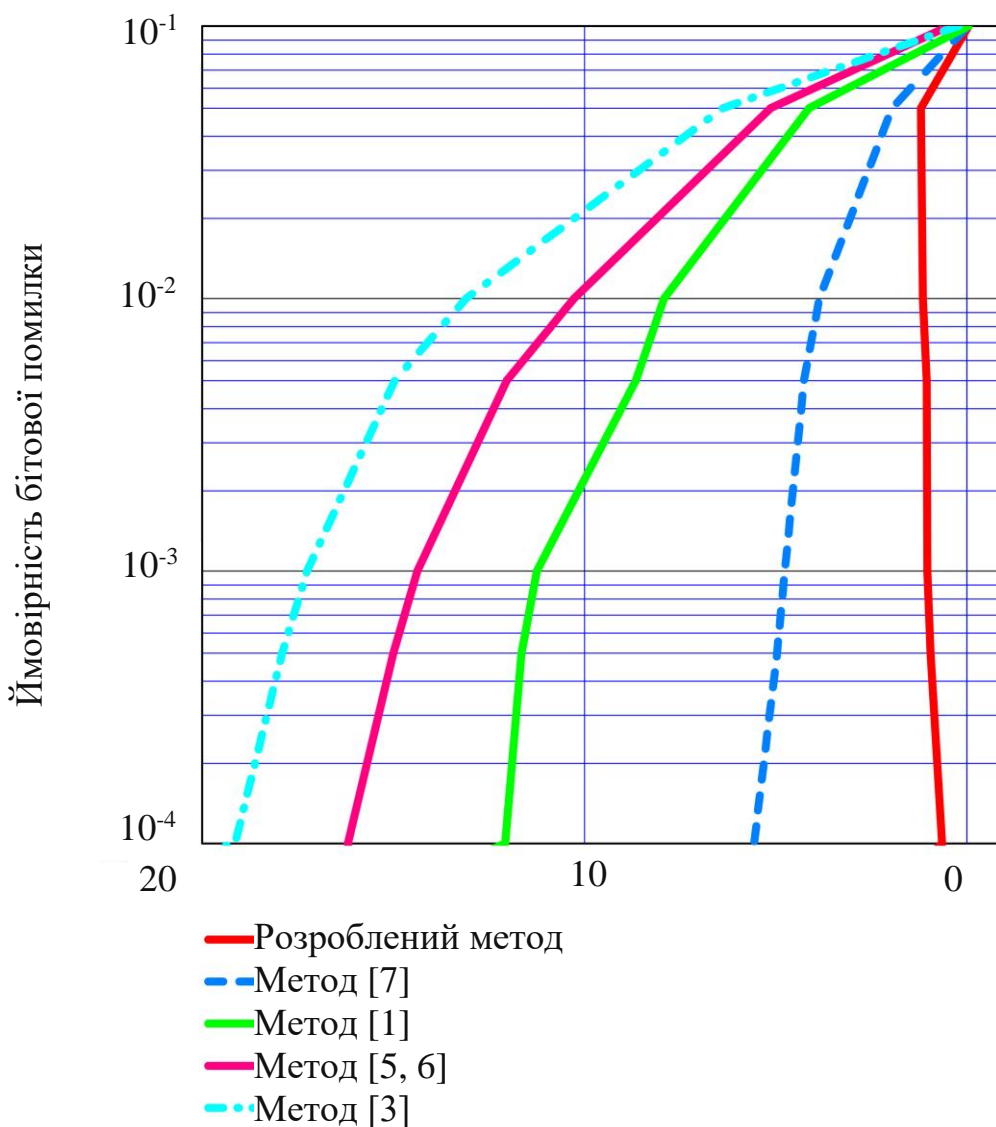


Рис. 5.5 Залежність ймовірності бітової помилки від відношення сигнал/шум при для різних методів при впливі флуктуаційного шуму і шумової загороджувальної перешкоди з коефіцієнтом перекриття $\rho=1$

На рис. 5.6 наведено графік залежності ймовірності бітової помилки від відношення сигнал/шум (для випадку шумової перешкоди в частині смуги з частотною маніпуляцією $\rho=0,5$).

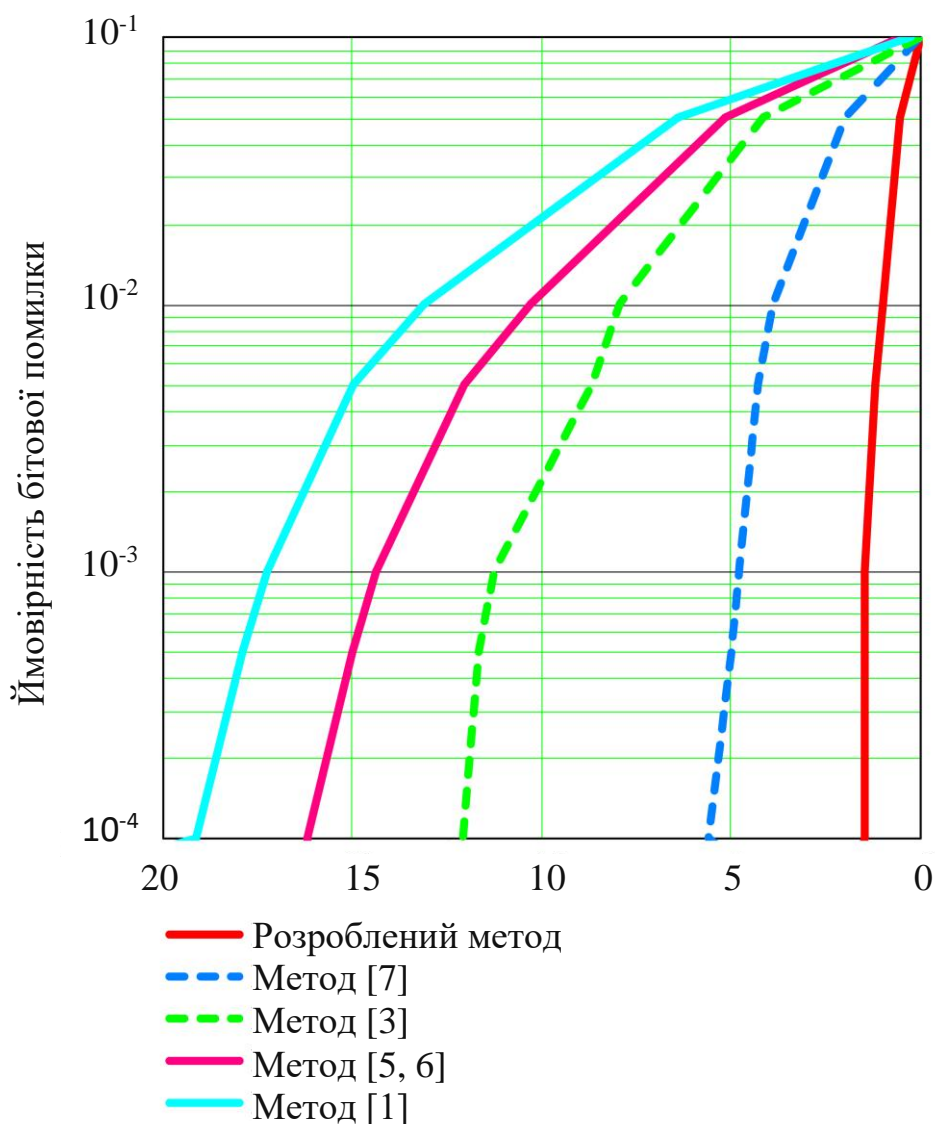


Рис. 5.6 Графік залежності ймовірності бітової помилки від відношення сигнал/шум (для випадку шумової перешкоди в частині смуги з частотною маніпуляцією з коефіцієнтом перекриття $\rho=0.5$)

Отже як видно з рисунку 5.6 то виграш в енергетичному відношенні за рахунок удосконалених процедур в середньому складає при ймовірності бітової помилки 10^{-3} до 3 дБ). При цьому слід зазначити що ймовірність бітової помилки 10^{-3} є критичною для більшості засобів радіозв'язку та фактично призводить до дезорганізації систем управління та зв'язку.

При наступних діях удосконалені процедури управління каналними ресурсами не використовувалися.

Моделювання управління мережевими ресурсами проводилося при наступних умовах (рис.5.7–5.12):

кількість вузлів 50, маршрути будуються між 10, 20 і 30 випадково вибраними парами вузлів;

розмір пакета $ln = 512$ байт, протокол доступу до каналу IEEE 802.11, швидкість переміщення вузлів $\omega = 0 \dots 20$ м/с;

розмір черги у вузлі рівний 64 пакетам, час очікування пакета в черзі $t_{оч} < 30$ с, швидкість передачі в каналі радіозв'язку $r = 1$ Мбіт/с, тип трафіка – дані $\xi=3$ (рис. 5.7–5.12).

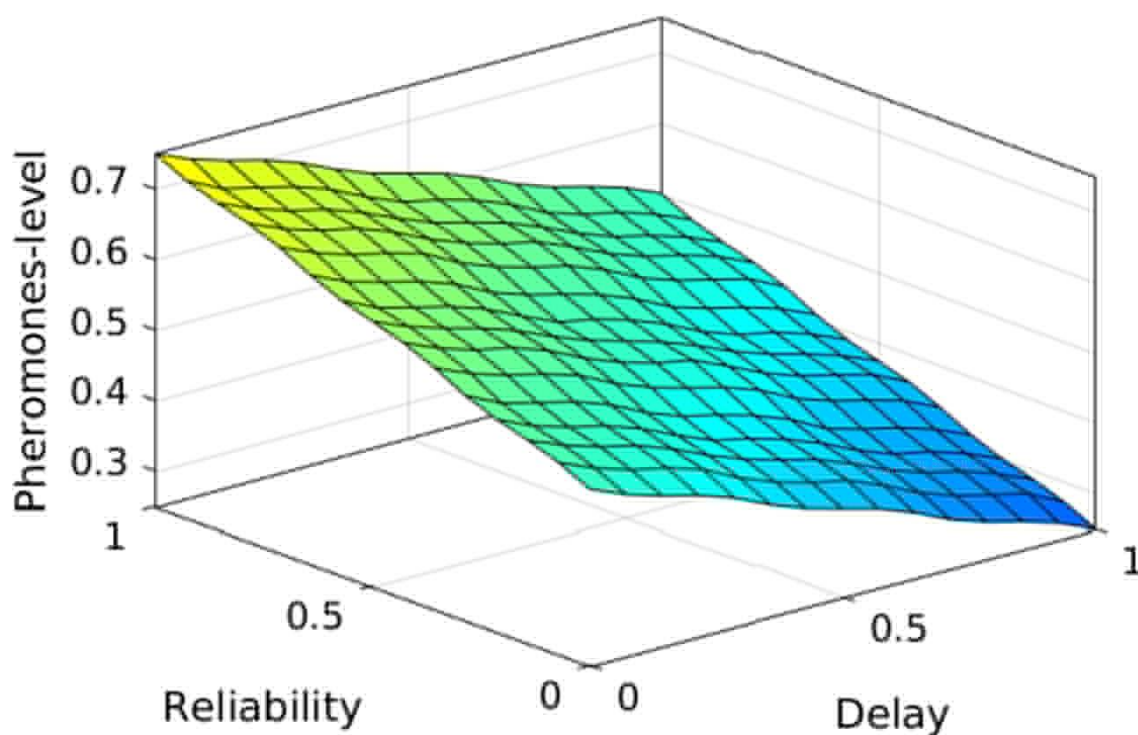


Рис. 5.7 Графік залежності рівня феромону від часу доставки пакету адресату до надійності доставки пакетів

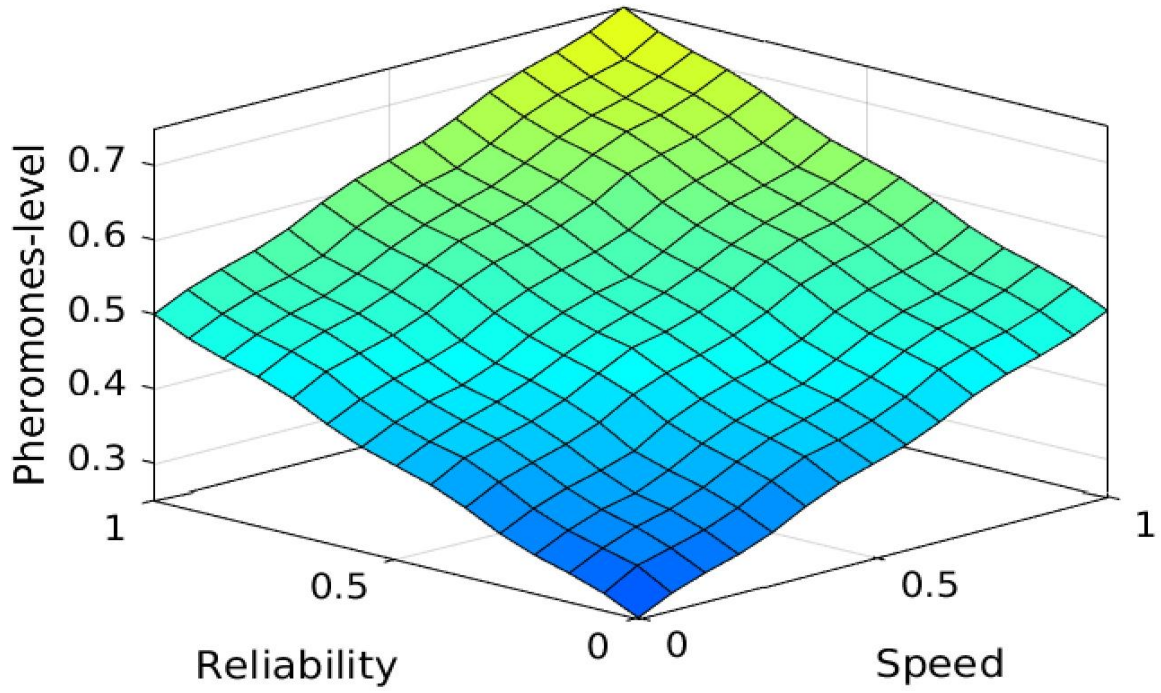


Рис. 5.8 Графік залежності рівня феромону від показників швидкості передачі даних до надійності доставки пакетів

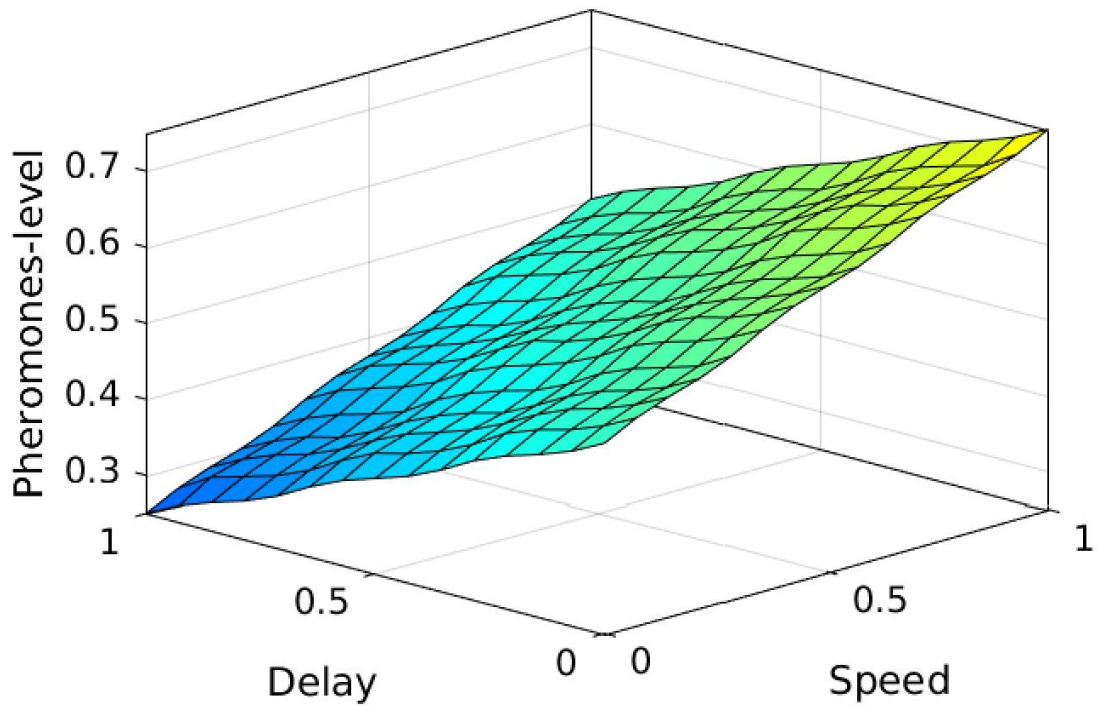


Рис. 5.9 Графік залежності рівня феромону від показників швидкості передачі даних до часу доставки пакетів

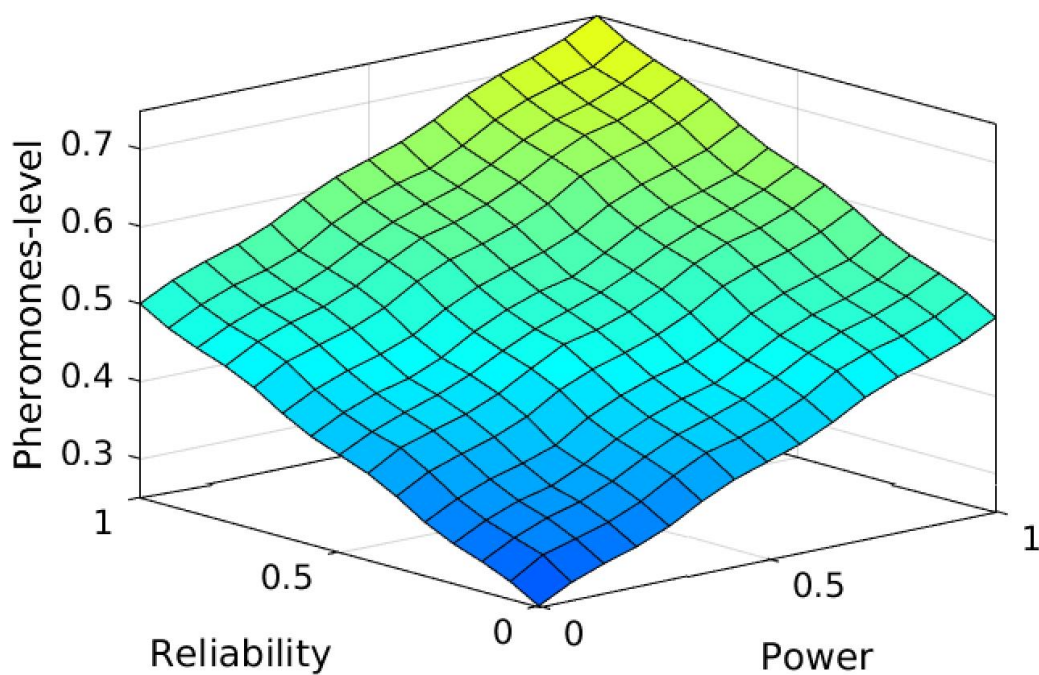


Рис. 5.10 Графік залежності надійності доставки пакету до рівня заряду батареї

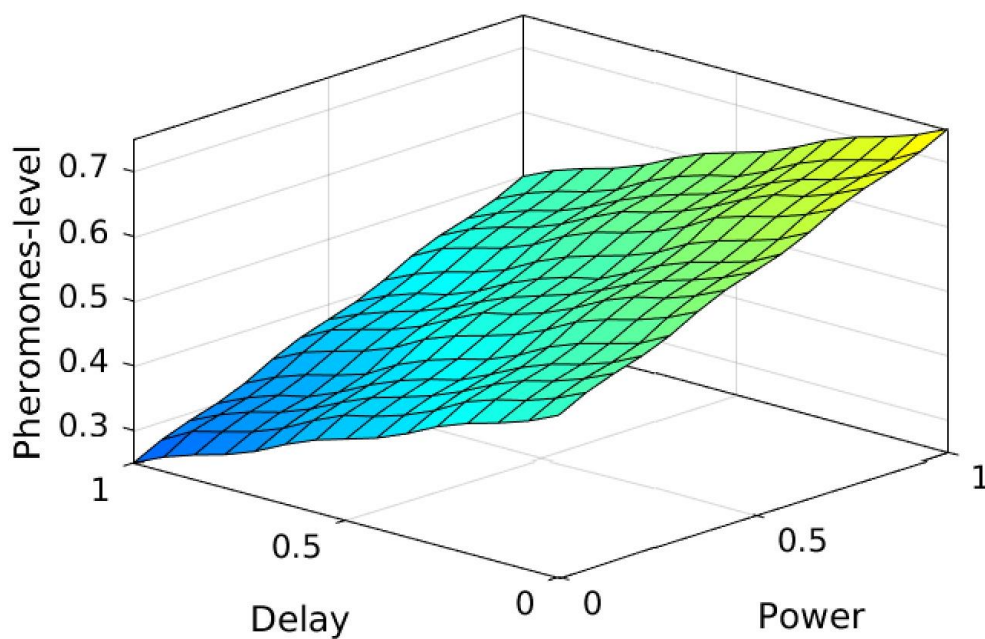


Рис. 5.11 Графік залежності рівня феромону від часу доставки пакету адресату до рівня заряду батареї

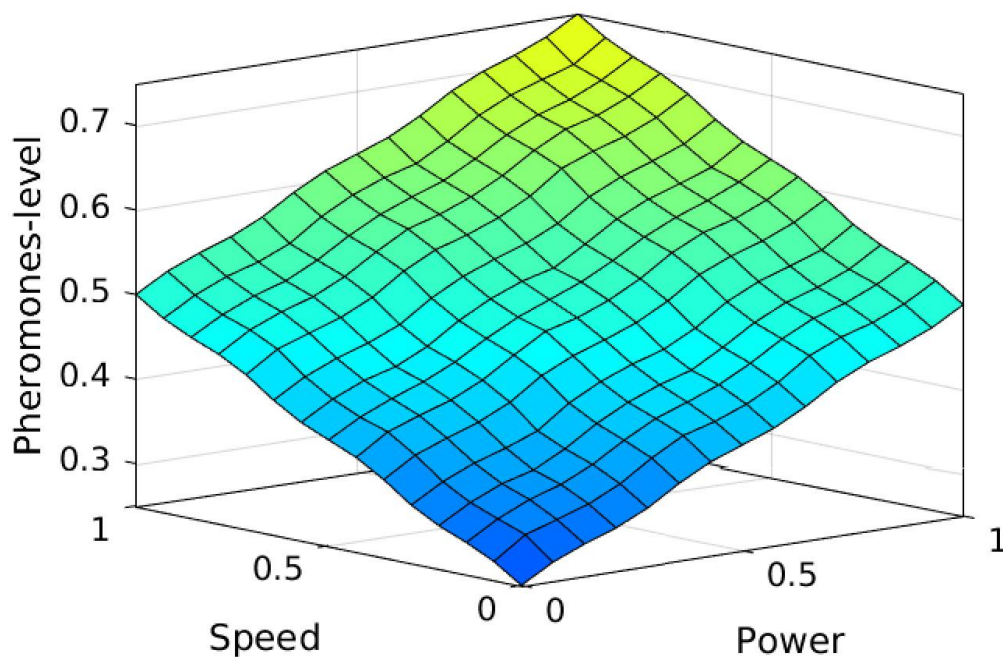


Рис. 5.12 Графік залежності рівня феромону від показників швидкості передачі даних до рівня заряду батареї

Оцінка обчислювальної складності реалізації розробленого алгоритму показала, що для заданих вихідних даних та при використанні процесора ADSP-21261 (США) управління каналними та мережевими ресурсами системи радіозв'язку може здійснюватися в реальному масштабі часу. При цьому враховується затримка, необхідна для передачі інформації про ці значення по службовому каналу зворотного зв'язку.

Виграш в діапазоні 10–16 % був отриманий в ході оперативного контролю поточного стану і завадової обстановки в каналах, зайнятих під передачу, за час, порівняний із тривалістю циклу обміну інформацією. Неоднозначність визначення стану каналів викликано різними параметрами сигналу, що приймається, в зв'язку з різними траєкторіями проходження сигналу та рівнями сигнал/шум в підканалах.

Основними перевагами запропонованого методу є:

- однозначність отриманої результатів;
- прогнозування стану радіоелектронної обстановки;
- зменшення часу доставки пакетів до користувачів;

- широка сфера використання (системи передачі даних, системи радіозв'язку цивільного та спеціального використання);
- простота математичних розрахунків;
- можливість адаптації системи в ході роботи;
- можливість синтезу оптимальної структури системи підтримки та прийняття рішення;
- підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу;
- можливість роботи ЗРЗ в умовах дефіциту частотного діапазону;
- врахування впливу основних видів навмисних перешкод;
- можливість роботи при низьких відношеннях сигнал/перешкода в каналі;
- можливість забезпечення частотно-територіального планування використання засобів радіозв'язку;
- провести визначення оптимального місцезнаходження засобів радіозв'язку з урахуванням зон радіоелектронного придушення;
- провести визначення оптимального маршруту передачі інформації з урахуванням зон радіоелектронного придушення;
- провести визначення оптимального режиму функціонування засобу радіозв'язку для максимізації пропускної здатності засобу радіозв'язку;

До недоліків запропонованого методу слід віднести:

- втрата інформативності при оцінюванні (прогнозуванні) за рахунок побудови функції належності при проведенні процедур фазифікації/дефазифікації вхідних параметрів (переході з чіткого до нечіткого оцінювання та навпаки). Зазначена втрата інформативності може бути зменшена за рахунок вибору типу функції належності та її параметрів при практичній реалізаціях запропонованого методу. Вибір типу функції належності залежить від обчислювальних ресурсів конкретного електронно-обчислювального засобу.
- менша точність оцінювання по окремо взятому параметру оцінки стану;
- втрата точності результатів за час перестройки архітектури штучної нейронної мережі.

5.4 Оцінка ефективності методу комплексного управління ресурсами систем радіозв'язку спеціального призначення

Проведено дослідження ефективності запропонованої удосконаленого методу комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення [2–22, 33–36].

Вихідні умови для проведення моделювання наведені в пункті 5.2 дисертаційного дослідження. На рис. 5.13 наведені залежності тривалості повідомлень від часу реакції комплексу РЕП.

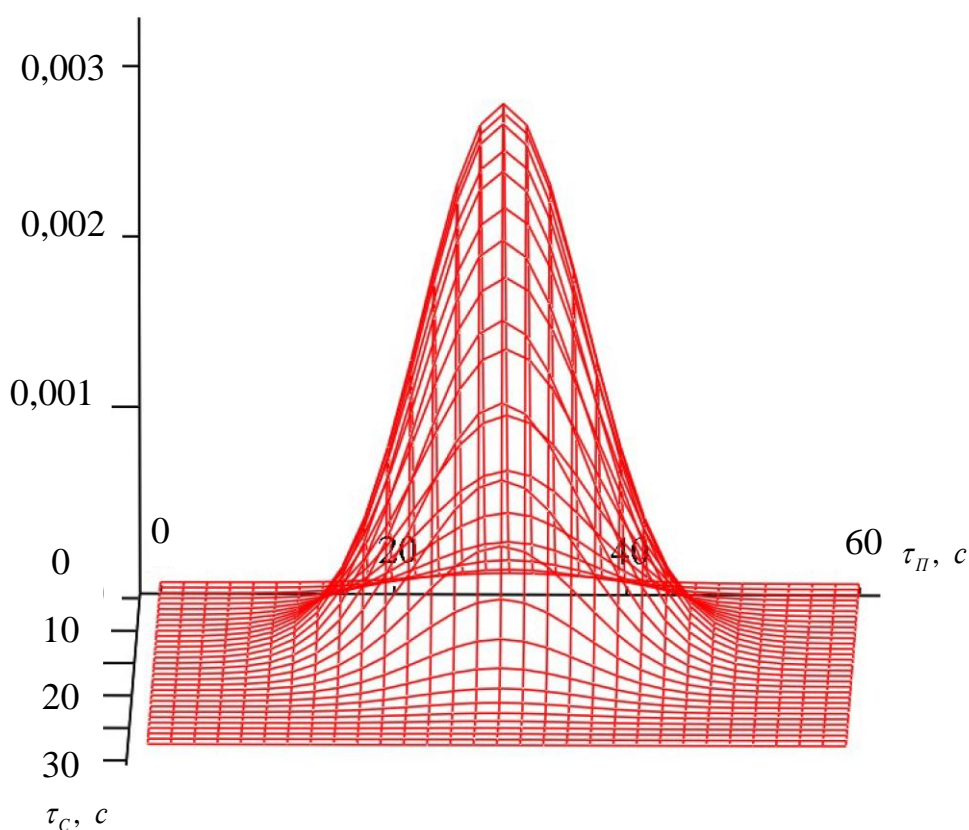


Рис. 5.13 Залежності тривалості повідомлень від часу реакції комплексу РЕП

Аналіз отриманих залежностей (рис. 5.13) показує, що значення $f(\tilde{\tau}_c, \tilde{\tau}_n)$ менше за порогове значення. Тому в даному випадку рішення приймається переважно на основі аналізу змін тривалості повідомлення, на яке здійснювався вплив перешкод ($\tilde{\tau}_c$), та паузи після нього ($\tilde{\tau}_n$).

Для демонстрації ефективності навчання штучної нейронної мережі, що еволюціонує, був проведений прогноз часової захищеності СРЗ спеціального

призначення. Для проведення експерименту використовувалася навчальна вибірка, що містить дані про стан ЗРЗ спеціального призначення. Для експериментів використовувалося 5000 спостережень із цієї вибірки. Навчальна вибірка містила 3000 спостережень, тестова – 2000 спостережень.

У якості критерію якості прогнозування використовувався квадратний корінь із середньоквадратичної помилки.

Для порівняння якості прогнозування використовувалися багатошаровий перцептрон (MLP), радіально-базисна нейронна мережа (RBFN) та штучна нейронна мережа, що еволюціонує.

Результати прогнозування для різних систем представлені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Результати прогнозування для різних систем

Назва системи	Кількість параметрів, що налаштовуються	RMSE (навчальна)	RMSE (тестова)	Час, с
Багатошаровий перцептрон	51	0.1058	0.1407	0.1081
Радіально-базисна нейронна мережа	21	0.1066	0.2155	0.1081
Еволюціонуюча каскадна система з нео-фаззі вузлами	20	0.0784	0.1081	0.1081

Зазначені результати видно з результатів в останніх строках табл. 5.7, як різниця індексу Ксі-Бені.

На рис. 5.14, 5.15 наведено імітацію роботи ЗРЗ та засобу РЕП при впливі шумової перешкоди з частотною маніпуляцією. З рис. 5.14, 5.15 можна зробити висновок, що засіб РЕП вузькосмуговою перешкодою придушив приблизно 10 % хопсету, що можна ефективно виправити коректуючими кодами.

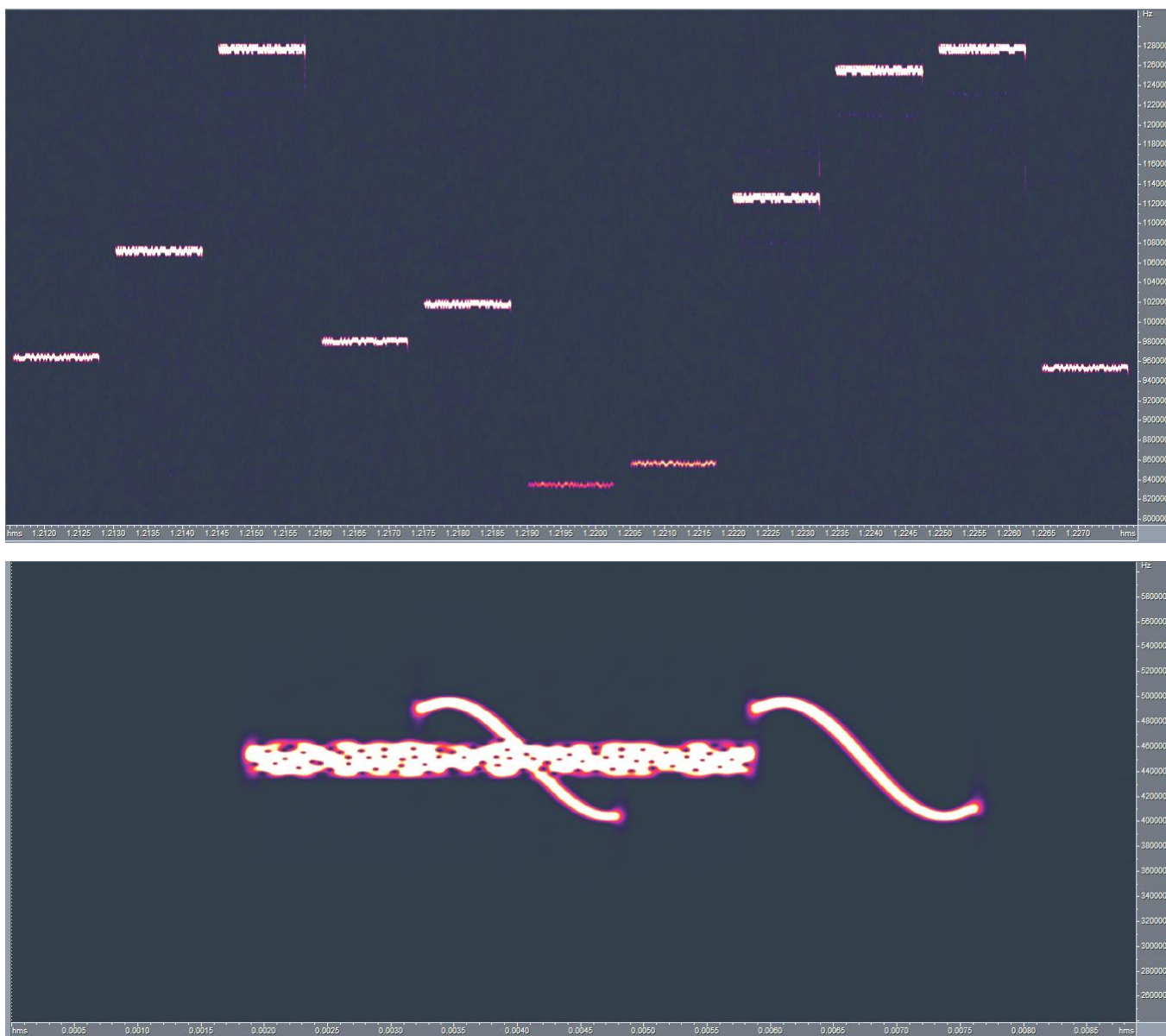


Рис. 5.14 Робота 4 прийомпередачів за зазначеним методом та генератора шуму RIGOL DG5252

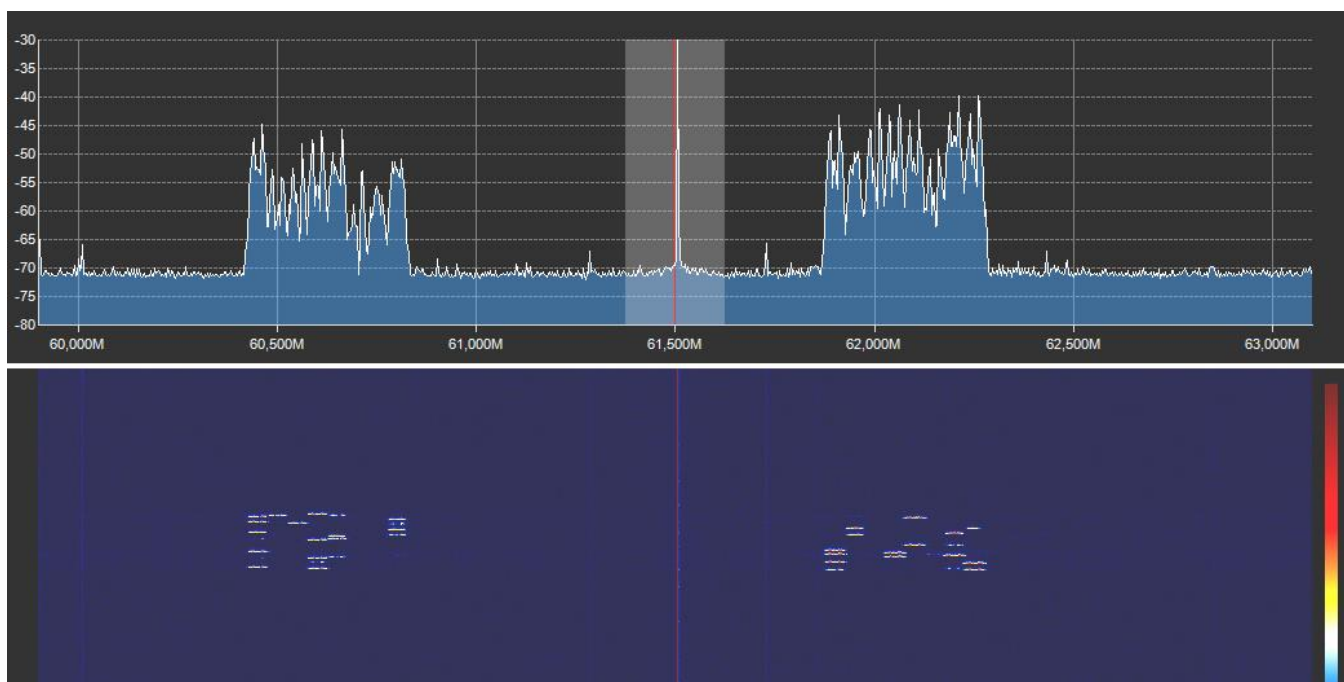


Рис. 5.15 Імітація роботи ЗРЗ та засобу РЕП при впливі шумової перешкоди з частотною маніпуляцією

Таблиця 5.8 – Результати проведеного моделювання по нарощуванню СРЗ спеціального призначення

Вихідні дані	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Кількість ресурсів, які потребують нарощування в системі	40	50	70
Запланована кількість ресурсів системи, на яких має бути нарощена	10	30	65
Період часу під час проведення евристичного нарощування	22	33	44
Період часу для проведення нарощування з використанням запропонованого підходу	20	28	41
Значення результуючого показника якості для евристичних планів	1117	901	408
Значення результуючого показника якості для оптимальних планів	1384	1113	484

Результати проведеного моделювання свідчать про підвищення ефективності функціонування системи спеціального зв'язку при впливі дестабілізуючих факторів на 20–26 %.

Зазначений метод дозволить:

- ідентифікувати дестабілізуючі впливи на стан СРЗ;
- забезпечити ефективне використання ресурсів СРЗ;
- зменшити використання обчислювальних ресурсів засобів зв'язку з програмованою архітектурою.
- виробити заходи, що спрямовані на підвищення заводозахисності.

Запропоновано удосконалений метод доцільно використовувати на пунктах управління системою зв'язку угруповань військ (сил) при плануванні організації зв'язку та на етапі оперативного управління системою зв'язку.

Висновки до розділу 5

1. Для оцінки ефективності запропонованих методів інтелектуального управління засобами заводозахисту СРЗ 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.

2. Результати оцінки ефективності розроблених методів інтелектуального управління засобами заводозахисту показали.

2.1 Виграш від реалізації методу синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму складає від 9 до 14 % за рахунок скорочення часу на прийняття рішення на вибір топології СРЗ спеціального призначення, врахування впливу засобів радіоелектронної протидії при формуванні топології мережі з метою мінімізації еліпсів придушення.

2.2 Метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи СРЗ спеціального призначення дозволяє отримати виграш в діапазоні 10–16 % на етапі оперативного контролю поточного стану і заводової обстановки в каналах, зайнятих

під передачу, за час, порівняний із тривалістю циклу обміну інформацією. Зазначене пояснюється комплексним управлінням на декількох рівнях моделі OSI.

2.3 Розроблено удосконалений метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення. Позитивний ефект від впровадження удосконаленого методу забезпечують наступні взаємопов'язані фактори: сумісне використання процедури аналізу та прогнозування; визначення необхідної кількості сил та засобів зв'язку, які необхідно ввести до складу СРЗ спеціального призначення.

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

4. 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.

Основні наукові результати, отримані в даному розділі дисертаційних досліджень, опубліковані в роботах [1–35].

Список використаних джерел до 5 розділу

1. Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems / O.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.

2. 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.

3. 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. Volume 9 – 2021. – № 1(109). – pp. 18–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225331.

4. 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>.

5. 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>.

6. 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>.

7. 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.

8. 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>.

9. 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>.

10. 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>.

11. 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>.

12. 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>.

13. 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>.

14. 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>.

15. Романов О. М., Шишацький А. В., Налапко О. Л. Розробка методу підвищення оперативності передачі інформації в мережах спеціального призначення. Modernn aspekty vědy: XXI. Dnĭ mezinĭrodnĭ kolektivnĭ monografie / Mezinĭrodnĭ Ekonomickĕ Institut s.r.o.. Āeskĕ republika: Mezinĭrodnĭ Ekonomickĕ Institut s.r.o., 2022. С. 381– 403.

16. 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>.

17. 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>.

18. 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., Stadnijschuk 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/>.

19. 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>.

20. Abed, A. A., Repilo, I., Zhyvotovskiy, R., Shyshatskyi, A., Hohoniants, 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>.

21. 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>.

22. 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>.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. 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., Іжutowa І. В., Процин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

30. Патент України на корисну модель № 118680 від 10.08.2017 “Спосіб формування сигналів в умовах впливу навмисних завад та частотно-селективних завмирань”. Слюсар В.І., Шишацький А. В. Зареєстрований 28.08.2017, бюл. № 16.

31. 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.

32. 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.

33. 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.

34. 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.

35. 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.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову проблему, що пов'язана із розробкою інтелектуальних методів управління засобами завадозахисту 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 завадозахисту СРЗ спеціального призначення.

2. Розвинуто теоретичні основи інтелектуального управління засобами завадозахисту 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 завадозахисту 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; 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 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 заводо захищеності СРЗ спеціального призначення.

Додаток А

Список публікацій здобувача

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. – С. 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 / O.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. Kalantaievskaya, 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. Hurskiy, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskiy. 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. Shyshatskiy. 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., Shyshatskiy, 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. Shyshatskiy A. Method of multicriterial evaluation of the state of the special purposes of radio communication system channels / A. Shyshatskiy, 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. Shyshatskiy, 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. Dnĭ mezinbrodnn kolektivnn monografie / Mezinbrodnn Ekonomickĕ Institut s.r.o.. Āeskĕ republika: Mezinbrodnn Ekonomickĕ Institut s.r.o.*, 2022. С. 381–403.

32. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Vakulenko, Y., Shyshatskiy, 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 Shyshatskiy, Pavel Shvets, Valentyna Tkachenko, Serhii Nevhad, Oleksandr Zhuk, Serhii Kravchenko, Bohdan Molodetskiy, & 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., Zhuravskiy, Y., Shyshatskiy, A., Zhuk, O., Hurskiy, 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., Stadnijtschuk 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. Fedoriienko, 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., Hohoniants, 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., Luscschay, 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.

Список апробацій здобувача

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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).**

8. Шабанова-Кушнаренко 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.

9. 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.

10. 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>.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. Патент України на корисну модель №136598 від 11.03.2019. “Система з множиною входів та множиною виходів (MIMO) 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.

16. 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.

17. 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., Іжутова І. В., Процин І. В. Зареєстрований 21.07.2021, бюл. № 29.

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

19. 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.

20. 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.

Додаток Б

Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Генеральний директор
 ТОВ "Телекарт-Прилад"
 "  О.С. КОЗЛОВ
 "квітня 2017 року"



АКТ

про реалізацію наукових досліджень
 Шишацького Андрія Володимировича

Комісія у складі: голови комісії начальника СКБ ТОВ "Телекарт-Прилад" Дерев'янка Ю.П., членів комісії: заступника начальника СКБ ТОВ "Телекарт-Прилад" Баранова С.В. та начальника КБ "Радіозв'язок" ТОВ "Телекарт-Прилад" Березницького Д.В. встановила, що наукові результати, що розроблені особисто Шишацьким А.В., а саме:

1. Математична модель системи MIMO-UWB.


Розроблена математична модель дозволяє: провести кількісну оцінку негативного впливу навмисних завад на якість зв'язку, що визначається ймовірністю помилкового приймання; визначити заходи, спрямовані на боротьбу з навмисними завадами; здійснювати прогнозування ймовірної стратегії постановника завад (на найгірший випадок) та проводити аналітичне моделювання багатоантенних радіоліній з використанням надширокосмугових сигналів у впливу навмисних завад.

2. Удосконалена методика вибору раціональних значень параметрів MIMO-UWB засобів радіозв'язку, сутність якої полягає в адаптації механізмів управління багатоантенною системою радіозв'язку з надширокосмуговими сигналами та вибором сигнально-кодових конструкцій, що оптимальні за критерієм мінімуму помилкового приймання при впливі навмисних завад.



Зазначені результати впроваджені під час розробки засобів широкосмугового радіодоступу P-402 (P-402A).

Зазначений акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:
 Начальник СКБ

 Ю.П. Дерев'янка

Члени комісії:
 Заступник начальника СКБ
 Начальник КБ "Радіозв'язок"

 С.В. Баранов
 Д.В. Березницький

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Департаменту оборонних
технологій


Д. ЛЮЛІН

“ ___ ” грудня 2019 року



АКТ

про реалізацію наукових досліджень
Шишацького Андрія Володимировича

Комісія у складі: голови комісії: Головного конструктора – начальника проектного конструкторсько-технологічного бюро Косара О.Л., членів комісії: Начальника відділу управління проектами та розробками проектного конструкторсько-технологічного бюро Ляшенка В.Г. та Керівника конструкторської групи №2 проектного відділу проектного конструкторсько-технологічного бюро Панченка С.М. встановила, що наукові результати, що розроблені особисто Шишацьким А.В., а саме:

1. Методика управління топологією багатоантенних систем військового радіозв'язку.

Зазначена методика дозволяє обрати раціональну топологію багатоантенних систем військового радіозв'язку в залежності від стану системи зв'язку. В основу роботи зазначеної методики покладені методи штучного інтелекту.

2. Методика ієрархічного управління радіоресурсом багатоантенних систем військового радіозв'язку.

Зазначена методика дозволяє здійснювати в комплексі управління каналними та мережевими ресурсами багатоантенних систем військового радіозв'язку з урахуванням впливу засобів радіоелектронної боротьби.

3. Пропозиції щодо побудови системи військового зв'язку з використанням сучасних адаптивних програмованих засобів радіозв'язку.

Зазначені наукові результати дозволяють сформулювати основні вимоги, що висуваються до перспективних засобів радіозв'язку, підвищити ефективність використання радіо ресурсу, зменшити кількість використовуваних засобів зв'язку та підвищити завадозахищеність засобів військового радіозв'язку.

Зазначені результати можуть бути впроваджені при модернізації польових маршрутизаторів з підтримкою VoIP телефонії "ТК ТИП-1" та батальйонних телекомунікаційних комплектів "ТК ТИП-2", а також при побудові автоматизованої системи управління системою зв'язку ЗС України.

Зазначений акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:

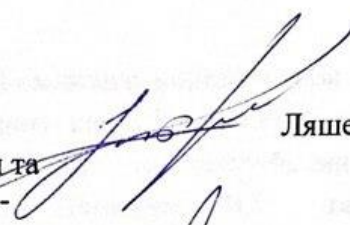


Косар О.Л.

Головний конструктор - начальник
проектного конструкторсько-технологічного
бюро

Члени комісії:

Начальник відділу управління проектами та
розробками проектного конструкторсько-
технологічного бюро



Ляшенко В.Г.

Керівник конструкторської групи №2
проектного відділу проектного
конструкторсько-технологічного бюро



Панченко С.М.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Головний інженер військ зв'язку
 Збройних Сил України
 Андрій КРУТИХ
 “ 11 ” жовтня 2019 року



АКТ

про реалізацію наукових досліджень
 Шишацького Андрія Володимировича

Комісія у складі: голови комісії: старшого офіцера відділу організації радіо, транкінгових та супутникових систем управління організації зв'язку та інформаційних систем Головного управління зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України підполковника Гай Ю.І., членів комісії: старшого офіцера відділу забезпечення засобами зв'язку та автоматизації управління технічного забезпечення зв'язку і автоматизації Головного управління зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України полковника Сукача Ю.О.; та офіцера відділу радіо, транкінгових та супутникових систем управління організації зв'язку та інформаційних систем Головного управління зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України підполковника Карпик Є.О. встановила, що наукові результати, що розроблені особисто Шишацьким А.В., а саме:

1. Методика вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку.

Зазначена методика дозволяє обрати перелік робочих частот для засобів військового радіозв'язку з врахуванням завантаженості діапазону частот, типу сигналів, що використовуються засобами радіозв'язку та типом завад, що використовуються засобами радіоелектронної боротьби.

2. Тактико-технічні вимоги, що висуваються до перспективних засобів радіозв'язку.

3. Структурна схема базового адаптивного програмованого засобу радіозв'язку.

4. Пропозиції щодо побудови системи зв'язку Збройних Сил України з використанням сучасних адаптивних програмованих засобів радіозв'язку.

Зазначені наукові результати дозволяють сформулювати основні вимоги, що висуваються до перспективних засобів радіозв'язку, підвищити ефективність використання радіочастотного ресурсу, зменшити кількість використовуваних засобів радіозв'язку та покращити електромагнітну сумісність на вузлах зв'язку Збройних Сил України.

Зазначені наукові результати впроваджені під час розробки “Настанови з організації радіозв'язку у Збройних Силах України” від 31.07.2018.

Зазначений акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:
 підполковник

Юрій ГАЙ

Члени комісії:
 полковник
 підполковник

Юрій СУКАЧ
 Євгеній КАРПІК

Головне управління зв'язку та інформаційних систем ГШ ЗС України
 № 308/31/12381 від 16.10.2019 09:50:16 арк. 1/



«ЗАТВЕРДЖЕНО»
 Проректор з навчальної роботи
Анатолій ПОЛУХІН
 « 2 » 10 МІСЯЦЯ 2023 року

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес
Національного авіаційного університету

Ми, що нижче підписалися, декан факультету комп'ютерних наук та технологій, д.т.н., професор Гнатюк С.О., завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління, д.т.н., професор Литвиненко О.Є. склали даний акт про те, що результати дисертаційної роботи Шишацького Андрія Володимировича "Інтелектуальні методи управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку в умовах дестабілізуючих впливів" використовуються у навчальному процесі Національного авіаційного університету, факультету комп'ютерних наук та технологій на кафедрі комп'ютеризованих систем управління.

Вид результату, що впроваджується	Форма впровадження	Ефект від впровадження
1. Метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму.	У навчальних програмах дисциплін: – "Методи захисту інформаційних систем спеціального призначення" для спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія ОПП "Системне програмування" № РМ-4-123-2/23-3.3, що затверджена 22.09.2023 р.;	
2. Метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення.	– "Методи захисту інформаційних систем спеціального призначення", для спеціальності 126 Інформаційні системи та технології ОПП "Інтелектуальні системи та технології" № НМ-4-126/23-3.4, що затверджена 14.09.2023 р.	Підвищення якості навчання.
3. Метод оцінки захищеності СРЗ спеціального призначення.	У кваліфікаційних роботах.	Інтенсифікація навчального процесу.
4. Метод інтелектуального управління параметрами та режимами СРЗ спеціального призначення.		

Декан факультету комп'ютерних наук та технологій

С. Гнатюк

Сергій ГНАТЮК

Завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління

О. Литвиненко

Олександр ЛИТВИНЕНКО

Додаток В
Патенти України на корисні моделі



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **125600** (13) **U**
(51) МПК
H04B 1/58 (2006.01)
H04B 3/60 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2018 00332</p> <p>(22) Дата подання заявки: 12.01.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.05.2018</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2018, Бюл.№ 9</p>	<p>(72) Винахідник(и): Налапко Олексій Леонідович (UA), Сова Олег Ярославович (UA), Шишацький Андрій Володимирович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Налапко Олексій Леонідович, Повітрофлотський проспект, 28, м. Київ-168, 03168 (UA), Сова Олег Ярославович, вул. Московська, 45/1, м. Київ-11, 01011 (UA), Шишацький Андрій Володимирович, бул. Перова, 44, кв. 16, м. Київ-139, 02139 (UA)</p>
---	--

(54) ПРИСТРІЙ ПОБУДОВИ МАРШРУТІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ІЗ МОЖЛИВІСТЮ САМООРГАНІЗАЦІЇ

(57) Реферат:

Пристрій побудови маршрутів передачі інформації в мережах спеціального призначення із можливістю самоорганізації містить передавальну та приймальну частини пристрою, при цьому передавальна і приймальна частини з'єднані між собою каналом передачі інформації. Додатково введено блок вибору цільової функції управління маршрутами, блок вибору типу маршрутизації, блок вибору кількості маршрутів, блок короткострокового прогнозування, та блок вибору способу розсилання службової інформації в мережі. У передавальній частині пристрою джерело інформації з'єднано послідовно з входом блока вибору цільової функції управління маршрутами, вихід якого послідовно з'єднано з входом блока вибору типу маршрутизації, вихід якого послідовно з'єднано з першим входом блока вибору кількості маршрутів, вихід блока короткострокового прогнозування з'єднано з другим входом блока вибору кількості маршрутів, вихід якого послідовно з'єднано з входом блоку вибору способу розсилання службової інформації в мережі, вихід якого через канал передачі інформації з'єднаний з входом отримувача інформації приймальної частини пристрою.

UA 125600 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124269** (13) **U**

(51) МПК (2018.01)

H04B 1/00**H04B 3/60** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

- (21) Номер заявки: **u 2017 11736**
 (22) Дата подання заявки: **30.11.2017**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **26.03.2018**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **26.03.2018, Бюл.№ 6**

- (72) Винахідник(и):
**Рудаков Володимир Іванович (UA),
 Станіщук Андрій Богданович (UA),
 Шишацький Андрій Володимирович (UA),
 Ковбасюк Олександр Васильович (UA),
 Налапко Олексій Леонідович (UA),
 Костина Олег Миколайович (UA),
 Голенковська Тетяна Ігорівна (UA),
 Пукас Олександр Олександрович (UA),
 Оникієнко Людмила Сергіївна (UA),
 Башкиров Олександр Миколайович (UA),
 Куровська Тетяна Юріївна (UA)**
- (73) Власник(и):
**ЦЕНТРАЛЬНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
 ІНСТИТУТ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ
 ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ,
 Повітрофлотський просп., 28, м. Київ, 03049
 (UA)**

(54) КОМАНДНО-ШТАБНА МАШИНА**(57) Реферат:**

Командно-штабна машина має транспортний засіб із розміщеними на ньому короткохвильовою радіостанцією, трьома ультракороткохвильовими радіостанціями, апаратурою внутрішнього зв'язку та комутації і апаратурою засекречування. Три ультракороткохвильові радіостанції, короткохвильова радіостанція та апаратура засекречування з'єднані між собою через апаратуру внутрішнього зв'язку та комутації. До складу командно-штабної машини додатково введено телекомунікаційний комплект, станцію супутникового зв'язку, станцію широкосмугового радіодоступу та персональну електронно-обчислювальну машину. Телекомунікаційний комплект, станція супутникового зв'язку, станція широкосмугового радіодоступу та персональна електронно-обчислювальна машина з'єднані між собою за допомогою апаратури внутрішнього зв'язку та комутації.

UA 124269 U



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 146003

ПРОГРАМОВАНА РАДІОСТАНЦІЯ ЗІ ШТУЧНИМ
ІНТЕЛЕКТОМ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей
13.01.2021.

Т.в.о. Генерального директора
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»

П.І. Іваненко









УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 118680

**СПОСІБ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ
НАВМИСНИХ ЗАВАД ТА ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНИХ
ЗАВМИРАНЬ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 28.08.2017.

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України

М.І. Тітарчук





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118387** (13) **U**

(51) МПК

H04B 7/24 (2006.01)**H04B 3/54** (2006.01)**H04B 3/60** (2006.01)**H04W 84/02** (2009.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

- (21) Номер заявки: **u 2017 00372**
 (22) Дата подання заявки: **13.01.2017**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.08.2017**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.08.2017, Бюл.№ 15**

- (72) Винахідник(и):
Гаценко Сергій Станіславович (UA),
Животовський Руслан Миколайович (UA),
Шишацький Андрій Володимирович (UA),
Беляков Роберт Олегович (UA)
- (73) Власник(и):
Гаценко Сергій Станіславович,
 просп. Повітрофлотський, 28, м. Київ-49, 03049 (UA),
Животовський Руслан Миколайович,
 просп. Повітрофлотський, 28, м. Київ-49, 03049 (UA),
Шишацький Андрій Володимирович,
 бул. Перова, 44, кв. 16, м. Київ-139, 02139 (UA),
Беляков Роберт Олегович,
 вул. Московська, 45/1, м. Київ-011, 01011 (UA)

(54) СПОСІБ РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**(57) Реферат:**

Спосіб розподілу інформації в мережах спеціального призначення полягає в тому, що при розподілі навантаження сервером в мережі спеціального призначення спочатку визначають (обслужене) навантаження в мережі, що надходить, на підставі чого визначають власну характеристику підсистеми розподілу та зберігання інформації, визначають характеристику якості обслуговування вхідного потоку запитів; розраховують власні характеристики та характеристики якості обслуговування вхідного потоку запитів підсистеми розподілу та зберігання інформації з визначенням (встановленням) їх взаємозалежності. В спосіб використовують удосконалену процедуру визначення власної характеристики підсистеми розподілу та зберігання інформації, суть якої полягає в тому, що спочатку визначають вільні ресурси мережі, потім визначають резервні ресурси мережі; далі розраховують коефіцієнт доступності; відбувається призначення для кожної черги запитів певної кількості вільних ресурсів мережі, а у випадку відсутності вільних ресурсів, для виконання наступної розрахункової задачі призначають мінімальну кількість резервних ресурсів мережі.

UA 118387 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119284** (13) **U**

(51) МПК (2017.01)

H04B 1/00

H04B 1/50 (2006.01)

H04B 3/60 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

- (21) Номер заявки: **u 2017 01037**
 (22) Дата подання заявки: **03.02.2017**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.09.2017**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.09.2017, Бюл.№ 18**

- (72) Винахідник(и):
Петрук Сергій Миколайович (UA),
Шишацький Андрій Володимирович (UA),
Кувшинов Олексій Вікторович (UA),
Беляков Роберт Олегович (UA),
Животовський Руслан Миколайович (UA),
Романенко Ігор Олександрович (UA),
Волошин Олег Олексійович (UA)
- (73) Власник(и):
Петрук Сергій Миколайович,
 просп. Повітрофлотський, 28, м. Київ-49,
 03049 (UA),
Шишацький Андрій Володимирович,
 бул. Перова, 44, кв. 16, м. Київ-139, 02139
 (UA),
Кувшинов Олексій Вікторович,
 вул. Московська, 45/1, м. Київ-11, 01011
 (UA),
Беляков Роберт Олегович,
 вул. Московська, 45/1, м. Київ-11, 01011
 (UA),
Животовський Руслан Миколайович,
 просп. Повітрофлотський, 28, м. Київ-49,
 03049 (UA),
Романенко Ігор Олександрович,
 просп. Повітрофлотський, 28, м. Київ-49,
 03049 (UA),
Волошин Олег Олексійович,
 просп. Повітрофлотський, 28, м. Київ-49,
 03049 (UA)

UA 119284 U

(54) СПОСІБ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМИ MIMO**(57) Реферат:**

Спосіб адаптивного управління параметрами системи MIMO полягає у тому, що засіб радіозв'язку, який працює за технологією MIMO, використовує наявні передавальні антени для передачі та приймальні антени для прийому та обробки сигналів. За допомогою засобу радіозв'язку, в якому реалізована технологія MIMO, здійснюють вибір кількості приймальних і передавальних антен шляхом розрахунку сингулярних чисел для конкретної сигнально-завадової обстановки та швидкості передачі інформації в каналі. Для оцінювання параметрів каналу засіб радіозв'язку, що працює за технологією MIMO, використовує процедуру безеталонної оцінки параметрів сигналу на виході демодулятора.