

3.3 Аналіз проблеми розробки методологічних основ інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення

Вступ

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 [232–234, 237]. Досягнення інформаційної переваги є об'єктивною необхідністю успішного ходу ведення бою (операції) [238].

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 [237-240].

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 бойових дій;
- 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 [238, 241-250]:

значна інформаційна потреба органів управління в різнотипній інформації;

підвищена мобільність підрозділів і частин;

висока динаміка переміщень угруповань військ 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 [241]:

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 [241]. Аналіз ряду робіт [238, 239, 241, 257–260] 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 наведено графічне представлення концепції організації зв'язку у Збройних Силах провідних країн світу.

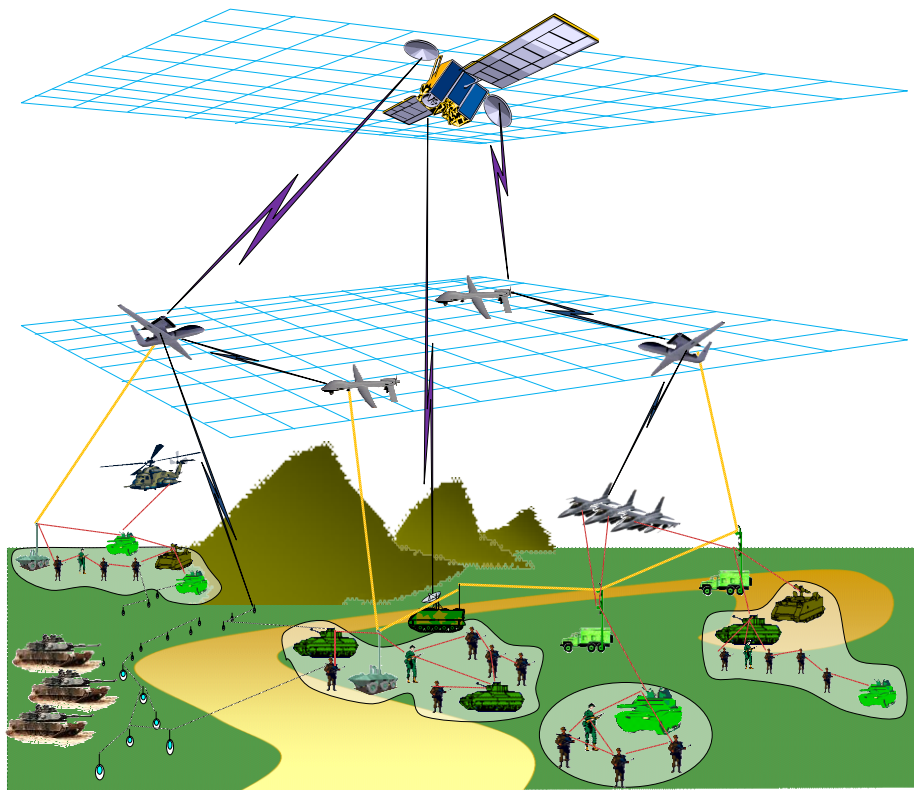


Рис. 1. Графічне представлення концепції побудови глобальної інтегрованої системи зв'язку та передачі даних

Враховуючи зростаючі потреби в пропускній спроможності каналів зв'язку для перспективних формувань [239, 247, 249], “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 та рис. 2). Розглянемо принципи побудови перспективних систем зв'язку на

прикладі концептуальної схеми перспективної інтегрованої системи зв'язку та передачі даних (ІСЗ ПД) (рис. 1), та на узагальненій схемі організації зв'язку ЗС РФ (рис. 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.

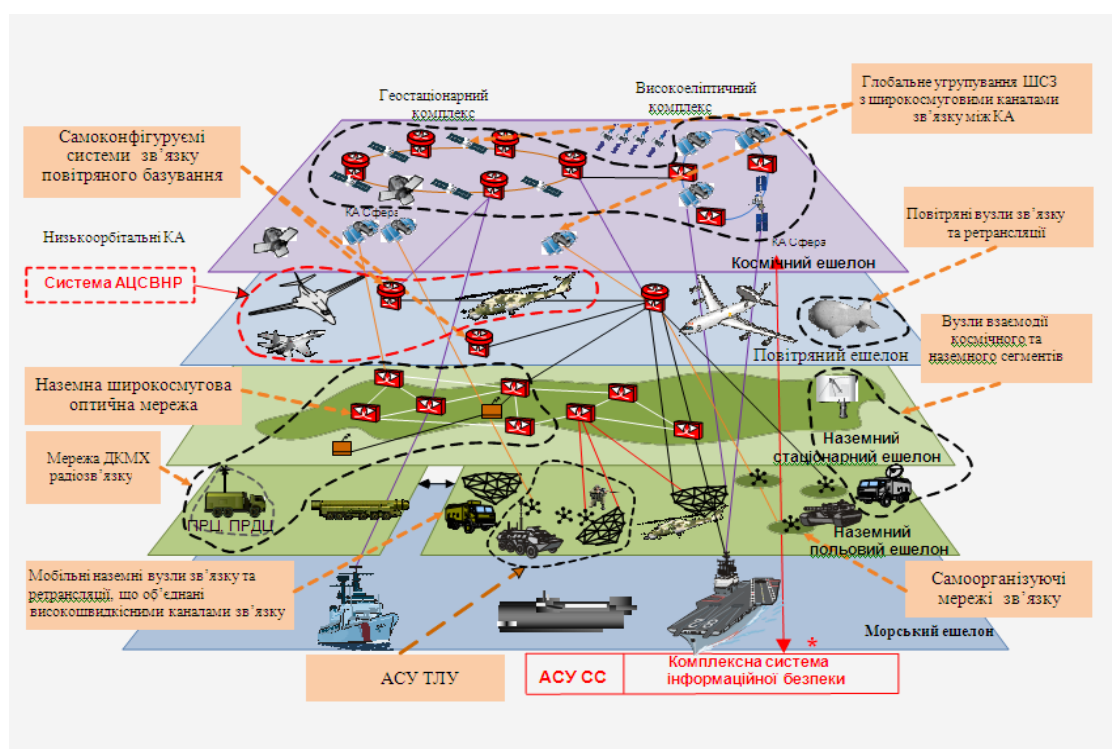


Рис. 2 Узагальнена схема організації зв'язку ЗС РФ

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, 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.

Виклад основного матеріалу дослідження

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 [232–234, 239, 241, 257–260].

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 в управління ними новітніх інформаційних технологій [237, 238].

Основу перспективних систем зв'язку сектору безпеки і оборони складуть 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.

Системам радіозв'язку складових сектору безпеки і оборони відведена особлива роль у функціонуванні систем зв'язку [237, 238, 239]. Враховуючи високу мобільність складових сектору безпеки і оборони засоби радіозв'язку 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 значною мірою залежить ступінь виконання ними поставлених бойових (спеціальних) завдань.

Досвід протистояння збройній агресії РФ на території України показав наступні недоліки існуючої системи радіозв'язку сектору безпеки і оборони України [237, 238, 250-260]:

засоби радіозв'язку складових сектору безпеки і оборони використовують обмежений частотний діапазон, що обумовлює проблему забезпечення електромагнітної сумісності та захисту від навмисних перешкод;

відсутність механізмів захисту від кібернетичних атак;

робота в умовах апріорної невизначеності про радіоелектронну обстановку угруповань військ (сил);

зашумленість інформації, що циркулює в них;

технологічна перевага засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника, що обумовлена широким спектром алгоритмів постановки перешкод з комбінуванням ефективних спектрально-енергетичних перешкод;

новітніми формами впливу на систему радіозв'язку сектору безпеки і оборони та ін.

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 [247].

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 вагової категорії до 2030 р. Всі машини будуть мати можливість входження у єдине інформаційне середовище “бойового простору”.

З метою реалізації програми майбутньої бойової системи BOA (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 BOA. 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 засоби радіозв'язку.

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 [249].

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) [249, 255, 259, 262, 257-260], 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 систем радіозв'язку 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 РЕБ;

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 мереж радіозв'язку 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 засобів радіозв'язку вузлів різних рангів;

питання забезпечення комплексної інформаційної безпеки і захисту мереж радіозв'язку від технічних засобів розвідок;

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 радіозасобів 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 засоби радіозв'язку спеціального призначення:

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

побудова комплексів і засобів радіозв'язку 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 засобів радіозв'язку, що забезпечують на програмно-апаратній платформі виконання мережами радіозв'язку функцій фізичного, каналного і мережевого рівнів, а при управлінні функціонуванням

мережі – також транспортного, сеансового представницького і прикладного рівнів.

4. Антенно-апаратні комплекси систем радіозв'язку спеціального призначення.

Розробка антенно-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 завад в реальному масштабі часу.

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

забезпечення постійного і безперервного контролю завадової 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 ділянках діапазонів хвиль;

проведення розрахункової оцінки стійкості радіозасобів, антенно-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 систем радіозв'язку можна сформулювати такі висновки.

1. Системам та засобам радіозв'язку відведена одна з основних ролей у функціонуванні систем зв'язку сектору безпеки і оборони на різних рівнях управління.

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

3. Основними напрямками розвитку систем радіозв'язку передових країн є розробка та впровадження програмованих радіозасобів з використанням завадозахищених режимів роботи, комерційних технологій, які добре зарекомендували себе в телекомунікаційних мережах загального призначення, та алгоритмів інтелектуального управління, спрямованих на боротьбу з постановкою навмисних перешкод і іншими дестабілізуючими впливами на СРЗ тощо.

Більшість експертів сходяться до того, що застосування зразків озброєння та військової техніки суттєво впливає 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 [247–250]:

сумісності інформаційних систем об'єднаних військ;

наявності достатньої пропускної 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 [247–250]:

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 [249–260]:

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 радіоелектронного придушення (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 [238].

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 [238, 249–260].

Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити наступні висновки [238, 249–260]:

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 різноманітного угруповання засобів РЕП дозволить реалізувати наступні з основних напрямків протидії мережецентричним системам, що сформульовані раніше [238, 249–260]:

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 системи радіозв'язку, що утворюють мережецентричної системи управління.

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

Є окремі дослідження, присвячені придушенню мереж радіозв'язку 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 мереж.

До об'єктів РЕП на мережевому рівні моделі OSI відносяться вузли, транспортні канали об'єднаної мережі радіозв'язку, 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 [238, 249–260].

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 завад, 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 [241].

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 [238, 249–260], 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 мереж радіозв'язку.

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 мережі, що подавляється.

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 [257] 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 РЕБ, 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 нестаціонарних процесів на верхніх рівнях OSI.

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

Одними з найважливіших вимог, що пред'являються до СРЗ і визначають їх ефективність, є завадозахищеність, пропускна спроможність і достовірність передачі повідомлень [232–235, 236, 238, 249–260].

Проведемо аналіз відомих підходів для вирішення зазначеного питання.

В роботі [241] 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 [242] проведено обґрунтування шляхів підвищення ефективності систем транкінгового зв'язку України. Разом з тим, зазначений тип засобів радіозв'язку є не стійким до впливу засобів РЕП.

В роботі [243] 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 [244] 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 завад засобами РЕП.

В роботі [245] 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 [246] 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 радіомереж спеціального призначення.

В роботі [247] 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 [248] запропонований метод визначення розташування засобів радіозв'язку 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 [249] запропоновано використовувати алгоритми кластеризації для управління радіоресурсом засобів радіозв'язку. 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 [250] 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 [251] запропоновані адаптивні алгоритми регулювання порогових значень параметрів систем радіозв'язку. 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 систем радіозв'язку 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 [252] 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 [253] розглянуто проблему обробки інформації від різномірних 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 [254, 255–262] наведений підхід з обробки різномірних даних про стан каналу зв'язку. Сутність запропонованого підходу полягає в оцінці стану каналу зв'язку та трьома різномірними показниками. Зазначений підхід вимагає повної інформації про стан каналу та накопичує помилку оцінювання в ході роботи.

Проведений аналіз робіт [232–262] дозволяє стверджувати про те, що існуючі наукові здобутки не дозволяють проводити наскрізне управління параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня систем радіозв'язку спеціального призначення, а лише проводять окремі управляючі впливи на окремо взятому рівні моделі взаємодії відкритих систем. Все це не дозволяє ефективно використовувати наявний радіоресурс систем радіозв'язку спеціального призначення та комплексно протидіяти дестабілізуючим факторам, що впливають на ефективність функціонування військових радіомереж.

Управління радіоресурсом полягає в управлінні частотним, кодовим, часовим та енергетичним ресурсом між вузлами систем радіозв'язку, а також визначення ступеню впливу радіоелектронного придушення противника.

Управління топологією полягає в оперативній реконфігурації топології систем радіозв'язку 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 $P_1, \dots, P_q, \dots, P_Q$ [256].

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 $c_{qp}(k) = \{c_{qp}^{mn}(k)\}$, $m = \overline{1, m_q}$, $n = \overline{1, n_q}$, 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 системи радіозв'язку та ефективність процесу функціонування системи радіозв'язку спеціального призначення. До основних з них можна віднести:

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

$$\Lambda(k) = \|\Lambda_1(k), ..., \Lambda_q(k), ..., \Lambda_Q(k)\|^T. \quad (1)$$

– вектор затримок в передачі інформаційних повідомлень системи радіозв'язку (характеризується погіршенням пропускної здатності систем радіозв'язку спеціального призначення):

$$H(k) = \|H_1(k), ..., H_q(k), ..., H_Q(k)\|^T. \quad (2)$$

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

$$\aleph(k) = \|\aleph_1(k), \dots, \aleph_q(k), \dots, \aleph_Q(k)\|^T. \quad (3)$$

– вектор частотних ресурсів мережі системи радіозв'язку (загальна кількість робочих частот систем радіозв'язку):

$$\mathfrak{Z}(k) = \|\mathfrak{Z}_1(k), \dots, \mathfrak{Z}_q(k), \dots, \mathfrak{Z}_Q(k)\|^T. \quad (4)$$

та інш.

У роботах [239, 240, 249–260] представлено розвиток моделі інформаційного конфлікту “класичного” РЕП і систем радіозв'язку 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 [239, 240, 249–260] новий концептуальний підхід до моделювання інформаційного конфлікту, з одного боку органічно розвиває існуючі роботи [232], [233], [238] 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

Таблиця 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 тайм-ауту 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 можна зробити висновок, для ефективного управління параметрами радіомереж 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 системи радіозв'язку з урахуванням виразів (1)– (4) представлений в виразі (5).

$$\forall t \in \{1, \dots, T, \dots\} S_t = \begin{cases} s_1^{(t)} F_1 \left(\begin{array}{l} \left(\varphi_{1,1} \left(s_1^{(t-1)} (X_1, \Pi_1, U_1, A_1, \Omega_1, Y_1, Q_1, N_1, M_1), \dots, s_1^{(t-L_1^1)} (X_1, \Pi_1, U_1, A_1, \Omega_1, Y_1, Q_1, N_1, M_1) \right), \dots \right) \\ \varphi_{1,N} \left(s_1^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_1^N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_1 \times \chi_1, \\ s_2^{(t)} F_2 \left(\begin{array}{l} \left(\varphi_{2,1} \left(s_2^{(t-1)} (X_2, \Pi_2, U_2, A_2, \Omega_2, Y_2, Q_2, N_2, M_2), \dots, s_2^{(t-L_2^1)} (X_2, \Pi_2, U_2, A_2, \Omega_2, Y_2, Q_2, N_2, M_2) \right), \dots \right) \\ \varphi_{2,N} \left(s_2^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_2^N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_2 \times \chi_2, \\ s_3^{(t)} F_3 \left(\begin{array}{l} \left(\varphi_{3,1} \left(s_3^{(t-1)} (X_3, \Pi_3, U_3, A_3, \Omega_3, Y_3, Q_3, N_3, M_3), \dots, s_3^{(t-L_3^1)} (X_3, \Pi_3, U_3, A_3, \Omega_3, Y_3, Q_3, N_3, M_3) \right), \dots \right) \\ \varphi_{3,N} \left(s_3^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_3^N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_3 \times \chi_3, \\ s_4^{(t)} F_4 \left(\begin{array}{l} \left(\varphi_{4,1} \left(s_4^{(t-1)} (X_4, \Pi_4, U_4, A_4, \Omega_4, Y_4, Q_4, N_4, M_4), \dots, s_4^{(t-L_4^1)} (X_4, \Pi_4, U_4, A_4, \Omega_4, Y_4, Q_4, N_4, M_4) \right), \dots \right) \\ \varphi_{4,N} \left(s_4^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_4^N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_4 \times \chi_4, \\ s_5^{(t)} F_5 \left(\begin{array}{l} \left(\varphi_{5,1} \left(s_5^{(t-1)} (X_5, \Pi_5, U_5, A_5, \Omega_5, Y_5, Q_5, N_5, M_5), \dots, s_5^{(t-L_5^1)} (X_5, \Pi_5, U_5, A_5, \Omega_5, Y_5, Q_5, N_5, M_5) \right), \dots \right) \\ \varphi_{5,N} \left(s_5^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_5^N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_5 \times \chi_5, \\ s_6^{(t)} F_6 \left(\begin{array}{l} \left(\varphi_{6,1} \left(s_6^{(t-1)} (X_6, \Pi_6, U_6, A_6, \Omega_6, Y_6, Q_6, N_6, M_6), \dots, s_6^{(t-L_6^1)} (X_6, \Pi_6, U_6, A_6, \Omega_6, Y_6, Q_6, N_6, M_6) \right), \dots \right) \\ \varphi_{6,N} \left(s_6^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_6^N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_6 \times \chi_6, \\ s_7^{(t)} F_7 \left(\begin{array}{l} \left(\varphi_{7,1} \left(s_7^{(t-1)} (X_7, \Pi_7, U_7, A_7, \Omega_7, Y_7, Q_7, N_7, M_7), \dots, s_7^{(t-L_7^1)} (X_7, \Pi_7, U_7, A_7, \Omega_7, Y_7, Q_7, N_7, M_7) \right), \dots \right) \\ \varphi_{7,N} \left(s_7^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_7^N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_7 \times \chi_7, \end{cases} \quad (5)$$

де S – багатовимірний часовий ряд; $s_t = (s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_N^{(t)})$ – часовий зріз стану системи радіозв'язку 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 $s^{(t)}$, $i=1, \dots, N$; N – число компонентів багатовимірного часового ряду; ι – оператор для врахування ступеню інформованості про засоби інформаційного впливу противника на систему радіозв'язку спеціального призначення; χ – оператор для врахування ступеню зашумленості даних системи радіозв'язку спеціального призначення;

З виразу (5) можна зробити висновок, що вираз дозволяє описати процеси в

системі радіозв'язку спеціального призначення з урахуванням запізнень у часі. Затримки необхідні на збір, обробку та узагальнення інформації. Також у виразі (5) враховується ступінь інформованості про засоби інформаційного впливу противника та зашумленості даних, описуються процеси, що мають як кількісні так і якісні одиниці виміру.

Висновки

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 системи радіозв'язку спеціального призначення.

2. Через економічні та частотно-ресурсні обмеження, реалізовані в СРЗ, засоби завадозахисту виявляються ефективними в обмеженому діапазоні можливих завадових 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 завадової 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.