

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.062.01 Національного авіаційного  
університету  
проспект Любомира Гузара, 1, Київ,  
03058

## **ВІДГУК**

офіційного опонента завідувача кафедри Інформаційних систем та технологій Державного університету телекомунікацій доктора технічних наук, професора Сторчак Каміли Павлівни на дисертаційну роботу Перепеліцина Сергія Олександровича за темою: «Технологія налаштування радіомережі в умовах завод інтеграцією маршрутизації та самонавчання», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - «Інформаційні технології».

### **Актуальність теми**

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню науково-прикладного завдання зі створення інформаційної технології моделювання ефективного контролю за топологією однорангової мобільної самоналагоджувальної радіомережі тактичного рівня і керування зміною показників її функціонування в умовах впливу радіозавод та радіоелектронної протидії.

Метою дисертаційного дослідження Перепеліцина С.О. є розв'язання актуального науково-прикладного завдання, що полягає в підвищенні заводозахищеності радіомереж, які діють в умовах завод штучного та природного походження. Досягнення цієї мети вимагає подальшого розвитку інформаційних технологій побудови мобільних радіомереж, що автоматично налагоджуються в умовах інтенсивної радіоелектронної протидії.

Тема роботи є актуальною, оскільки підвищення кількості випромінюючих засобів, обумовлене об'єктивними тенденціями розвитку науки, техніки і технологій, призводить до перевантаження радіоєфіру сигналами різного походження при підвищенні вимог до якості обслуговування абонентів телекомунікаційних мереж. Цей стан може спостерігатися в телекомунікаційних мережах різного призначення, особливо в умовах навмисної протидії нормальному функціонуванню.

Проблемами керування мобільними радіомережами, координацію та інтелектуалізацію рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI)

досить докладно розглянуто у публікаціях вітчизняних та зарубіжних вчених, де досліджено динаміку мобільної радіомережі та проаналізовано вплив зміни топології на стійкість мережевої структури в цілому. Разом з тим залишається не вирішеним питання забезпечення ефективного функціонування мобільної радіомережі в умовах впливу завад природного та штучного походження, тому науково-прикладне завдання забезпечення функціонування радіомережі в умовах завад за рахунок створення нової інформаційної технології є актуальним.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами та планами**

Тематика дисертаційної роботи і отримані результати відповідають пріоритетності розвитку інформаційних та комунікаційних технологій в Україні до 2020 р. згідно із Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», від 11.07.2001 № 2623-III, зі змінами внесеними згідно із Законом України «Про наукову та науково-технічну діяльність» від 26.11.2015 № 848-VIII.

Основні дослідження за темою дисертації проводилися в рамках наукових досліджень Національної академії Національної гвардії України, де здобувач був керівником та відповідальним виконавцем, присвячених технологіям керування мобільною радіомережею тактичного рівня, методам керування радіомережами, аналізу створення та керування систем радіокерування «роєм» мініатюрних дронів в умовах високої нестабільності та впливу завад. Обраний напрям досліджень збігається з напрямом досліджень за науково-дослідними роботами шифру «Сіріус» номер державної реєстрації 0119U101325, шифру «Тюльпан» номер державної реєстрації 0118U006194 та шифру «Амфібія» номер державної реєстрації 0119U101326 замовником яких є. Крім того, робота продовжує напрям наукових досліджень, що виконувалась здобувачем в рамках за науково-дослідної роботи «Развитие-3» протягом 1987–1989 рр. у КВІРТУ ППО, м. Київ.

### **Аналіз основного змісту, наукової новизни та практичної значущості**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, чотирьох додатків і містить 145 сторінок основного тексту, 32 рисунка, 28 таблиць, 26 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 98 найменувань і займає 10 сторінок. Загальний обсяг роботи складає 172 сторінки.

Зміст роботи відповідає поставленим завданням, а їх рішення за суттю та змістом виконаних досліджень відповідають паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології й спрямовані на підвищення заводозахищеності радіомереж, які діють в умовах завад штучного та природного походження.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, розкрито зв'язок роботи з науковими планами та програмами, показано новизну та практичну цінність отриманих результатів, відзначено особистий внесок автора, наведено дані про апробацію та практичне впровадження, публікації та структуру роботи.

У першому розділі проводиться аналіз існуючих радіомереж, їх класифікація, аналіз типових структур мобільних радіомереж, доцільність застосування самоналагоджувальних радіомереж, застосування та розвиток радіомереж у військовій сфері. Зазначені основні тенденції розвитку і модернізації військових систем та засобів зв'язку і керування провідних країн. Наведені переваги застосування адаптивного налаштування. Визначені недоліки тактичних радіомереж та пропозиції щодо їх усунення.

Сформульовано завдання подальших досліджень, а саме: обґрунтувати доцільність застосування самоналагоджувальних радіомереж; проаналізувати типові структури радіомереж; удосконалити модель функціонування мобільної радіомережі, поданої у вигляді умовного графу, що включає елементи навчання поведінки мережі в умовах завад; увести нові процеси інтелектуальної системи керування вузлом мобільної радіомережі; знайти нові методи самонастроювання радіомережі для пошуку найкоротшого маршруту в мережі, що зазнає впливу завад; виконати моделювання зміни топології радіомережі в розрізі завадостійкості мережевої структури; дослідити й оцінити стійкість мережевої структури в динамічній зміні та оцінити межі стійкої зв'язності вузлів радіомереж.

У другому розділі наведено дослідження методів штучного інтелекту, що існують в системі підтримання прийняття рішень щодо керування радіомережами. Розглянуті найбільш використовувані методи аналізу функціонування мобільних радіомереж – методи кластерного і тензорного аналізу, їх переваги застосування. Представлені важливі аспекти при виконанні кластеризації. Наведено, що використовуючи ідею тензорного аналізу для моделювання процесів функціонування (інформаційного обміну) системи як складного об'єкта, можна одночасно враховувати різні параметри системи (структурні та функціональні), зберігаючи цілісність її розгляду. Проведено моделювання (геометризація) фрагменту мобільного компонента перспективної системи зв'язку. Результати розрахунку підтвердили можливість і доцільність реалізації запропонованої тензорної моделі багатошляхової маршрутизації команди керування між різними вузлами мережі на основі фрагмента мобільного компонента перспективної системи зв'язку.

Представлено варіант використання матричної операції для випадку аналізу фрагмента мобільного компонента перспективної системи зв'язку. Використання

торцевого добутку матриць дозволило розширити можливості аналізу топології тактичної мережі, автоматизувати окремі його етапи шляхом формування матриць інцидентності. При цьому, порівняно з використанням кронекеровського добутку матриць, торцевий добуток дозволяє скоротити обсяги обчислювальних витрат і спростити вимоги до пристроїв зберігання даних, особливо для мереж, топологія яких описується графами з великою кількістю вершин і ребер.

У третьому розділі представлено інформаційну технологію (та її компоненти), яка полягає у новому методу самоналаштування радіомережі на основі градієнтного підходу, що відрізняється від відомих інтеграцією градієнтного алгоритму налаштування ваги сусідніх вузлів і пошуку найкоротшого маршруту в мережі, що зазнає впливу завад. Запропонована інформаційна технологія відповідає критеріям концепції C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance), що є базовими для переходу збройних формувань України на нову організацію ведення військових дій. Наведено, що децентралізовані мобільні мережі MANET - радіомережі з топологією без базових станцій здатні до самоорганізації. Розглядається концепція дворангових мереж MANET. Передбачається, що перетворення мережі MANET до дворангової топології дасть змогу поліпшити роботу мережі, зокрема таких її параметрів, як пропускна здатність, середня затримка та завадостійкість. Представлено структуру інтелектуальної системи керування вузлом мобільної радіомережі. Запропонована модель інтелектуальної системи керування (ІСК) вузлом мобільної радіомережі має досить складну структуру і включає до свого складу низку функціонально-підлеглих підсистем. Така організація системи керування вузлом дозволяє йому мати розвинені інтелектуальні можливості аналізувати і розпізнавати обставини, формувати стратегію доцільної поведінки, планувати послідовність дій, а також виконувати управляючі впливи, що спрямовані на задоволення вимог до обслуговування різних типів трафіку. Головною особливістю запропонованої інтелектуальної системи керування полягає у підключенні механізмів зберігання й оброблення знань (блок «база знань») для реалізації здатності виконувати необхідні функції в умовах невизначеності (неповноти інформації) за випадкового характеру зовнішніх впливів. Вдосконалено модель перспективної (еталонної) інтелектуальної системи керування, в яку інтегруються вузли мобільної радіомережі, і містять елементи дво- або багаторангової системи комунікації. Під час роботи в умовах активних завад така архітектура дозволяє переводити всю радіомережу на іншу смугу частот. У модель ІСК вузлом мобільної радіомережі вводиться підсистема вибору рангу радіомережі як новий елемент мобільної радіомережі. Проаналізовано функціонування підсистеми керування безпекою та наведені способи підвищення завадозахищеності з використанням

методів штучного інтелекту в системі підтримання прийняття рішень щодо керування мобільною радіомережею. Розглянуто математичну модель інтелектуального керування маршрутизацією у радіомереж нестабільної топології в умовах завад. У запропонованій технології підтримання надійного зв'язку в умовах впливу організованих і ненавмисних завад, а також забезпечення багатовузлового доступу для роботи в пакетних радіомережа, реалізовано з використанням складних і шумоподібних сигналів структури OFDM. Це дозволило підвищити заводозахищеність, прихованість і безпеку роботи радіомережі. Використання послідовних каскадних конструкцій заводостійкого кодування для захисту від помилок та завад є ефективною технологією в запропонованій технології самоналагоджувальній радіомережі.

У четвертому розділі для аналізу радіомереж тактичного рівня запропоновано евристичний метод матричного аналізу топології мобільної радіомережі на основі кронекеровського добутку матриць. Моделювання та аналіз заводостійкості мобільної радіомережі проводилося в залежності від топології на місцевості без режиму ретрансляції. В якості критерію заводостійкості мобільної радіомережі розглянуто максимальну дальність гарантованої передавання даних одного вузла мережі. Запропоновано геоінформаційну технологію автоматизованого оброблення даних з графічним зображенням топології радіомережі за допомогою геоінформаційної системи ArcGIS-10, яка дозволяє оцінити стійкість мережної структури в динамічній зміні та виявити межі стійкої зв'язності вузлів комутації радіомережі. Такий підхід є новою варіацією і розширює межі розв'язання задачі розподілу трафіку та заводостійкості радіомережі з урахуванням структури мережевої топології. Наведено залежності варіантів маршрутизації від топології (конфігурації) мобільної радіомережі на місцевості. У разі зміни топології мобільної радіомережі на місцевості в конфігурації від кола до витягнутого еліпса і до витягнутої лінії зіткнення з однаковим параметром дальності зв'язку (співвідношення відстані між двома найбільшими віддаленими вузлами і відстанню між вузлами у три і п'ять разів меншими) стійкість радіомережі змінюється. Аналіз динаміки зміни топології групи з десяти вузлів радіомережі без режиму ретрансляції показав, що найкращим варіантом є конфігурація на місцевості, яка близька до витягнутого еліпса. У такому випадку група стійкочерована навіть в умовах впливу активних завад, гарантоване з'єднання забезпечується за наявності щонайменше трьох маршрутів (ребер) між абонентами (вузлами). У разі розосередження абонентів групи, за незмінності форми конфігурації (розташування кожного абонента відносно інших «сусідів» приблизно залишається постійним), збільшуються відстані між вузлами мобільної радіомережі і кількість гарантованих з'єднань зменшується. Аналіз динаміки топології конфігурації у формі кола мобільної радіомережі залежно від

кількості вузлів без режиму ретрансляції показав, що найкращим є варіант, коли група має від десяти одиниць вузлів в умовному графі. Найефективнішою є конфігурація радіомережі на місцевості у формі кола та кількості вузлів десять. Здійснено розрахунки та проаналізовано отримані результати завадостійкості радіомережі з режимом ретрансляції. Розглянуто завдання маршрутизації та математичного моделювання поведінки мобільної радіомережі з двонапрямними зв'язками між її вузлами. Швидкість реконфігурації системи асоційовано з інтенсивністю відмов та відновленням вузлів радіомережі.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що в дисертації:

1. Уперше запропоновано новий метод інформаційного самоналаштування радіомережі на основі градієнтного підходу, який на відміну від методів, що існують, враховує інтеграцію методів маршрутизації та градієнтного підходу до налаштування приймального вузла.
2. Уперше розроблено інформаційну технологію самоналагоджування, яка відрізняється від тих, що існують, використанням алгоритму Дейкстри та градієнтного алгоритму, що дозволяє забезпечити належну якість функціонування радіомережі.
3. Удосконалено схему налаштування радіомережі, що відрізняється від відомих наявністю елементів, що перемикають мережу у вільну смугу частот в умовах застосування активних завад.
4. Отримав подальший розвиток алгоритм керування вузлом мобільної радіомережі, шляхом введення нової підсистеми вибору рангу радіомережі та модулю контролю зв'язності вузлів мобільної радіомережі, що забезпечує налаштування радіомережі в умовах реального часу.

Основний науковий результат дисертації полягає у створенні моделей, методів пов'язаних з підвищенням завадостійкості сучасних мобільних радіомереж, яке досягається інтеграцією методів маршрутизації та градієнтного налаштування приймального вузла, що в цілому складає запропоновану інформаційну технологію.

**Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректністю використання сучасних методів системного аналізу при виконанні завдань порівняння та аналізу різних підходів до побудови радіомереж, алгоритмів налаштування, методу графів при аналізі ефективності алгоритмів маршрутизації, а саме алгоритмів Дейкстри та Беллмана-Форда, методи імітаційного моделювання та візуалізації стану радіомережі в геоінформаційній системі ArcGIS-10 американської компанії ESRI.

### **Практична значимість дисертаційних досліджень**

Реалізація запропонованих в дисертації методологічних основ побудови заводозахисних радіомереж, які діють в умовах завод штучного та природного походження, має суттєву практичну значимість:

1. Створено алгоритмічне, інформаційне та програмне забезпечення компонент інтелектуальної системи керування вузлом мобільної радіомережі, які використовуються інформаційною технологією заводозахисності даних мережі, яка функціонує в умовах завод.

2. Запропоновано автоматизоване оброблення даних з графічним зображенням топології радіомережі за допомогою геоінформаційної системи ArcGIS-10, що дозволяє провести візуалізацію структури радіомережі та виявити межі стійкої зв'язності вузлів комутації радіомережі.

3. Розроблено алгоритм налаштування радіомережі в умовах завод, що забезпечує ймовірність бітової помилки —  $1,52 \times 10^{-5}$ .

Результати наукових досліджень впроваджено у дослідно-конструкторську роботу «Гіацинт» у ТОВ «ЕКОММ» (Акт від 09.12.20 р.) та у навчальний процес Військового інституту КНУ ім. Тараса Шевченка на кафедрі геоінформаційних систем (Акт від 03.12.20 р.).

### **Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні положення дисертації опубліковано у опубліковано у 14 наукових працях, тому числі 6 наукових статях, з них одна індексується науково-метричною базою даних SCOPUS, 5 – у вітчизняних фахових наукових журналах, а також 8 матеріалів і тез доповідей на конференціях у зазначених роботах, які наведено в авторефераті та анотації дисертації, із достатньою повнотою відображаються винесені на захист наукові положення та висновки. В авторефераті й дисертації наведено дані щодо конкретного персонального внеску здобувача у всіх працях, які опубліковані у співавторстві. Кількість публікацій за результатами роботи та їх якість відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій.

### **Зміст дисертації та оформлення роботи**

Дисертація є завершеною науковою роботою. Її обсяг, структура, зміст і оформлення відповідають вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій. Робота відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 - «Інформаційні технології». Представлений до розгляду автореферат дисертації загалом відповідає змісту роботи та відображає основні наукові результати досліджень.

### **Недоліки та зауваження**

1. В роботі зазначається, що завдяки використанню функцій інтелектуальної системи керування вузлами мобільної радіомережі: обсяг службового трафіку з використанням інтелектуального методу маршрутизації скорочується на 20–30%; застосування адаптивних протоколів дозволяє зі збільшенням розміру пакета передавання підвищити пропускну здатність до 50%; застосування протоколу керування доступом до радіоканалу, заснованого на процедурі множинного доступу з контролем опорного сигналу, дає змогу підвищити пропускну здатність радіомережі у 2,37 разів. Але для об'єктивності отриманих результатів доцільно було б навести дані дослідження.
2. Розглядаючи структуру інтелектуалізації системи керування вузлом мобільної радіомережі необхідним було б навести принципову відмінність бази даних від бази знань.
3. В роботі наведено твердження, що у розрахунках за схемою «загибель–розмноження» показано, що реконфігурація ефективна, якщо вона відбувається зі швидкістю більшою за інтенсивність виведення вузлів з ладу приблизно у 2–5 разів але відсутнє доведення.
4. В авторефераті та дисертації не достатньо доказано ефективність інтеграції.
5. Рекомендовано вживати термін «безпроводові мережі» замість «бездротові мережі».
6. В роботі присутні окремі стилістичні та орфографічні помилки.

Проте, вказані недоліки не знижують цінності та практичного значення одержаних в дисертаційній роботі наукових результатів і, внаслідок цього, її позитивну оцінку в цілому.

#### **Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні оцінки**

Дисертаційна робота Перепеліцина Сергія Олександровича є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які в сукупності є суттєвими для вирішення наукової проблеми, яка полягає в розробленні методологічних основ побудови та управління заводо захищених радіомереж, які діють в умовах в умовах завод штучного та природного походження. Робота виконана здобувачем особисто у вигляді спеціально підготовленого рукопису, в якій зазначено особистий внесок здобувача у обрану предметну галузь.



Зміст автореферату відповідає змісту дисертації та повною мірою відображає її основні положення. Дисертація та автореферат написані кваліфіковано, оформлені згідно нормативних документів щодо оформлення дисертації (Наказ МОН України від 12.01.2017 № 40).

Дисертація «Технологія налаштування радіомережі в умовах завад інтеграцією маршрутизації та самонавчання» відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМУ № 567 від 24.07.2013 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., та № 567 від 27.07.2016 р., № 943 від 20.11.2019 р., № 607 від 15.07.2020 р.), а здобувач Перепеліцин Сергій Олександрович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент  
завідувач кафедри Інформаційних систем та технологій  
Державного університету телекомунікацій  
доктор технічних наук, професор



К.П. Сторчак

Підпис Сторчак К.П. засвідчую:  
Учений секретар Державного університету  
телекомунікацій



О.В. Попов