

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.062.19 Національного  
авіаційного університету  
Козловському В.В.  
03058, м. Київ, проспект Любомира  
Гузара, 1

## **ВІДГУК**

Офіційного опонента – доктора технічних наук, професора,  
професора кафедри прикладних інформаційних систем Київського  
національного університету імені Тараса Шевченка,  
**Сайка Володимира Григоровича**, на дисертаційну роботу  
**Лисечка Володимира Петровича** на тему:  
«Методи та моделі підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних  
телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій»  
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

### **Актуальність теми дисертації**

Сьогодні розвиток телекомунікацій, під час військового стану, допомагає зміцнити обороноздатність та національну безпеку України, забезпечує інформаційний захист, сприяє технологічному розвитку та підтримує економічну стійкість країни. В цьому контексті ключовим напрямком є розвиток та модернізація інфраструктури країни, зокрема шляхом впровадження швидких та надійних систем зв'язку, у тому числі, за рахунок безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем (ІТС).

Загалом, використання ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій у безпроводових ІТС дозволяє захиститись від зловмисних атак, забезпечити конфіденційність, збільшити пропускну здатність, адаптуватись до змін у середовищі, і, звичайно, підвищити завадостійкість ІТС.

Виходячи з актуальності зазначеної проблеми, дисертаційна робота Лисечка В.П., подана до розгляду, вирішує сучасні наукові задачі зі створення нових методів і моделей підвищення рівня завадостійкості безпроводових інтелектуальних систем на базі ансамблів складних сигнально-кодових структур.

Розв'язання визначеної задачі з підвищення стійкості до завад, виникає у контексті невідомих заздалегідь структур і алгоритмів функціонування, що вимагає генерації та реалізації таких технічних рішень, що забезпечують гармонійний баланс між структурною цілісністю, здатністю витримувати вплив негативних факторів та продуктивністю інтелектуальних систем зв'язку.

В процесі вирішення наукової проблеми основний акцент зосереджується на розробці нових методів і моделей створення складних ансамблевих

сигнально - кодових структур. Це досягається шляхом наукових досліджень, застосуванню моделювання, симуляції, тестування, експерименту і практичному вдосконаленню методів, а також налаштуванню і оптимізації їх роботи в реальних умовах безпроводових ІТС.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Представлена на розгляд дисертаційна робота відрізняється високим ступенем наукової обґрунтованості та має послідовну і логічну побудову.

У дисертаційному дослідженні, підготовленому В.П. Лисечком, автор спирається на результати наукових досліджень як закордонних, так і вітчизняних вчених, що спеціалізуються на проблемах вдосконалення функціонування безпроводових ІТС.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі вирішувалися наступні задачі: проведено дослідження і створено математичні моделі для відстеження та контролю за характеристиками радіочастотного спектру в безпроводовій ІТС; досліджено проблеми оцінки ефективності контролю доступу до безпроводових інтелектуальних середовищ та розроблено стратегії управління в ІТС з метою оптимізації використання ресурсів, поліпшення роботи та зниження впливу завад; удосконалено методи керування середовищем у безпроводових ІТС; розроблено адаптивну модель та метод ідентифікації користувачів мобільних пристроїв у безпроводових ІТС, заснованих на інтеграції різних компонентів: обробка сигналів, аналіз даних, моделювання та програмування; розроблено оптимізовані алгоритми керування середовищем в ІТС; створено математичні моделі, програмні рішення, вдосконалено методи створення ансамблів складних сигналів з врахуванням послідовностей з покращеними властивостями взаємної кореляції в часовому та частотному вимірах; проведено аналіз властивостей ансамблів складних сигналів, включаючи їх кореляційні особливості, з метою оцінки працездатності та адаптивності в реальних змінних умовах.

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується доцільністю застосування математичного та статистичного аналізу, імітаційного моделювання, методів симуляції і синтезу складних технічних систем. Достовірність наукових висновків у дисертації також підтверджується: правильним формулюванням завдання та його відповідністю реальним умовам; збором достатньої кількості експериментальних даних, отриманих комп'ютерним моделювання та їх порівнянням з результатами реальних досліджень; застосування отриманих результатів у практичній діяльності, що підтверджують акти про впровадження, представлені у додатках.

**Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:**

- отримав подальший розвиток метод керування радіо мережею безпроводового доступу в регіональній мережі (WRAN), який відрізняється від наявних аналогів впровадженням функцій інтелектуального управління з застосуванням нейромережі;

- отримав подальший розвиток метод для виявлення мобільних користувачів у безпроводових ІТС, що базується на структуруванні рою частинок та вирізняється своєю здатністю до підвищення ефективності виявлення користувачів порівняно з існуючими методами;

- розроблено метод конкурентного вибору каналів в безпроводових ІТС, який використовується для координації доступу первинних та вторинних мобільних користувачів, і сприяє підвищенню продуктивності вторинних користувачів завдяки технології накопичення енергії в умовах одночасного управління нейронною мережею;

- розроблено метод синтезу складних ансамблів сигналів, який ґрунтується на систематичному перегляді часових складових сигналів і створює можливість значного збільшення кількості сигнальних комбінацій у часовій та частотній областях. Це дозволяє формувати стабільні сигнали, підвищуючи стійкість ІТС до впливу завад та раціонально використовувати спектральні ресурси;

- удосконалено метод синтезу складних ансамблів сигналів, який відрізняється використанням специфічного підходу до формування сигнальних послідовностей, а саме обчисленні середнього значення максимальних відхилень бічних пелюсток функції взаємної кореляції при збільшенні обсягів ансамблів;

- набув подальшого розвитку метод синтезу сигнально-кодових ансамблів, що ґрунтується на вдосконаленні властивостей взаємної кореляції послідовностей, які отримуються за допомогою смугової фільтрації та міксування. Він реалізований за допомогою виділення частотних діапазонів із спектрів послідовностей та їх подальшого багатократного перемішування;

- розроблено метод визначення співпадінь сигнальних елементів у часово-частотному просторі, що дозволяє оптимізувати процедури переміщення часових і частотних зміщень в сигнально-кодових структурах.

-

**Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях.** Основні наукові положення та здобутки дисертаційного дослідження викладено в 30 наукових працях. У томи числі: в 3 наукових статтях у періодичних наукових виданнях іноземних держав, які індексуються наукометричною базою Scopus; в 20 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до “Переліку наукових фахових видань України”, з них 7 опубліковані одноосібно; в 7 тезах доповідей та матеріалах конференцій, з них 1 індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus.

**Практичне значення результатів дослідження полягає у наступному:**

1. Розроблено алгоритм аналізу та вимірювання спектральних характеристик сигналів для підвищення ефективності роботи в безпроводових ІТС на основі методу швидкого перетворення Фур'є.

2. Розроблено алгоритм керування середовищем безпроводового доступу в регіональній мережі (WRAN), який використовує нейронну мережу для покращення ефективності функціонування ІТС. В результаті оптимізації та навчання нейромережі на відповідних даних і відповідно заданим вимогам, алгоритм збільшує пропускну спроможність системи в 1,8 рази, що підтверджується валідацією.

3. Розроблено програмні рішення, які використовують метод структурування рою частинок для виявлення користувачів у ІТС. Ці рішення призводять до підвищення ефективності виявлення користувачів та збільшення пропускну спроможності системи на 10-40%, в залежності від доступу до локацій.

4. Розроблено алгоритм вибору каналів у ІТС під час створення системи множинного доступу для первинних та вторинних користувачів, який сприяє підвищенню продуктивності роботи вторинних користувачів завдяки використанню технології накопичення енергії.

5. Розроблено програмні рішення для практичної реалізації методу синтезу сигнально-кодових ансамблів у ІТС. Цей метод ґрунтується на створенні послідовностей сигналів зі слабкою взаємною кореляцією, шляхом упорядкування часових компонентів сигналів. Це призвело до підвищення стійкості системи завдяки збільшенню обсягу сигнальних ансамблів, а саме, зниженню рівня максимальних викидів бічних пелюсток взаємодіючих сигнальних компонентів на 6-14%.

6. Розроблено програмні рішення для методу перестановок частотних компонентів сигналів, які використовують алгоритм повного перебору, вибору оптимальної перестановки, тестування та валідації. Це призвело до значного розширення обсягу складних сигнально-кодових структур у  $m$  разів, де  $m$  - кількість перестановок частотних компонентів.

7. Розроблено програмні рішення для методу створення ансамблів складних сигнальних структур, які використовують комбінацію послідовностей з покращеними взаємними кореляційними характеристиками, а також смугову фільтрацію і міксування сигналів. Це призвело до збільшення обсягу ансамблів сигналів на 18-28%, при належному рівні стійкості до завад у ІТС.

Наукові результати, отримані в дисертаційному дослідженні, успішно застосовані та використані в роботі наступних організацій/структур.

1. Науково-дослідна робота Хмельницького національного університету «Розробка широкосмугової пеленгаційної системи для визначення місцезнаходження безпілотних летальних апаратів (БПЛА) військового та невійськового призначення» Номер державної реєстрації 0122U001211.

2. Науково-дослідна робота Національної академії Національної Гвардії України, шифр «Поляна 3» (ДРН№ 0116U004048).

3. В службовій діяльності військової частині А7223.

У додатку до дисертаційної роботи включені документи, які підтверджують фактичне використання та валідацію науково-практичних результатів дослідження. Всі реалізації отриманих результатів відображені в відповідних актах.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеності і відповідності встановленим вимогам.** Дисертаційне дослідження автора є індивідуальною, оригінальною та закінченою науковою працею, яка успішно вирішує актуальну наукову проблему

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і має 244 сторінки основного тексту, 85 рисунків та 15 таблиць, 38 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 214 найменування і займає 22 сторінки. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 350 сторінок.

У **вступі** здійснюється огляд загальної характеристики роботи. Зокрема окреслена актуальна наукова проблема, визначено основну мету і завдання дослідження. Чітко сформовано новизна і практична цінність отриманих результатів, що відповідають поставленим задачам. Відображено відомості про апробацію та впровадження результатів дослідження, конкретизовано особистий внесок автора у працях, написаних у співавторстві.

В **першому розділі** проведено дослідження переваг і недоліків протоколу IEEE 802.22 WRAN, який відкриває широкі можливості для ефективного і оптимального використання спектру радіо частоти.

За результатами аналізу існуючих методів моніторингу спектру, вибрано метод, що спирається на алгоритм швидкого перетворення Фур'є. Показано, що при використанні його в реальному часі при низькому рівні співвідношення сигнал-шум, значення, за якими приймаються рішення щодо використання каналу є нечутливими до рівня шуму. З метою створення одночасно простого для застосування і дієвого алгоритму, вибрано використання інформаційного критерію Акайке, який ефективно дозволяє з'ясувати, чи відповідає спостережувана сигнально-кодova конструкція визначеному пороговому значенню та дає можливість виявити вільний спектральний діапазон. Відмінністю алгоритму є простота його реалізації за рахунок зменшення етапів і кількості необхідних для обчислення операцій.

У **другому розділі** на основі аналізу наукових джерел проведено дослідження методів керування в інтелектуальних системах доступу до клієнтського середовища. Сформульована характеристика основних методів навчання та управління безпроводовими інтелектуальними телекомунікаційними системами. Для виявлення переваг і недоліків в застосуванні методів керування безпроводовими інтелектуальними телекомунікаційними системами проведемо дослідження найбільш значущих та

дієвих з них, а саме: цикл Бойда, метод керування системами на основі нечітких нейронних мереж, метод керування системами на основі мережі MANET.

**У третьому розділі** детально розглянута архітектура управління середовищем WRAN з нейромережею, як така, що ефективно і вповні може реалізувати всі можливості інтелектуальних систем когнітивного радіо в області взаємодії, обміну даними та розподілу ресурсів між компонентами мережі. Показано можливості адаптації системи та шляхи покращення швидкодії.

Запропоновано удосконалення методів та розробка моделей керування середовищем в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах з метою забезпечення їх оптимальної працездатності, ресурсоемності та ефективності, оптимального керування середовищем у різних умовах роботи, зокрема методу керуванням середовищем з нейромережею, що реалізується на основі окремого випадку радіальних базисних мереж - ймовірнісної нейромережі PNN. Практичним шляхом обрано нейромережу, яка ефективно відповідає поставленим завданням, що дозволяє зменшити ймовірність помилки та підвищити швидкодію мережі. Здійснено розробка алгоритмів керування середовищем в безпроводових ІТС на основі запропонованих методів.

**У четвертому розділі** проведено аналіз механізмів контролю керування доступом мобільних користувачів до середовища, як один з ключових факторів якості зв'язку для вторинних користувачів. Дана оцінка можливості впровадження методів віртуалізації і масштабування в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах для розширення можливостей існуючих механізмів керування. Показано зростання потреб користувачів в доступних хмарних технологіях. З використанням описаних технологій розроблено, метод множинного виявлення користувачів, що здатен ефективно виявляти мобільних користувачів на основі радіочастотного аналізу і використовує алгоритм оптимізації балансу рою часток для досягнення цієї мети. Проведено моделювання множинного виявлення користувачів та запропоновано механізм апробації розробленого алгоритму.

Наступним кроком розроблено алгоритм процесу вибору режиму передачі для вторинних користувачів мобільних пристроїв на основі формування конкуруючих наборів користувачів та управління ними з використанням нейромережі.

**У п'ятому розділі** на основі описаних вище умов і розроблених механізмів керування ІТС було удосконалено метод збільшення об'єму ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій для безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем. Попередньо проведено аналіз властивостей взаємної кореляції сигналів та оцінка впливу завад множинного доступу на роботу таких систем. Розроблено методичний підхід з врахуванням властивостей взаємної кореляції щодо формування ансамблів складних кодових конструкцій сигналів в часовій області. Показано відмінності запропонованого

методу від існуючих та отримані переваги. Зокрема показано, що сигнали, створені таким чином, відрізняються найнижчим з можливих рівнем завад множинного доступу (ЗВД). Розроблено алгоритм для впровадження методики з формування ансамблів конструкцій складних кодових сигналів з перестановкою послідовностей в різні інтервали часу.

**У шостому розділі** узагальнено запропоновані в роботі методики і моделі, що зводяться до формування складних ансамблів кодових конструкцій сигналів на базі визначених і розрахованих характеристик. Розроблено метод та алгоритм апробації методу перестановки частотних елементів сигналів з використанням повного перебору, показано збільшення об'єму ансамблю складних сигналів на визначену кількість частотних елементів. Набув подальшого розвитку метод, який базується на послідовностях, що мають покращені властивості взаємної кореляції в частотній області. Головною його відмінністю є фільтрація смуги псевдо випадкових послідовностей, що мають низький рівень взаємодії у часовій області і з подальшим перенесенням частот в спільну область і з перестановками. Запропоновано покроковий алгоритм реалізації даного методу, здійснена оцінка параметрів отриманих ансамблів сигналів та порівняння з сигнально-кодovими конструкціями, отриманими за допомогою інших методів. Подана порівняльна оцінка характеристик властивостей кореляції розроблених сигнальних конструкцій і їх аналогів та рекомендації щодо практичного впровадження запропонованих методів.

**Висновки** до роботи містять узагальнену інформацію щодо ключових отриманих результатів, оцінку отриманих переваг і недоліків у порівнянні з існуючими аналогами. Відображають значний і теоретичний рівень отриманих результатів. Зміст та висновки роботи свідчить про те, що поставлене завдання є виконаним в повній мірі.

Послідовність та оформлення викладу матеріалів, наукових положень й висновків відповідає вимогам до дисертаційного дослідження та забезпечує їхнє сприйняття й розуміння фахівцями галузі. В дисертації достатньою мірою наведено графічний та табличний матеріали результатів дослідження.

Автореферат та основні положення дисертації за змістом є ідентичними.

Дисертація є завершеною науковою працею.

### **Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.**

1. Слід зауважити, що для запропонованого в роботі методу виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок хоча і присутній вичерпний опис локальних обмежень (стор.143.), проте не наголошується, що він може бути чутливим до початкових умов, внаслідок чого, при різних запусках алгоритму, можуть бути отримані різні результати, що ускладнить його практичну реалізацію.

2. В роботі в достатній мірі проаналізовані особливості побудови та навчання нейронних мереж, запропоновані конкретні методи і алгоритми керування на їх основі. Проте відсутній огляд питань відмовостійкості та

поведінки нейромережі у разі виникнення помилок, відмов чи аварійних ситуацій, а також здатність системи до автоматичного відновлення.

3. Пункт 4.4.2. присвячений розробці технології вибору режиму передачі для вторинних користувачів з використанням технології накопичення енергії. Висновки до розділу показують, що розроблена система з використанням накопичення енергії перевершує існуючу мережу за енергозбереженням (ст.196) Проте для даного алгоритму наведені лише порівняльні показники пропускної здатності та часу очікування каналу (ст.192-194.) і не наведено підтверджуючих розрахунків по критерію енергозбереження. Недоліком вважаємо теж, що отримані дані не знайшли відображення в пунктах практичної цінності роботи.

4. Очевидно, що будь яке ускладнення систем керування веде до збільшення в ній «вразливих місць». Автор не приділив уваги проблемі низької стійкості великих систем до помилок, хоча непередбачувані помилки та втрати пакетів можуть стати викликом у розробці ефективних інтелектуальних систем керування безпроводовими мережами.

5. Метод визначення частотно-часових координат співпадінь сигнальних елементів з оптимізацією процесу міксування часових та частотних перестановок в сигнально-кодових конструкціях запропонований в п. 6.1. є залежним від точності моделі каналу передачі даних. В роботі не було детально розглянуто вплив відхилень параметрів моделі від реальних умов.

6. Розділ 6 присвячений оцінці ефективності розроблених методів синтезу ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій, отриманих шляхом перестановок часових виборок вихідних послідовностей з ранжуванням та отриманих шляхом смугової фільтрації з міксуванням, реалізація яких вимагає додаткових ресурсів, які можуть стати критичними з точки зору обчислювальної складності. Варто було б провести порівняння запропонованих методів з точки зору складності та затрат часу на їх реалізацію.

## **ВИСНОВОК**

Дисертаційна робота Лисечка Володимира Петровича на тему «Методи та моделі підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій» включає оригінальні авторські, науково обґрунтовані результати, що успішно адаптовані для практичного використання в сфері телекомунікацій. Всі результати, отримані здобувачем, вирішують актуальну науково-практичну проблему збільшення завадостійкості інтелектуальної радіомережі шляхом створення ансамблів складних сигнально-кодових структур, які відповідають певним характеристикам та критеріям. Це досягається через моделювання, симуляції, тестування та практичну реалізацію, з подальшим налаштуванням і вдосконаленням запропонованих методів і моделей у реальних умовах ІТС. Дисертаційна робота представляє собою закінчену наукову працю на сучасну



тему, яка містить нові, науково обґрунтовані теоретичні та практичні відкриття і концепції, що відображають особистий науковий внесок автора в цю галузь.

Дисертаційна робота Лисечка В.П. на тему «Методи та моделі підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій» відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі, вимогам пункту 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, зі змінами, внесеними згідно Постанови КМ № 656 від 19.08.2015р., які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Лисечко Володимир Петрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Офіційний опонент  
професор кафедри прикладних інформаційних систем  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка,  
доктор технічних наук, професор

Володимир САЙКО

«21» 11 2023 року

Підпис Сайка В.Г. засвідчую:

М.П.

Лисечко В.П.  
Ректор  
41.11.2023р.

