**ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Бершова В'ячеслава Султанбековича
«Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії,
галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»,
спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**Актуальність теми дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Бершова В. С. на тему «Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж» є дослідженням, що знаходиться на стику теоретичних та практичних аспектів сучасних телекомунікаційних технологій. Створення та вдосконалення методів аналізу, обробки і синтезу сигналів як основного елемента телекомунікаційних систем є завданням не лише інженерного, а й наукового характеру, оскільки вимагає поєднання математичної точності з гнучкістю практичного застосування.

Актуальність проблематики, яку розглядає здобувач, є беззаперечною, оскільки забезпечення високої завадостійкості в когнітивних мережах – це не просто технічне завдання, а один із глобальних викликів сучасної телекомунікаційної сфери в умовах зростаючого навантаження на частотний спектр та високої щільності користувачів.

Для забезпечення стабільного та швидкого обміну інформацією необхідним є ефективне використання радіочастотного спектру та вдосконалення методів боротьби з завадами. Розробка методів синтезу сприяє формуванню сигналів із оптимальними спектральними, часовими та енергетичними характеристиками, що відповідають вимогам сучасних і перспективних телекомунікаційних систем. Ансамблі сигналів відіграють важливу роль у створенні нових технологій, здатних забезпечити надійну передачу даних у складних і перевантажених спектральних умовах.

Удосконалені методи формування сигналів дозволяють впроваджувати інтелектуальні алгоритми аналізу, модуляції та декодування, що підвищує ефективність телекомунікаційних систем і створює основу для адаптивних технологій нового покоління.

Електронний підпис
ВОЙЧЕНКО
МИКОЛАЙОВИЧ
ідентифікаційний
код
2789818815
Підписано у вчасно

З урахуванням актуальних проблем у сфері телекомунікацій було сформульовано мету дисертаційної роботи: підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж шляхом формування ансамблів складних сигналів на основі методів оптимізації, удосконаленого багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментування та адаптивних алгоритмів аналізу й обробки сигналів.

Для досягнення цієї мети було послідовно вирішено низку часткових задач, зокрема:

– проведено аналіз та порівняння сучасних методів аналізу й формування ансамблів складних сигналів у когнітивних мережах;

– удосконалено метод багаторівневого часово-частотного сегментування з метою розширення ансамблю сигналів;

– розроблено методи та алгоритми максимізації обсягу сигналів;

– запропоновано методи аналізу та обробки ансамблів сигналів на основі специфічних перетворень і фільтрів;

– розроблено метод формування ансамблів сигналів на основі багатомасштабної декомпозиції часових інтервалів;

– здійснено верифікацію та експериментальне підтвердження ефективності запропонованих методів, а також проведено їх порівняння з існуючими підходами за основними показниками продуктивності.

Аналіз змісту дисертації підтверджує, що поставлені завдання повністю вирішені, а отримані результати мають як наукову, так і практичну значущість. Запропоновані методи сприяють підвищенню завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж, покращенню точності аналізу та обробки сигналів, забезпеченню надійності передачі даних в умовах складного радіочастотного середовища. Розроблені підходи враховують специфіку функціонування досліджуваних систем та відкривають нові можливості для розвитку сучасних телекомунікаційних технологій.

## Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Предметом дослідження дисертаційної роботи є методи, моделі та алгоритми формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж. Робота базується на використанні сучасних методів часово-частотного аналізу, багаторівневого рекурентного сегментування, адаптивної фільтрації та оптимізації. Зокрема, застосовано підходи, що дозволяють динамічно адаптувати обробку сигналів до умов когнітивного радіосередовища, включаючи варіативність спектральних характеристик та вплив завад.

Достовірність отриманих результатів підтверджується достатнім науковим обґрунтуванням, яке супроводжує розв’язання всіх поставлених часткових задач. Експерименти підтверджують ефективність розроблених методів аналізу та обробки ансамблів сигналів.

Авторський підхід до багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментування дозволяє забезпечити високу точність і адаптивність аналізу сигналів, а застосування специфічних перетворень та оптимізованих фільтрів дає змогу зменшити вплив завад, зберігаючи при цьому чутливість до слабких сигналів. Вперше запропонований метод формування ансамблів складних сигналів на основі багатомасштабної часової декомпозиції забезпечує ефективне структурування сигналів на різних рівнях часової деталізації.

Рівень обґрунтованості наукових положень і рекомендацій підтверджується апробацією результатів дисертаційного дослідження у наукових публікаціях та участю в міжнародних конференціях, а також практичним застосуванням запропонованих методів, що підтверджено актами впровадження. Це дозволяє розглядати дисертаційне дослідження як завершений, методологічно чіткий та інноваційний внесок у розвиток когнітивних телекомунікаційних систем.

**Наукова новизна полягає в отриманні наступних результатів:**

1. Удосконалено метод багаторівневого рекурентного часового сегментування на основі часово-частотних перетворень та адаптивної фільтрації, що забезпечує ефективний аналіз та обробку ансамблів сигналів з різними рівнями часової та частотної деталізації в динамічному когнітивному радіосередовищі.

2. Удосконалено метод аналізу та обробки ансамблів складних сигналів, на основі застосування специфічних перетворень та оптимізованих фільтрів на різних етапах багатоступеневого часово-частотного сегментування з урахуванням змін параметрів сигналу, рівня завад та характеристик радіосередовища.

3. Вперше запропоновано метод формування ансамблів складних сигналів на основі багатомасштабної часової сегментної декомпозиції, що дозволяє структурувати сигнали на макро-, мезо- та мікрорівнях часової деталізації.

Отримані наукові результати є авторськими та актуальними для розвитку когнітивних мереж, оскільки забезпечують кращу адаптивність, ефективність та завадостійкість порівняно з традиційними підходами.

**Практичні результати дисертаційного дослідження.**

Практичними результатами є розробка алгоритмів та програмних реалізацій запропонованих методів, а саме:

– проведено порівняльний аналіз методів аналізу, обробки та формування ансамблів складних сигналів у когнітивних радіомережах, експериментально підтверджено ефективність сучасних багаторівневих рекурентних методів для практичного застосування;

– розроблено алгоритм багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментування ансамблів складних сигналів із оптимальним вибором методів перетворення та фільтрації. Доведено, що застосування алгоритму підвищило ефективність обробки сигналів до 21% в залежності від рівня завад, характеристик сигналу та складності мережі;

– розроблено алгоритм та програмні рішення до оптимізованого методу аналізу та обробки ансамблів складних сигналів з застосуванням специфічних перетворень та адаптивних фільтрів, що дозволило знизити рівень шуму до 22 % та підвищити якість сигналу до 14 %;

– розроблено алгоритм та програмну реалізацію методу багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментування з врахуванням використання LMS та RLS фільтрів та оптимізованих перетворень, що дозволило в загальному вигляді підвищити завадостійкість системи до 10%;

– розроблено алгоритм та програмну реалізацію методу багатомасштабної часової декомпозиції, проведено його експериментальну оцінку;

– верифіковано запропоновані методи, визначено їх ефективність та переваги у порівнянні з традиційними методами. Доведено, що вони забезпечують вищу точність аналізу та обробки сигналів, підвищення показників завадостійкості, а також оптимізацію використання частотного спектру. Отримані результати підтверджено позитивною динамікою показників.

Практичне впровадження отриманих результатів підтверджується відповідними актами, що містяться в додатках роботи.

**Оцінка змісту, структури та об’єму дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам.**

Дисертаційне дослідження автора представляє собою самостійну, унікальну, завершену наукову роботу, в якій розв’язане актуальне наукове завдання. Дисертація має структуру, що відповідає вимогам до наукових робіт такого рівня, складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота

містить 168 сторінок основного тексту, у тому числі: 36 рисунків, 35 таблиць, 128 найменувань у списку використаних джерел на 12 сторінках, 6 Додатків (А-Е). Загальний обсяг дисертаційної роботи займає 191 сторінку. Структура дисертації логічна та відповідає суті поставлених завдань. Зміст кожного розділу повністю розкриває відповідні аспекти дослідження, без надлишкової інформації.

У вступі обґрунтовано наукові задачі дослідження, визначено актуальні виклики когнітивних безпроводових радіомереж, доведено шляхи підвищення завадостійкості через створення ансамблів складних сигналів, надано інформацію про наукову новизну, практичне значення, авторський внесок і публікації.

Перший розділ аналізує сучасні проблеми безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем, які обумовлені масштабуванням мереж та значним спектральним навантаженням. Проведено порівняльний аналіз методів оптимізації та оцінено ефективність багаторівневого рекурентного сегментування для формування сигналів. Сформульовано наукову проблему і задачі дослідження.

Другий розділ описує метод та адаптивний алгоритм багаторівневого рекурентного сегментування. Удосконалено метод, який забезпечує високу точність і адаптивність обробки сигналів через оптимізацію процесів перетворення та фільтрації залежно від умов і характеристик сигналів.

Третій розділ присвячено вдосконаленню методів аналізу й обробки ансамблів сигналів з використанням оптимізованих фільтрів та перетворень у багатоступеневому сегментуванні. Проведено експериментальну оцінку ефективності методу та його практичну реалізацію в умовах змінних параметрів когнітивного радіосередовища.

Четвертий розділ розробляє метод формування сигналів на основі багатомасштабної декомпозиції часової області. Описано алгоритм формування ансамблів на різних рівнях часової деталізації, обґрунтовано умови застосування методу в радіомережах і наведено порівняльну оцінку результатів.

Висновки підсумовують основні результати, які вирішують актуальну наукову проблему та поставлені задачі.

Робота містить всі необхідні структурні елементи, стиль викладення матеріалу та логічна побудова тексту показують високий рівень виконання дисертації та дозволяють ефективно передати наукові досягнення автора. Текст дисертації не містить зайвої інформації або неясних формулювань, що дозволяє легко сприймати основні ідеї та результати дослідження. Всі терміни і поняття, що використовуються в роботі, чітко визначені, що забезпечує точність викладу

матеріалу. Використання математичних моделей, графіків, таблиць та схем сприяє кращому розумінню теоретичних та експериментальних результатів.

**Повнота викладення основних результатів дослідження та дотримання академічної доброчесності**

Основні результати та положення дослідження були опубліковані у 10 наукових працях, серед яких 3 статті у фахових виданнях, 1 у виданні Web of Science, 1 стаття у міжнародному виданні та 5 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня. Особистий внесок здобувача, що включає розробку нових методів, алгоритмів та технічних рішень, повною мірою відображений в публікаціях і вказаний у вступі роботи.

Практичне застосування результатів досліджень підкріплене актами впровадження в навчальний процес Луцького національного технічного університету при викладанні дисципліни «Теорія електричного зв'язку» та у діяльності військової частини А7223, що додаються до дисертаційної роботи.

Анотація до роботи не містить інформації, відсутньої у тексті роботи, відповідає її структурі та змісту та відображає всі отримані наукові результати.

Викладення матеріалів, положень і висновків в роботі та публікаціях подано доступним і зрозумілим стилем з посиланнями на використані джерела.

Перевірка дисертації та наукових публікацій не виявила ознак плагіату, самоплагіату, фабрикування, фальсифікування даних чи будь яких інших порушень принципів академічної доброчесності.

**Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації**

Позитивно оцінюючи рівень розробки наукових та методичних положень, обґрунтованість наукових висновків і пропозицій, необхідно відмітити наступні недоліки:

1. Запропонований метод багаторівневого рекурентного часового сегментування (розділ 2, стор. 82-95) не містить оцінки втрат інформації після поділу сигналу. Відсутність такого аналізу ускладнює оцінку точності відновлення сигналу після сегментації, а також можливий вплив втрат на ефективність подальшої обробки та формування ансамблів сигналів у когнітивних мережах.

2. При комп'ютерному моделюванні методів аналізу та обробки ансамблів складних сигналів, які наведено в дисертації у розділах 3 та 4, існує ризик перенавчання алгоритмів на специфічних тестових даних, що може знизити їх ефективність у реальних умовах і, відповідно, не зрозуміло, які механізми забезпечують узагальнену стійкість розроблених методів.

3. У розділі 4 описано метод багатомасштабної часової декомпозиції, що передбачає сегментацію на макро-, мезо- та мікрорівнях, проте не деталізовано механізми оцінки впливу кожного рівня сегментації на підсумкову якість сигналу.

4. У розділі 3 представлено метод аналізу та обробки ансамблів складних сигналів з використанням специфічних перетворень та оптимізованих фільтрів. Відомо, що ефективність таких методів може залежати від параметрів вибраних перетворень і їх чутливості до змін характеристик сигналу та рівня завад. Не зрозуміло, чи проводився у дослідженні аналіз стійкості алгоритму реалізації цього методу до таких змін, і не зрозуміло, які механізми передбачені для підтримання стабільності його роботи в різних умовах.

Слід відмітити, що зазначені зауваження не несуть принципового значення і не впливають на загальну позитивну оцінку теоретичного рівня та практичної значущості результатів дисертаційної роботи Бершова В. С.

**Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Бершова В'ячеслава Султанбековича на тему: «Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж» є завершеною науковою працею, присвяченою актуальним проблемам безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж, яка містить самостійні авторські дослідження, науково обґрунтовані теоретичні положення та практично адаптовані результати, що мають значну цінність для розвитку сучасних телекомунікаційних технологій.

Основним результатом теоретичних і експериментальних досліджень є розробка та вдосконалення методів формування ансамблів складних сигналів на основі гібридних підходів, що поєднують спектральний аналіз, статистичні та адаптивні алгоритми, що дозволило підвищити завадостійкість безпроводових телекомунікаційних мереж, а також точність та ефективність обробки сигналів в умовах динамічно змінюваного радіочастотного середовища.

Таким чином, дисертаційна робота Бершова В'ячеслава Султанбековича «Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж», відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», та вимогам Постанови № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженої Кабінетом Міністрів України від 12 січня 2022 р (зі змінами,

внесеними згідно з Постановою КМУ № 502 від 19.05.2023р.). Автор роботи, Бершов В. С. заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Телекомунікації та радіотехніка».

Офіційний опонент,
професор кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних технологій
Хмельницького національного університету
доктор технічних наук, професор Юлій БОЙКО

«14» 03 2025 р.

Підпис дійсний
Засвідчую
Начальник відділу кадрів
І.С. Мартинюк

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 11:04:05 14.03.2025

Назва файлу з підписом: VIDGUK_BOIKO_BERSHOV_2025_EP.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 594.0 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: VIDGUK_BOIKO_BERSHOV_2025_EP.pdf
Розмір файлу без підпису: 627.8 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: БОЙКО ЮЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ
П.І.Б.: БОЙКО ЮЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2789818815
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 10:04:03 14.03.2025
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000E8774101A1569205
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00