

ВІДГУК
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Перця Костянтина Геннадійовича
«Методи формування та реконструкції ансамблів складних сигналів в умовах
завад в телекомунікаційних системах», подану на здобуття наукового ступеня
доктора філософії,
галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»,
спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Актуальність напрямку дисертаційного дослідження.

Актуальність напрямку дисертаційного дослідження Перця К.Г. зумовлена необхідністю підвищення завадостійкості та точності відновлення сигналів у сучасних телекомунікаційних системах, що функціонують в умовах інтенсивного завадового впливу, обмеженого спектрального ресурсу та наявності нелінійних спотворень.

У сучасних умовах розвитку когнітивних телекомунікаційних мереж особливої важливості набуває задача формування та реконструкції ансамблів складних сигналів з керованими кореляційними та структурними характеристиками. Водночас існуючі методи обробки сигналів, як правило, не забезпечують узгодженого врахування нелінійних взаємодій спектральних компонент, що обмежує їх ефективність у складному завадовому середовищі.

У зв'язку з цим розробка нових методів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів на основі інтеграції нелінійного моделювання, керованої регуляризації та багатокритеріальної оптимізації є актуальним науково-прикладним завданням, що має важливе значення для підвищення ефективності функціонування сучасних телекомунікаційних систем.

Оцінка наукового рівня дисертації.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні та характеризується комплексним підходом до вирішення поставлених завдань.

У роботі використано сучасні методи математичного моделювання, обробки сигналів та оптимізації, що відповідають актуальним тенденціям розвитку телекомунікаційних технологій. Запропоновані підходи базуються на поєднанні нелінійного моделювання, регуляризації та багатокритеріальної оптимізації, що свідчить про глибоке розуміння предметної області.

Результати дослідження є теоретично обґрунтованими, експериментально підтвердженими та мають практичну спрямованість, що в сукупності визначає високий науковий рівень дисертаційної роботи.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі є достатньо обґрунтованими та достовірними.

Обґрунтованість результатів забезпечується використанням сучасного математичного апарату, зокрема методів нелінійного моделювання на основі рядів Вольтерра, керованої регуляризації та багатокритеріальної оптимізації з використанням множників Лагранжа, що відповідають сучасному рівню розвитку теорії обробки сигналів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується результатами експериментального моделювання, проведеного для різних типів сигналів (зокрема, які використовуються у стандартах 4G LTE та 5G NR) та широкого діапазону рівнів завад, що забезпечує узгодженість теоретичних положень із практичними результатами.

Логічна послідовність викладення матеріалу, коректність математичних перетворень, а також узгодженість отриманих результатів із відомими науковими підходами свідчать про надійність і відтворюваність сформульованих висновків.

Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є достовірними, аргументованими та придатними до практичного використання.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження

Наукова новизна отриманих у дисертаційній роботі результатів є обґрунтованою та полягає у наступному.

1. **Вперше** розроблено інтегрований метод формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у часово-частотній області, який поєднує спектральну реконструкцію на основі рядів Вольтерра, керовану нелінійну регуляризацію параметрів та багатокритеріальну оптимізацію з використанням множників Лагранжа, що забезпечує узгоджене формування ансамблів сигналів та підвищення стабільності їх відновлення в умовах завад.

2. **Удосконалено** підхід до реконструкції сигналів у частотній області на основі рядів Вольтерра шляхом введення керованої регуляризації спектра за функцією Джемана–Маклюра, що забезпечує ефективне пригнічення малозначущих спектральних компонент та збереження інформативних складових сигналу.

3. **Удосконалено** метод багатокритеріальної оптимізації формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у часово-частотній області на

основі множників Лагранжа, що дозволяє одночасно враховувати вимоги до точності відновлення, завадостійкості та ортогональності параметрів моделі.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційного дослідження

Практичні результати дисертаційного дослідження Перця К.Г. полягають у розробці алгоритмів та програмних засобів формування і реконструкції ансамблів складних сигналів, орієнтованих на використання в телекомунікаційних системах в умовах складного завадового середовища.

До основних практичних результатів слід віднести реалізацію інтегрованого методу формування та реконструкції сигналів у часово-частотній області, який забезпечує суттєве зниження похибки реконструкції (до 25–35 % у локальних ділянках) та підвищення завадостійкості сигналів у порівнянні з традиційними підходами.

Також важливим практичним здобутком є розробка алгоритмів спектральної реконструкції сигналів на основі рядів Вольтерра, що дозволяє враховувати нелінійні взаємодії спектральних складових та забезпечує підвищення точності відновлення сигналів (зменшення похибки до 15–20 %).

Окрему практичну цінність становить впровадження механізму керованої регуляризації та багатокритеріальної оптимізації параметрів реконструкції, що дозволяє адаптувати процес обробки сигналів до рівня завад і забезпечує істотне зменшення похибки відновлення (до 40–50 % в умовах інтенсивних завад).

Практично значущими є також результати розробки алгоритмів узгодженої локальної часової та глобальної частотної реконструкції сигналів, які забезпечують підвищення точності відновлення локальних структур сигналу без порушення глобальних спектральних властивостей, а також механізму адаптивного керування режимами реконструкції залежно від стану сигналу.

У сукупності отримані результати можуть бути використані для підвищення завадостійкості, точності реконструкції та надійності функціонування сучасних телекомунікаційних систем, зокрема когнітивних радіомереж.

Мова і стиль дисертації.

Мова дисертаційної роботи є науковою, чіткою та відповідає вимогам до оформлення наукових текстів. Виклад матеріалу здійснено логічно, послідовно та аргументовано із використанням усталеної термінології у галузі телекомунікацій та обробки сигналів.

Текст роботи характеризується достатнім рівнем наукової культури, відсутністю стилістичних та граматичних помилок, а також коректним використанням спеціалізованих термінів і позначень. Математичний апарат подано у загальноприйнятій формі, що забезпечує однозначність трактування результатів дослідження.

Загалом мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висуваються до наукових праць на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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

Дисертаційна робота Перця К.Г. має логічну, послідовну та завершену структуру, що забезпечує цілісне розкриття поставлених наукових завдань у межах спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 155 сторінок, з них 143 сторінки основного тексту. Робота містить 28 рисунків, 29 таблиць, список використаних джерел з 140 найменувань та додатків (А-Г).

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та задачі роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача і перелік наукових публікацій.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасних методів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів, визначено їх обмеження та обґрунтовано необхідність розробки інтегрованого підходу, що поєднує нелінійне моделювання, регуляризацію та багатокритеріальну оптимізацію.

Другий розділ присвячено розробці інтегрованого методу формування та реконструкції ансамблів сигналів у часово-частотній області на основі рядів Вольтерра, керованої регуляризації та багатокритеріальної оптимізації, що забезпечує узгоджене формування структури ансамблів і підвищення точності їх реконструкції в умовах завад.

У **третьому розділі** розроблено метод регуляризації та оптимізації параметрів реконструкції сигналів із використанням функції Джемана–МакКлюра та множників Лагранжа. Наведено результати експериментального дослідження ефективності запропонованих підходів на сигналах стандартів 4G LTE та 5G NR.

Четвертий розділ присвячено розробці методу узгодженої реконструкції сигналів у часовій та частотній областях, що забезпечує

поєднання глобальної спектральної та локальної часової обробки сигналів із підвищенням точності відновлення їх структури.

У **висновках** узагальнено основні результати дослідження, які підтверджують вирішення поставленого науково-технічного завдання.

За своїм змістом, структурою, обсягом, рівнем викладення матеріалу та оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам, встановленим нормативними документами Міністерства освіти і науки України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Повнота викладення наукових результатів та академічна доброчесність.

Повнота викладення наукових результатів дисертаційного дослідження є достатньою та відповідає встановленим вимогам.

Основні результати та наукові положення роботи опубліковано у 13 наукових працях, з яких 4 статті – у фахових наукових виданнях України, а 9 – у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій. Зміст публікацій повністю відповідає тематиці дисертаційної роботи та відображає її основні наукові результати. Особистий внесок здобувача полягає у розробці методів, моделей, алгоритмів та їх програмної реалізації, що чітко визначено у відповідних публікаціях.

Результати дослідження пройшли апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях, що підтверджує їх наукову значущість та актуальність.

Практична значущість отриманих результатів підтверджена актами впровадження у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту.

Анотація дисертаційної роботи відповідає її змісту, відображає основні наукові результати та не містить положень, відсутніх у тексті роботи. Виклад матеріалу у дисертації та наукових публікаціях є логічним, послідовним та супроводжується належними посиланнями на використані джерела.

Перевірка дисертаційної роботи та пов'язаних з нею публікацій не виявила ознак плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів, а також інших порушень принципів академічної доброчесності. Отримані результати є оригінальними та відповідають вимогам до наукових праць.

Зауваження та недоліки щодо змісту дисертації.

Позитивно оцінюючи рівень опрацювання наукових та методичних положень у дисертації, а також обґрунтованість висновків та практичну цінність отриманих результатів, при детальному аналізі роботи виникли певні питання та зауваження, зокрема:

1. У запропонованому методі спектральної реконструкції сигналів на основі рядів Вольтерра (розділ 2) недостатньо детально розглянуто питання впливу міжкомпонентних нелінійних взаємодій на появу додаткових спектральних складових. Потребує уточнення, чи враховується можливість виникнення паразитних гармонік та як це впливає на точність реконструкції сигналів.

2. У запропонованому методі реконструкції сигналів недостатньо детально розглянуто вплив структури спектрального представлення сигналу на ефективність відновлення. Зокрема, потребує уточнення, як змінюється точність реконструкції для сигналів із різною спектральною щільністю та розподілом енергії.

3. У розділі 3, де розглянуто багатокритеріальний підхід до оптимізації параметрів реконструкції, недостатньо висвітлено питання узгодження конфліктуючих критеріїв. Зокрема, потребує уточнення, яким чином забезпечується баланс між точністю реконструкції та завадостійкістю в процесі оптимізації.

4. У запропонованому методі інтегрованої спектральної реконструкції сигналів (розділ 4) недостатньо детально розглянуто питання узгодження часової дискретизації та частотної роздільної здатності. Потребує додаткового обґрунтування вплив параметрів часово-частотного представлення на точність відновлення сигналів та збереження їх структурних характеристик.

Наведені зауваження та недоліки мають дискусійний характер і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи Перця К.Г.

Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Перця К.Г. на тему «Методи формування та реконструкції ансамблів складних сигналів в умовах завад в телекомунікаційних системах» є самостійною завершеною науковою працею, що містить вагомий внесок у розвиток методів обробки сигналів та відзначається оригінальним комплексним авторським підходом у вирішенні науково-практичних завдань.

Результати, представлені здобувачем, отримані з використанням сучасного математичного апарату, зокрема методів нелінійного моделювання на основі рядів Вольтерра, керованої регуляризації спектра та

багатокритеріальної оптимізації з використанням множників Лагранжа, а також розроблених алгоритмів часово-частотної реконструкції сигналів. Запропоновані методи та алгоритми можуть бути використані як ефективні інструменти для підвищення точності реконструкції сигналів і завадостійкості телекомунікаційних систем, зокрема в умовах інтенсивного завадового впливу та нелінійних спотворень.

Отже, можна зробити висновок, що дисертаційна робота містить нове вирішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем шляхом розробки методів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів з урахуванням нелінійних взаємодій, регуляризації та багатокритеріальної оптимізації параметрів.

За своїм змістом та науковим рівнем дисертаційна робота задовольняє 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.), а її автор – Перець К. Г. заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Телекомунікації та радіотехніка».

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
науково-дослідної лабораторії
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
доктор технічних наук

Валерій СЛОБОДЯНЮК

«17» квітня 2026 р.