

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу ТУЛЕНКА Ігоря Михайловича
«Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних
сигналів в телекомунікаційних системах»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії,
спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»,
галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

1 Актуальність теми дисертації

У сучасних телекомунікаційних системах зростання кількості користувачів, обсягів передавання даних та щільності використання радіочастотного ресурсу підвищує вимоги до завадостійкості та якості приймання сигналів. При одночасному передаванні сигналів у спільному середовищі збільшення кількості користувачів супроводжується зростанням взаємних завад, тому виникає потреба у формуванні ансамблів складних сигналів достатнього об'єму із заданими характеристиками. Формування таких ансамблів вимагає одночасного врахування різних властивостей сигналів ансамблю та умов їх використання, оскільки збільшення об'єму ансамблю, зниження взаємної кореляції сигналів і забезпечення потрібних характеристик приймання мають враховуватися одночасно. Відомі підходи до формування ансамблів складних сигналів здебільшого орієнтовані на окремі показники та обмежують можливість керування процесами формування та оптимізації ансамблів з одночасним врахуванням різних властивостей сигналів. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробленні методів керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів, які забезпечують одночасне врахування різних властивостей сигналів та дають змогу підвищити завадостійкість телекомунікаційних систем.

Таким чином, дисертаційна робота на тему «Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів в телекомунікаційних системах», у якій розв'язується науково-технічне завдання підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем шляхом розроблення методів формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів, є актуальною.

2. Оцінка наукового рівня дисертації

Загальну теоретичну основу дисертаційної роботи становлять положення теорії сигналів. Робота відзначається послідовним підходом до розв'язання науково-технічного завдання підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем шляхом розроблення методів формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів.

На основі проведеного аналізу сучасних методів формування та оптимізації ансамблів складних сигналів було визначено обмеження відомих методів та для розв'язання поставленого науково-технічного завдання

запропоновано при керуванні процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів застосувати детерміновані перестановки сегментів сигналів в часовій області, спільно враховувати окремі властивості часової структури сигналів та використати еволюційний алгоритм з декомпозицією задачі.

З метою керування процесом формування ансамблів складних сигналів розроблено метод їх формування на основі детермінованих перестановок сегментів сигналів у часовій області. Для побудови сімейства детермінованих перестановок, заданих множиною параметрів зсуву, використано властивості низькодисперсних ґраткових послідовностей. У процесі формування ансамблю попередній відбір допустимих перестановок здійснювався на основі кореляційного аналізу сигналів, а параметр зсуву визначався за критерієм збалансованості. Розроблений алгоритм і програмну реалізацію запропонованого методу використано для проведення експериментальної оцінки його ефективності шляхом моделювання, за результатами якого одержано оцінки рівня бічних пелюсток автокореляційних функцій сигналів та об'єму сформованих ансамблів.

Для визначення детермінованої перестановки сегментів сигналу в часовій області під час формування сигналів ансамблю за критерієм структурної впорядкованості шляхом застосування положень теорії інформації та ентропійних методів аналізу часових рядів розроблено метод ентропійного оцінювання складних сигналів із спільним урахуванням окремих властивостей їх часової структури через узагальнений критерій структурної впорядкованості на основі перестановочної, вибіркової та нечіткої ентропії сигналів, отриманих для часових інтервалів різної тривалості. Розроблений алгоритм і програмну реалізацію запропонованого методу використано для проведення оцінки завадостійкості шляхом імітаційного моделювання з використанням статистичних методів обробки та аналізу одержаних результатів.

Підвищення швидкості збіжності та стійкості процедури багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів досягнуто удосконаленням методу багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму з декомпозицією задачі шляхом зміни ймовірності мутації залежно від значення оцінки структурної впорядкованості сигналів. Розроблений алгоритм і програмну реалізацію запропонованого методу використано для проведення експериментальної оцінки його ефективності шляхом імітаційного моделювання з використанням статистичних методів обробки та аналізу одержаних результатів.

У роботі чітко простежується логічний зв'язок між теоретичними положеннями, розробленими методами та результатами їх оцінювання. Одержані наукові результати щодо формування ансамблів, ентропійного оцінювання сигналів та багатокритеріальної оптимізації взаємопов'язані в межах розв'язання науково-технічного завдання і водночас мають окреме самостійне значення. Розроблення алгоритмів і програмних реалізацій запропонованих методів та дослідження одержаних шляхом математичного та імітаційного моделювання результатів, їх статистичний аналіз, свідчать про завершеність дослідження. Таким чином, взаємопов'язаність одержаних наукових результатів, їх окреме самостійне значення та завершеність дослідження підтверджують

цілісний характер дисертаційної роботи, належний науковий рівень розв'язання поставленого науково-технічного завдання та дисертації в цілому.

Загалом, дисертаційна робота відповідає сучасному рівню розвитку науки у галузі електроніки, автоматизації та електронних комунікацій, а наведені в ній результати дають підстави стверджувати, що здобувач оволодів методологією наукової діяльності.

3. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертаційної роботи забезпечується коректним застосуванням положень теорії сигналів, теорії інформації, кореляційного аналізу, ентропійних методів аналізу часових рядів, методів багатокритеріальної оптимізації та еволюційних алгоритмів, на основі яких розроблено методи формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів.

Достовірність наукових положень, результатів та висновків дисертаційної роботи підтверджується результатами математичного та імітаційного моделювання, кількісним порівнянням із відомими підходами та використанням статистичних методів обробки та аналізу одержаних результатів.

Таким чином, сукупність коректного застосування теоретичних положень і методів, результатів моделювання, кількісного порівняння та статистичного аналізу дає підстави вважати, що сформульовані в дисертації наукові положення, результати та висновки є достатньо обґрунтованими та достовірними.

4. Наукова новизна одержаних результатів

Одержані в роботі нові наукові результати полягають у:

1) удосконаленні методу формування ансамблю складних сигналів на основі перестановок сегментів сигналів, який відрізняється від відомих застосуванням детермінованих перестановок сегментів сигналів в часовій області на основі сімейства ґраткових послідовностей, заданих через параметр зсуву, відбором допустимих перестановок за кореляційними показниками та визначенням параметра зсуву за критерієм збалансованості, що забезпечує формування сигналів ансамблю за критерієм збалансованості та дає змогу відтворити множину сигналів ансамблю через множину значень параметра зсуву;

2) удосконаленні методу ентропійного оцінювання складних сигналів, який відрізняється від відомих спільним урахуванням окремих властивостей часової структури сигналів шляхом введення узагальненого критерію структурної впорядкованості на основі перестановочної, вибіркової та нечіткої ентропій сигналів, отриманих для часових інтервалів різної тривалості, що дозволяє визначити детерміновану перестановку сегментів сигналу в часовій області при формуванні сигналів ансамблю за критерієм структурної впорядкованості;

3) удосконаленні методу багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму з декомпозицією задачі, який відрізняється від відомих зміною ймовірності мутації залежно від значення оцінки структурної впорядкованості сигналів, що підвищує швидкість збіжності та стійкість процедури оптимізації.

Таким чином, представлені результати проведених здобувачем досліджень є науково обґрунтованими, новими та такими, що відповідають темі дисертації.

5. Практичне значення результатів дослідження

Практичне значення одержаних результатів дослідження полягає у:

1) розробленні алгоритму та програмної реалізації удосконаленого методу формування ансамблю складних сигналів на основі детермінованих перестановок сегментів сигналів в часовій області, заданих сімейством ґраткових послідовностей, що показало зниження пікового рівня бічних пелюсток автокореляційної функції на 51,2–82,1 % порівняно з багатофазними послідовностями Франка та на 12,3–27,4 % порівняно з методом перестановок сегментів сигналів у часовій області з енергетичною оптимізацією для сигналів із кількістю сегментів від 40 до 513;

2) розробленні алгоритму та програмної реалізації удосконаленого методу ентропійного оцінювання складних сигналів, що при формуванні сигналів ансамблю за критерієм структурної впорядкованості показало зниження ймовірності помилки виявлення сигналу на 41,7 % для сигналів із 257 сегментами при відношенні сигнал/шум 0 дБ та на 37,9 % для сигналів із 513 сегментами при відношенні сигнал/шум –5 дБ порівняно з методом перестановок сегментів сигналів у часовій області з енергетичною оптимізацією;

3) розробленні алгоритму та програмної реалізації удосконаленого методу багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму з декомпозицією задачі та зміною ймовірності мутації залежно від значення оцінки структурної впорядкованості сигналів, що показало підвищення швидкості збіжності на 30,77 % порівняно з відомих еволюційним алгоритмом з декомпозицією задачі та на 47,06 % порівняно з методом формування ансамблю складних сигналів на основі детермінованих перестановок сегментів сигналів.

Одержані в роботі результати впроваджено в навчальний процес для підготовки студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка».

6. Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційного дослідження повною мірою відображені у 10 наукових публікаціях, з яких 1 стаття опублікована у виданні, індексованому в наукометричній базі Scopus, 4 статті – у фахових наукових

виданнях України, а результати апробації представлено у 2 секційних доповідях та 3 тезах доповідей за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій. Зміст опублікованих праць відображає всі основні етапи розв'язання поставленого науково-технічного завдання.

За результатами оцінки публікацій здобувача та його особистого внеску у публікаціях, виконаних у співавторстві, встановлено, що результати, які належать здобувачу в опублікованих працях, у сукупності відповідають основним положенням і результатам дисертації, зокрема таким, як удосконалення методу формування ансамблів складних сигналів на основі перестановок сегментів сигналів, методу ентропійного оцінювання складних сигналів та методу багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму з декомпозицією задачі.

Таким чином, повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях відповідає встановленим вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

7. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам

Дисертаційна робота повністю відповідає освітньо-науковій програмі спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

Робота має логічно впорядковану структуру, що забезпечує послідовне розв'язання науково-технічного завдання і досягнення мети, та містить анотацію, зміст, перелік умовних позначень, вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел та додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет і задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію та публікації автора.

У першому розділі досліджено сучасний стан проблеми формування ансамблів складних сигналів, проаналізовано існуючі підходи до забезпечення їх кореляційних властивостей та оцінювання структурних характеристик, а також визначено напрями подальшого розвитку методів формування ансамблів сигналів.

У другому розділі розроблено метод формування ансамблів складних сигналів на основі детермінованих перестановок сегментів сигналів у часовій області та досліджено вплив параметрів формування на кореляційні характеристики і обсяг ансамблю сигналів.

Третій розділ присвячено розробленню методу ентропійного оцінювання складних сигналів із спільним урахуванням окремих властивостей їх часової структури через узагальнений критерій структурної впорядкованості на основі перестановочної, вибіркової та нечіткої ентропії сигналів, отриманих для часових інтервалів різної тривалості.

У четвертому розділі удосконалено метод багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму з декомпозицією задачі шляхом зміни ймовірності мутації залежно від значення

оцінки структурної впорядкованості сигналів та наведено результати експериментального дослідження ефективності запропонованих рішень.

У *загальних висновках* наведено результати проведеного дослідження і сформульовано основні наукові та практичні положення дисертаційної роботи.

Зміст дисертації характеризується логічною послідовністю викладення матеріалу та узгодженістю окремих етапів дослідження. Отримані результати пов'язані між собою та утворюють цілісну систему методів формування, оцінювання та оптимізації ансамблів складних сигналів.

Таким чином, послідовність викладення матеріалу, структура роботи, рівень одержаних результатів та оформлення дисертації відповідають встановленим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

8. Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності

За результатами ознайомлення з дисертаційною роботою та публікаціями ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації в дисертації чи публікаціях не виявлено. Дисертаційна робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

9. Зауваження до змісту та оформлення дисертації

Загалом дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, є завершеним дослідженням та має значну наукову і практичну цінність. Разом з тим, за змістом роботи доцільно висловити такі зауваження та побажання:

1. У другому розділі наведено результати формування ансамблів складних сигналів на основі детермінованих перестановок сегментів сигналів в часовій області, заданих сімейством ґраткових послідовностей, однак доцільно було б більш детально висвітлити, яким чином відбір допустимих перестановок за піковим та інтегральним рівнями бічних пелюсток автокореляційної функції впливає на взаємну кореляцію сигналів.

2. У третьому розділі для оцінки структурної впорядкованості використовуються перестановочна, вибіркова та нечітка ентропії сигналів, проте доцільно було б більш детально проаналізувати залежність вибору детермінованої перестановки сегментів сигналу від співвідношення між ваговими коефіцієнтами перестановочної, вибіркової та нечіткої ентропій сигналів.

3. У четвертому розділі наведено результати багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму з декомпозицією задачі та зміною ймовірності мутації залежно від значення оцінки структурної впорядкованості сигналів, однак доцільно було б окремо дослідити, якою мірою зміна ймовірності мутації впливає на швидкість збіжності та стійкість процедури оптимізації.

4. У четвертому розділі результати експериментальних досліджень наведено для випадку одночасної зміни параметра часової сегментації та відношення сигнал/шум, однак доцільно було б окремо дослідити вплив зміни

кожної з цих величин на швидкість збіжності та стійкість процедури оптимізації, що дало б змогу точніше встановити умови, за яких зберігаються одержані результати.

5. Результати експериментальних досліджень наведено в різних розділах роботи, тому їх додаткове узагальнення у виді відповідної таблиці сприяло б більш цілісному викладу отриманих результатів.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та не зменшують наукову новизну і практичну значущість одержаних результатів.

10. Висновок щодо відповідності дисертації чинним вимогам

Дисертаційна робота Туленка Ігоря Михайловича «Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів в телекомунікаційних системах»:

є завершеною науковою працею, яка розв’язує актуальне науково-технічне завдання підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем шляхом розроблення методів формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів, і містить нові науково обґрунтовані та достовірні результати проведених здобувачем досліджень, що відповідають темі дисертації та мають практичну значущість;

відповідає спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка», галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» та Вимогам до оформлення дисертації, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами);

рекомендується до захисту, а її автор, Туленко Ігор Михайлович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка», галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації».

Рецензент

доцент кафедри транспортного зв’язку
Українського державного університету
залізничного транспорту,
кандидат технічних наук, доцент

Олександр ЖУЧЕНКО

«____» _____ 2026 р.