ВІДГУК
офіційного опонента

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»

Актуальність напрямку дисертаційного дослідження.

Актуальність дисертаційної роботи Туленка І.М. обумовлена зростанням вимог до завадостійкості, спектральної ефективності та надійності функціонування сучасних телекомунікаційних систем в умовах дефіциту радіочастотного ресурсу, збільшення кількості користувачів та посилення рівня завадових впливів.

Незважаючи на значну кількість досліджень у галузі формування сигнальних ансамблів, питання комплексного врахування кореляційних, структурних та ентропійних характеристик сигналів під час вибору їх параметрів і подальшої оптимізації досі не отримали достатнього розвитку. Особливої актуальності набуває пошук підходів, які дозволяють узгоджено враховувати декілька критеріїв якості сигнальних ансамблів у межах єдиної процедури оцінювання та оптимізації.

У зв’язку з цим дисертаційне дослідження є актуальним, оскільки спрямоване на розвиток методів формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів, а отримані результати мають важливе значення для вдосконалення методів синтезу та оцінювання сигнальних ансамблів у сучасних телекомунікаційних системах.

Оцінка наукового рівня дисертації.

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні представляє собою завершене дослідження, присвячене вирішенню актуальної науково-технічної задачі підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем шляхом удосконалення методів формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів.

Позитивною рисою роботи є комплексний підхід до вирішення поставленої задачі. Автором послідовно виконано перехід від аналізу існуючих методів формування ансамблів до розроблення нових методів, математичних моделей та алгоритмів, а також їх експериментальної

верифікації. Запропоновані рішення охоплюють усі основні етапи роботи, а саме: формування, оцінювання структурних властивостей та оптимізацію характеристик сигнальних ансамблів.

Науковий рівень дисертації підтверджується використанням сучасного математичного апарату, зокрема методів кореляційного аналізу, теорії інформації, багатокритеріальної оптимізації, еволюційного моделювання та імітаційного експерименту. Отримані результати мають належне теоретичне обґрунтування, підтверджені результатами моделювання та характеризуються практичною спрямованістю.

Дисертаційна робота відповідає вимогам до наукових досліджень за рівнем постановки задач, глибиною їх опрацювання, ступенем обґрунтованості отриманих результатів та їх практичною значущістю для розвитку сучасних телекомунікаційних систем.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими та достовірними, що забезпечується узгодженістю поставленої мети, завдань дослідження, отриманих результатів та сформульованих висновків.

Достовірність результатів підтверджується експериментами для різних довжин сигнальних послідовностей, рівнів завад та параметрів формування ансамблів сигналів. Отримані залежності мають стійкий характер, а результати моделювання узгоджуються з теоретичними положеннями, наведеними в роботі.

Підтвердженням достовірності отриманих результатів є їх порівняння з відомими підходами до формування та оптимізації ансамблів складних сигналів. Наведені в дисертації результати обґрунтовують переваги запропонованих методів за кореляційними, ентропійними та інтегральними показниками оцінювання.

Висновки за розділами та загальні висновки дисертаційної роботи логічно випливають з результатів проведених досліджень, відповідають поставленим завданням та повною мірою відображають зміст отриманих наукових результатів.

Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, є аргументованими, достовірними та мають практичну цінність.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження

Наукова новизна дисертації полягає в розробці та обґрунтуванні нових методів формування, оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів у телекомунікаційних системах.

1. **Удосконалено** метод формування ансамблів складних сигналів на основі параметризованих перестановок часових сегментів, що забезпечує кероване формування сигнальних реалізацій з заданими кореляційними характеристиками та розширює можливості побудови масштабованих ансамблів сигналів.

2. **Удосконалено** метод ентропійного оцінювання ансамблів складних сигналів шляхом формування інтегрального критерію на основі сукупності ентропійних показників, що забезпечує узгоджене оцінювання структурної впорядкованості та кореляційних властивостей сигнальних ансамблів в умовах складного завадового середовища.

3. **Удосконалено** метод багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів шляхом поєднання еволюційних процедур пошуку з оцінюванням кореляційних та структурних характеристик сигналів, що забезпечує формування більш збалансованих конфігурацій ансамблів та підвищує ефективність пошуку раціональних рішень.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційного дослідження

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження Туленка І.М. полягає у розробленні алгоритмів, моделей та програмних реалізацій для формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів.

До основних практичних результатів слід віднести реалізацію методу формування ансамблів складних сигналів на основі параметризованих перестановок часових сегментів, який забезпечує розширення обсягу сигнальних ансамблів та зниження рівня взаємної кореляції між сигналами. Це створює передумови для підвищення ефективності розділення сигналів і зменшення рівня взаємних завад у системах множинного доступу.

Важливе практичне значення має розроблений в дисертації інтегральний ентропійний метод оцінювання ансамблів сигналів, який дозволяє здійснювати кількісне оцінювання їх структурної впорядкованості та обирати сигнальні реалізації з найбільш сприятливими кореляційними характеристиками в умовах завад.

Практичну цінність становлять також методи багатокритеріальної оптимізації ансамблів сигналів на основі еволюційних алгоритмів, які забезпечують узгоджене врахування кореляційних, енергетичних та структурних характеристик під час формування сигнальних ансамблів.

В сукупності, отримані результати дисертаційного дослідження можуть бути використані для проєктування та модернізації телекомунікаційних систем, у тому числі, спеціального призначення.

Мова і стиль дисертації.

Дисертація викладена у науковому стилі з дотриманням логіки викладення матеріалу та послідовності розкриття поставлених завдань. Формулювання основних положень, висновків і рекомендацій є чіткими та зрозумілими.

У роботі коректно використано термінологічний апарат у галузі телекомунікацій, теорії сигналів, кореляційного аналізу, теорії інформації та багатокритеріальної оптимізації. Використані поняття та визначення узгоджуються з сучасною науковою термінологією та не викликають неоднозначного трактування.

Стиль викладення характеризується належним рівнем наукової аргументованості, а подання математичних залежностей, алгоритмів та результатів експериментальних досліджень забезпечує цілісне сприйняття змісту дисертаційної роботи. Загалом мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висуваються до кваліфікаційних наукових праць.

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

Дисертаційна робота Туленка І.М. має логічну, послідовну та завершену структуру, що забезпечує цілісне розкриття поставлених наукових завдань у межах спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка».

Робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел на 136 найменувань та п’ять додатків. Загальний обсяг дисертації становить 162 сторінки, з них 148 сторінок основного тексту, у тому числі, 23 таблиці та 33 рисунки,

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 ансамблів складних сигналів та підходів до оцінювання їх кореляційних і структурних характеристик.

Другий розділ присвячено розробці методу формування ансамблів складних сигналів на основі параметризованих перестановок часових сегментів та дослідженню його кореляційних властивостей.

У **третьому розділі** розроблено інтегральний ентропійний метод оцінювання структурної впорядкованості ансамблів сигналів та досліджено його ефективність в складних завадових умовах.

Четвертий розділ присвячено розробці метода багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму та дослідженню його ефективності.

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.

Основні наукові результати дисертаційного дослідження достатньою мірою відображені у наукових публікаціях здобувача. За темою дисертації опубліковано 10 наукових праць, серед яких 1 стаття у виданні, що індексується наукометричною базою Scopus, 4 статті у фахових наукових виданнях України та 5 доповідей, які відображено в матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій. Публікації охоплюють основні результати дослідження та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Зміст опублікованих праць узгоджується з основними положеннями дисертації, відображає її наукову новизну, практичне значення та результати експериментальних досліджень. Анотація дисертації повною мірою відображає її зміст, основні наукові результати, висновки та положення, що виносяться на захист.

Під час ознайомлення з дисертаційною роботою та науковими публікаціями здобувача **порушень принципів академічної доброчесності не виявлено.** У роботі належним чином наведено посилання на використані джерела, а отримані результати мають характер самостійного наукового дослідження. Ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації або фальсифікації наукових результатів не встановлено.

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 другому розділі значну увагу приділено оцінюванню кореляційних характеристик сформованих ансамблів сигналів. Разом з тим доцільно було б більш детально узагальнити результати щодо взаємозв'язку між обсягом ансамблю та кореляційними показниками при різних довжинах сигнальних послідовностей, що дозволило б простежити закономірності для практичного застосування запропонованого методу.

2. У третьому розділі наведено результати ентропійного оцінювання ансамблів сигналів для різних умов моделювання. Разом з тим доцільно було б більш детально проаналізувати узгодженість результатів, отриманих за допомогою кореляційних та ентропійних показників, при виборі найкращих сигнальних реалізацій.

3. У четвертому розділі запропоновано метод багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного підходу. Разом з тим доцільно було б більш детально проаналізувати вплив окремих критеріїв оптимізації на вибір кінцевих рішень з фронту Парето.

4. У роботі наведено результати оптимізації ансамблів сигналів для різних умов моделювання. Водночас доцільно було б більш детально висвітлити вплив початкової популяції сигнальних реалізацій на результати еволюційного пошуку та швидкість досягнення збіжності алгоритму.

Наведені зауваження та недоліки мають дискусійний характер і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи Туленка І.М.

Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Туленка Ігоря Михайловича на тему «Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів в телекомунікаційних системах» є самостійною завершеною науковою працею, присвяченою розробці методів формування, ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем.

В результаті виконаних досліджень отримано нові наукові та практичні результати, пов’язані з розробленням методів формування ансамблів сигналів на основі параметризованих структурних перетворень часових сегментів, їх ентропійного оцінювання та багатокритеріальної оптимізації. Отримані

результати характеризуються науковою новизною, належним рівнем обґрунтованості, достовірністю та практичною цінністю.

Отримані результати розвивають науково-методичні засади формування та оптимізації ансамблів складних сигналів і створюють передумови для підвищення ефективності передачі та розділення сигналів у сучасних телекомунікаційних системах.

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 – Туленко І. М. заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Електронні комунікації та радіотехніка».

Офіційний опонент,
начальник Центру імітаційного
моделювання Національної академії
Національної гвардії України,
доктор технічних наук, професор Олександр ІОХОВ

«04» липня 2026 р.