

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Туленка Ігоря Михайловича на тему «Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів в телекомунікаційних системах», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка галузі знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Публічна презентація дисертації Туленка Ігоря Михайловича на тему «Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів в телекомунікаційних системах» відбулася на розширеному засіданні кафедри транспортного зв'язку, протокол № 14 від 2 червня 2026 р. На підставі обговорення дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації:

1. Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науково-дослідними роботами.

В сучасних умовах розвитку телекомунікаційних систем особливої актуальності набуває проблема забезпечення завадостійкості, ефективного використання радіочастотного ресурсу та підвищення пропускної здатності мереж. Необхідність розв'язання цієї проблеми зумовлена постійним зростанням кількості користувачів безпроводових мереж, збільшенням обсягів даних, розвитком когнітивних телекомунікаційних систем, технологій динамічного доступу до спектра, мереж п'ятого покоління та перспективних систем масового множинного доступу. За таких умов особливого значення набувають питання формування ансамблів складних сигналів з заданими кореляційними характеристиками, які забезпечують зменшення взаємних завад між сигналами, підвищення роздільності користувачів та ефективніше використання доступного частотного ресурсу.

Проблема ускладнюється тим, що збільшення обсягу ансамблів сигналів, необхідного для підтримки великої кількості одночасних користувачів, як правило, супроводжується зростанням взаємної кореляції між сигналами та підвищенням рівня бічних пелюсток кореляційних функцій. Це призводить до збільшення міжканальної інтерференції, погіршення якості приймання сигналів та зниження ефективності функціонування телекомунікаційних систем в умовах завадового середовища. Особливо гостро зазначена проблема проявляється в когнітивних телекомунікаційних системах, де необхідно забезпечувати одночасно високу спектральну ефективність, завадостійкість та можливість адаптації до змінних умов використання радіочастотного ресурсу.

Аналіз існуючих підходів показує, що відомі методи формування ансамблів складних сигналів, оцінювання їх структурних властивостей та оптимізації кореляційних характеристик здебільшого орієнтовані на розв'язання окремих задач і не забезпечують комплексного врахування взаємозв'язку між

структурою сигналу, його ентропійними характеристиками, взаємною кореляцією та можливостями подальшої оптимізації ансамблю. Крім того, існуючі підходи обмежено використовують потенціал часової організації сигналів як інструменту керування властивостями ансамблю.

У зв'язку з цим актуальним є науково-технічне завдання розробки методів формування, ентропійної оцінки та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів, які забезпечують зниження взаємної кореляції сигналів, підвищення структурної впорядкованості ансамблів та покращення показників завадостійкості телекомунікаційних систем в умовах складного заводового середовища.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Транспортний зв'язок» Українського державного університету залізничного транспорту.

Отримані в ході дисертаційного дослідження науково-практичні результати використовуються в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, що підтверджується відповідними актами впровадження, наведеними у додатку Б.

2. Мета, задачі та методи дослідження. Об'єкт та предмет дослідження.

Метою дисертаційного дослідження є розробка методів формування, ентропійної оцінки та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі їх структурної організації для підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішено такі основні задачі:

- проведено аналіз сучасних методів формування ансамблів складних сигналів та підходів до оцінювання їх кореляційних характеристик;
- удосконалено метод формування ансамблів складних сигналів на основі ЛПт-послідовностей та параметризованих перестановок часових інтервалів;
- розроблено алгоритм реалізації методу формування ансамблів сигналів і виконано його експериментальне дослідження;
- удосконалено ентропійно-орієнтований метод оцінювання структурної впорядкованості ансамблів складних сигналів;
- розроблено механізм вибору параметрів часової організації ансамблю на основі інтегрального ентропійного критерію;
- удосконалено метод багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів на основі еволюційного алгоритму MOEA/D;
- розроблено модифікований алгоритм E-LPT-MOEA/D та проведено експериментальну оцінку його ефективності.

Об'єктом дослідження є процеси формування та багатокритеріальної оптимізації ансамблів сигналів з урахуванням їх структурних властивостей в телекомунікаційних системах.

Предметом дослідження є методи та алгоритми формування, ентропійної оцінки та оптимізації ансамблів складних сигналів, а також їх кореляційні та структурні властивості.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач застосовано

методи математичного та структурного моделювання, теорії інформації, кореляційного аналізу, багатокритеріальної оптимізації, еволюційного моделювання, імітаційного моделювання та статистичної обробки результатів експериментальних досліджень.

3. Формування наукової проблеми, нове розв'язання якої отримано в дисертації.

В дисертації вирішено актуальну наукову проблему забезпечення узгодженого формування, оцінювання та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів у телекомунікаційних системах, яка була обумовлена доцільністю розробки науково-методичного апарату, який би дозволяв одночасно враховувати кореляційні, структурні та енергетичні характеристики сигналів під час формування ансамблів.

4. Наукові положення, розроблені особисто здобувачем, та їх новизна.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці та удосконаленні методів формування, ентропійної оцінки та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем. Найбільш важливі результати дослідження, що містять елементи наукової новизни, полягають у такому:

1. **Удосконалено** метод формування ансамблів складних сигналів за рахунок застосування ЛПт-послідовностей для формування індексної перестановки часових інтервалів, що, на відміну від існуючих підходів, забезпечує керовану варіативність ансамблю, рівномірне покриття простору перестановок та зниження взаємної кореляції сигналів при підвищенні масштабованості ансамблю в межах заданих кореляційних обмежень.

2. **Удосконалено** ентропійно-орієнтований метод оцінки структурної впорядкованості ансамблів складних сигналів шляхом введення єдиного інтегрального критерію, який поєднує показники перестановочної, вибіркової та нечіткої ентропії і, на відміну від існуючих підходів, забезпечує кількісну оцінку структурної стійкості ансамблів та дозволяє виявляти оптимальні параметри їх часової організації в умовах завад.

3. **Удосконалено** метод багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів у часовій області на основі модифікованого алгоритму МОЕА/D, який, на відміну від відомих підходів, враховує ЛПт-перестановки часових сегментів та ентропійні характеристики структури сигналів, що забезпечує узгодження процесу еволюційної оптимізації та підвищення структурної стійкості ансамблів.

5. Теоретичне і практичне значення результатів дослідження.

В дисертаційній роботі отримано нове рішення науково-технічного завдання підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем шляхом розробки методів формування, ентропійної оцінки та багатокритеріальної оптимізації ансамблів складних сигналів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці алгоритмів, програмних реалізацій та механізмів, а саме:

- на основі порівняльного аналізу сучасних методів обґрунтовано підходи до формування ансамблів складних сигналів та оцінювання їх кореляційних і структурних характеристик у телекомунікаційних системах;

- розроблено алгоритм та програмну реалізацію формування ансамблів сигналів у часовій області на основі ЛПт-перестановок часових інтервалів;

- реалізовано механізм кореляційно-критеріального відбору сигнальних реалізацій для формування ансамблів із заданими характеристиками;

- розроблено алгоритм та програмну реалізацію інтегрального ентропійного методу оцінювання структурної впорядкованості ансамблів сигналів;

- реалізовано механізм вибору параметрів часової організації ансамблю на основі інтегрального ентропійного критерію;

- розроблено алгоритм та програмну реалізацію методу багатокритеріальної оптимізації ансамблів сигналів на основі модифікованого еволюційного алгоритму E-LPT-MOEA/D;

- реалізовано ентропійно-орієнтований механізм керування процесом еволюційної оптимізації для формування ансамблів сигналів із заданими кореляційними та структурними характеристиками.

Отримані результати підтверджують теоретичну і прикладну цінність запропонованих в дисертаційній роботі методів, моделей та алгоритмів.

6. Використання результатів дисертаційної роботи.

Науково-практичні результати дисертації впроваджено в навчальний процес УкрДУЗТ при викладанні дисциплін: «Системи керування в телекомунікаціях» та при виконанні бакалаврських дипломних робіт (Додаток Б).

7. Повнота викладення матеріалів дисертації у публікаціях та персональний внесок в них здобувача.

Дисертаційна робота є результатом самостійним науково-прикладним дослідженням автора. Результати дисертаційного дослідження, що складають наукову новизну та виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно.

З наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертації використано лише ті положення, ідеї та висновки, які є результатом особистої роботи автора, і вказані в переліку публікацій.

Основні положення та висновки дисертаційної роботи викладено у 10 наукових публікаціях, з яких: 1 стаття у виданні, індексованому в базі даних Scopus, 4 статті – у фахових наукових виданнях України, у 2-х секційних доповідях та 3 тезах доповідей за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій. У публікаціях повною мірою відображено наукову новизну, основні положення та практичні результати дисертації.

**Список публікацій здобувача Туленка І.М. за темою дисертації:
Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати:**

1. Bondar, A. V., Shumilin, H. O., Ahamova, R. H., Tulenko, I. M. (2023). Planning of experimental research in the formation of reinforcing protective coatings. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації, 19(26). <https://doi.org/10.54858/dndia.2023-19-23> (особистий внесок: Туленко І.М. – математична модель; Bondar A.V. – запропонований метод дослідження; Shumilin H.O. – експериментальні дослідження; Аhamova R.H. – програмна реалізація та підготовка публікації).
2. Mahdi, Q. A., Shyshatskyi, A., Tulenko, I., Voznytsia, A., Plekhova, G., Shostak, S., Semko, R., Zheliezniak, D., Momit, A., & Sova, M. (2025). Development of a method for increasing the efficiency of processing different types of data in organizational and technical systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(4 (134), 23–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.325102>. (Scopus). (особистий внесок: Mahdi Q.A. – запропонований метод, координація роботи групи; Туленко І.М. – математична модель; Shyshatskyi A. – постановка задачі; Voznytsia A., Plekhova G. – програмна реалізація; Shostak S., Semko R., Zheliezniak D., Momit A., Sova M. – експериментальне моделювання);
3. Tulenko I., Shevchenko O. (2025) Entropy-based evaluation method of signal ensembles using LPT- τ permutations and Markov models// Computer-integrated technologies: education, science, production. Telecommunications and radio engineering/Lutsk National Technical University. – Lutsk. – 2025. (№61), P.P.300-310, <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-61-39>. (особистий внесок: Туленко І.М. – метод на основі LPT- τ -перестановок; Шевченко О.О. – метод на основі марківської моделі).
4. Tulenko I. M., Komar O.M. (2025) Time-domain formation of signal ensembles using LPT- τ -sequences. – National Aviation University. Science-intensive Technologies. Series: «Electronics, telecommunications and radio engineering», Kyiv, 2025. Vol. 68, № 4, PP. 543-552, <https://doi.org/10.18372/2310-5461.68.20739> (особистий внесок: Туленко І.М. – метод формування ансамблів сигналів на основі LPT- τ -послідовностей, Комар О.М. – аналіз результатів та підготовка публікації).
5. Tulenko I. M., Indyk S.V. Method for Multi-Objective Optimization of Complex Signal Ensembles Based on the Evolutionary Algorithm E-LPT-MOEA/D// SISIOT (Security of Infocommunication Systems and Internet of Things), Vol.3, No.2 (Dec.2025), P. 02014//Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovych. <https://doi.org/10.31861/sisiot2025.2.02014>. (особистий внесок: Туленко І.М. – метод багатокритеріальної оптимізації E-LPT-MOEA/D та математична модель; Індик С.В. – наукове консультування, аналіз результатів).

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Туленко І.М., Індик С.В., Свищов М.Ю. Удосконалення методу формування ансамблів складних сигналів у часовій області за рахунок LPT- τ – послідовностей// Тези доповіді за матеріалами 38 Міжнародної науково-

практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». 9-10 жовтня 2025 року. – С. 85 (форма участі – секційна доповідь); (особистий внесок: Туленко І.М. Удосконалений метод формування ансамблів сигналів; Індик С.В. – аналіз результатів; Свищов М.Ю. – програмна реалізація).

7. Tulenko I., Shevchenko O. Method for integrated assessment of structural stability of complex signal ensembles using entropy-based analysis//Innovative Research in Science and Economy: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. Brussels, Belgium. April 1-3, 2026., SECTION: TECHNICAL SCIENCES, P.P. 368-371, (форма участі – публікація тез доповіді); (особистий внесок: Туленко І.М. – метода та модель: Шевченко О.О. – програмна реалізація).

8. Tulenko I., Indyk S. Method for entropy-weighted updating of weighting coefficients in a genetic algorithm for optimization of complex signal ensembles in cognitive telecommunication systems// Application of Information Technologies in Training and Operations of Security and Defense Forces: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (March 17, 2026, Kharkiv, Ukraine). – Kharkiv: Nat. Acad. of the Nat. Guard of Ukraine, 2026, p.371-372, (форма участі – публікація тез доповіді): (особистий внесок: Туленко І.М. – ентропійно-зваженого коригування коефіцієнтів генетичного алгоритму; Індик С.В. – наукове консультування).

9. Tulenko I., Indyk S. Entropy-based evaluation method of signal ensembles using permutations //XXII міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 08 – 09 квітня 2026 року. – Х.: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2026, с. 420, (форма участі: секційна доповідь); (особистий внесок: метод ентропійного оцінювання ансамблів сигналів; Індик С. – аналіз результатів та підготовка публікації).

10. Туленко І.М, Індик С.В. Формування ансамблів складних сигналів для когнітивних телекомунікаційних систем в умовах заводового середовища // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів 14-15 травня 2026). Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Issue 31 P.568, (форма участі – публікація тез доповіді): (особистий внесок: метод формування ансамблів складних сигналів для когнітивних телекомунікаційних систем; Індик С.В. – аналіз результатів та наукове консультування).

8. Апробація результатів дослідження.

Основні наукові положення і результати дослідження пройшли апробацію на 5 науково-практичних конференціях, а саме:

– 38 міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 9-10 жовтня 2025 (форма участі – секційна доповідь);

– 4th International Scientific and Practical Conference «Innovative Research in Science and Economy». Brussels, Belgium, April 1–3, 2026 (форма участі – публікація тез доповіді);

– Міжнародна науково-практична конференція «Application of Information Technologies in Training and Operations of Security and Defense Forces». Харків: Національна академія Національної гвардії України, 17 березня 2026 року (форма участі – публікація тез доповіді);

– XXII міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору». Харків, 8–9 квітня 2026 року (форма участі – секційна доповідь);

– Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ». Львів: Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 14–15 травня 2026 року (форма участі – публікація тез доповіді).

9. Оцінювання відповідності дисертації принципам академічної доброчесності.

Текст дисертаційної роботи Туленка Ігоря Михайловича пройшов перевірку на наявність текстових запозичень із використанням академічної системи з антиплагиату – StrikePlagiarism.com. За результатами перевірки не виявлено ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів дослідження. Використані в дисертації наукові положення, результати досліджень, ідеї та цитування інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела. Дисертаційна робота Туленка Ігоря Михайловича на тему «Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів в телекомунікаційних системах» відповідає принципам академічної доброчесності.

11. Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційне дослідження складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 148 сторінок основного тексту, у тому числі, 23 таблиці та 33 рисунки, 136 найменувань – у списку використаних джерел, 5 Додатків (А-Д). Загальний обсяг дисертаційної роботи займає 162 сторінки.

12. Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертаційна робота викладена державною мовою з дотриманням норм сучасної української наукової мови. Спільне викладення матеріалу є логічним, послідовним та аргументованим, а використаний термінологічний апарат відповідає предметній області дослідження. Текст дисертації характеризується належним рівнем наукової культури, чіткістю формулювань та коректністю подання результатів дослідження, що відповідає вимогам до кваліфікаційних наукових праць.

13. Загальний висновок.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Туленка Ігоря Михайловича відповідає спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка галузі знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283) та вимогам «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 року № 44 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2022 року № 341, а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40.

Дисертація Туленка Ігоря Михайловича на тему «Методи керування процесами формування та оптимізації ансамблів складних сигналів в телекомунікаційних системах», може бути рекомендована до подання та захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Головуючий на засіданні:
професор кафедри транспортного зв'язку
Українського державного університету
залізничного транспорту,
д.т.н., професор



Микола ШТОМПЕЛЬ

Секретар:
доцент кафедри транспортного зв'язку
к.т.н., доцент

Олександр ЖУЧЕНКО