

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. ректора

Українського державного університету

залізничного транспорту,

д.т.н., професор

Сергій ПАНЧЕНКО

березня 2026 р.



**ВИСНОВОК**

Українського державного університету залізничного транспорту про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Перця Костянтина Геннадійовича на тему «Методи формування та реконструкції ансамблів складних сигналів в умовах завад в телекомунікаційних системах», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка  
з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації

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

В сучасних умовах розвитку телекомунікаційних систем особливої актуальності набуває проблема підвищення завадостійкості та забезпечення надійності формування і реконструкції ансамблів складних сигналів. Необхідність розв'язання цієї проблеми зумовлена зростанням вимог до ефективності використання радіочастотного ресурсу, якості передавання інформації, стійкості до завадових впливів, а також до збереження структурних і кореляційних властивостей сигналів у складних умовах функціонування телекомунікаційних систем. Особливої значущості зазначені питання набувають в умовах щільного спектрального використання, обмеженості частотного ресурсу, наявності адитивних і неадитивних завад, а також нелінійних спотворень, які істотно ускладнюють процеси формування, обробки та відновлення сигналів.

Ефективне функціонування телекомунікаційних систем за таких умов потребує застосування нових методів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів, здатних враховувати часові, частотні та нелінійні особливості сигналів, а також характер впливу завадового середовища на їх параметри. Аналіз існуючих підходів свідчить, що відомі методи формування сигналів, спектральної реконструкції та оптимізації параметрів у більшості випадків орієнтовані на часткове розв'язання окремих задач і не забезпечують достатньої ефективності в умовах високої розмірності параметрів, інтенсивних завад і наявності нелінійних взаємодій між спектральними складовими. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці інтегрованого підходу, який поєднує методи спектральної реконструкції, керованої регуляризації та багатокритеріальної оптимізації для забезпечення узгодженого формування ансамблів складних сигналів і підвищення стійкості їх відновлення.

Таким чином, актуальним є науково-технічне завдання розробки методів, моделей і алгоритмів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у часово-частотній області, які забезпечують підвищення завадостійкості, збереження кореляційно-структурної узгодженості сигналів та підвищення точності їх відновлення в умовах складного завадового середовища.

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

Отримані в ході дисертаційного дослідження науково-практичні результати застосовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, про що свідчать наведені в Додатку Б акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

## **2. Мета і задачі дослідження.**

У дисертаційній роботі визначено мету дисертаційного дослідження, якою є підвищення завадостійкості ансамблів складних сигналів шляхом розробки методів їх формування та відновлення з урахуванням нелінійних взаємодій, спектральної реконструкції та багатокритеріальної оптимізації в умовах завадового середовища.

Для досягнення зазначеної мети здобувачем було поставлено та виконано наступні часткові задачі дослідження.

1. Провести аналіз сучасних методів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у заводовому нелінійному середовищі та обґрунтувати доцільність застосування інтегрованого підходу до їх формування та відновлення в часово-частотній області.

2. Розробити інтегрований метод формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у часово-частотній області з урахуванням нелінійних взаємодій на основі рядів Вольтерра, який забезпечує узгодження характеристик ансамблів складних сигналів в складних заводових умовах.

3. Розробити метод керованої регуляризації спектра за функцією Джемана-Маклюра в межах реконструкції сигналів у частотній області на основі рядів Вольтерра та визначити його вплив на пригнічення малозначущих і збереження інформативних спектральних компонент.

4. Розробити алгоритм та програмну реалізацію поетапної спектральної реконструкції сигналів у заводовому середовищі з урахуванням нелінійних взаємодій на основі рядів Вольтерра та виконати експериментальну оцінку точності відновлення.

5. Удосконалити метод багатокритеріальної оптимізації параметрів реконструкції ансамблів складних сигналів у частотно-часовій області з використанням множників Лагранжа для одночасного забезпечення мінімізації похибки відновлення, підвищення заводостійкості та дотримання ортогональності параметрів моделі.

6. Розробити та реалізувати механізм керованого узгодження регуляризації та оптимізації параметрів реконструкції (на основі функції Джемана-Маклюра та множників Лагранжа) та дослідити його ефективність при різних завадах.

7. Розробити алгоритм та програмну реалізацію узгодженої локальної часової та глобальної частотної реконструкції сигналів, а також виконати експериментальну оцінку ефективності запропонованого підходу.

### **3. Наукові положення, розроблені особисто здобувачем, та їх новизна.**

Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційному дослідженні, базується на запропонованих методах, які забезпечують підвищення завадостійкості ансамблів складних сигналів.

Об'єктом дослідження є процес формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у телекомунікаційних системах в умовах складного заводового середовища.

Предмет дослідження – методи, моделі та алгоритми формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у часово-частотній області.

Положення, що виносяться на захист та є науковими результатами, дисертаційної роботи є наступні:

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

2. **Удосконалено** метод реконструкції сигналів у частотній області на основі рядів Вольтерра за рахунок введення регуляризації спектра за функцією Джемана-Маклюра, яка забезпечує вибіркоче пригнічення малозначущих складових спектра та збереження інформативних складових спектра під час формування ансамблів складних сигналів.

3. **Удосконалено** метод багатокритеріальної оптимізації формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у частотно-часовій області на основі множників Лагранжа, що забезпечує одночасну мінімізацію похибки відновлення, підвищення завадостійкості та підтримання ортогональності спектральних параметрів моделі.

4. **Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.**

Дисертаційна робота здобувача Перця К.Г. є завершеною науковою працею, яка виконувалась протягом 2022-2026.

Наукові положення, висновки та рекомендації сформульовано і обґрунтовано на основі отриманих результатів дисертаційного дослідження та експериментально підтверджено. Зокрема, при виконанні дослідження використано значний обсяг сучасних літературних джерел, значна кількість яких є авторитетними науковими публікаціями, що індексуються наукометричними базами Scopus, WoS та інші.

**Методи дослідження.** Для розв'язання задач, поставлених у дисертаційній роботі, застосовано методи спектрального та часово-частотного аналізу сигналів – для формування та реконструкції ансамблів складних сигналів; методи нелінійного моделювання на основі рядів Вольтерра – для опису нелінійних взаємодій спектральних складових; методи регуляризації та багатокритеріальної оптимізації з використанням множників Лагранжа – для зменшення похибки та забезпечення узгодженості параметрів реконструкції; методи чисельної оптимізації та імітаційного моделювання – для верифікації працездатності запропонованих алгоритмів; а також статистичні методи – для оцінювання точності та стійкості реконструкції сигналів в умовах завад.

Комплексне використання зазначених методів забезпечило обґрунтованість і достовірність отриманих результатів.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів дисертації підтверджується апробацією на фахових конференціях та семінарах, публікацією в рецензованих наукових виданнях та актом впровадження в навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту).

## **5. Теоретичне і практичне значення результатів дисертаційного дослідження**

У дисертаційній роботі отримано нове рішення науково-технічної задачі з розробки та вдосконалення методів формування та реконструкції ансамблів

складних сигналів у часово-частотній області, спрямованих на підвищення завадостійкості та забезпечення кореляційно-структурної узгодженості сигналів на основі спектральної реконструкції, керованої регуляризації та багатокритеріальної оптимізації в умовах складного завадового середовища.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у розробці алгоритмів та механізмів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів, придатних для застосування в телекомунікаційних системах в складних завадових умовах, а саме:

- на основі порівняльного аналізу сучасних методів спектральної та часово-частотної реконструкції сигналів обґрунтовано доцільність впровадження інтегрованого підходу до формування і реконструкції ансамблів складних сигналів;

- розроблено алгоритм та програмну реалізацію інтегрованого методу формування та реконструкції ансамблів складних сигналів у частотно-часовій області, який забезпечує локальне зменшення похибки в діапазоні 25-35 % порівняно з базовою частотною реконструкцією без локального узгодження та підвищує завадостійкість ансамблів сигналів у телекомунікаційних системах;

- розроблено алгоритм і програмну реалізацію поетапної спектральної реконструкції сигналів у завадових умовах з урахуванням нелінійних взаємодій на основі рядів Вольтерра, що забезпечує зменшення абсолютної похибки реконструкції в діапазоні 15,2-20,6 % та, як наслідок, підвищення стійкості відновлення сигналів при переході від моделі першого до другого порядку;

- реалізовано механізм керованої регуляризації та оптимізації параметрів реконструкції, який для стандартів 4G LTE та 5G NR забезпечує зменшення похибки відновлення сигналів у діапазоні 10-15 % за помірних та до 40-50 % за інтенсивних завад порівняно з некерованими або безобмежувальними методами оптимізації, що свідчить про підвищення завадостійкості процесу реконструкції ансамблів складних сигналів;

– розроблено алгоритм та програмну реалізацію узгодженої локальної часової та глобальної частотної реконструкції сигналів, що забезпечує керований перехід між режимами обробки залежно від стану сигналу та зменшення локальної похибки відновлення у критичних часових ділянках зі зростанням коефіцієнта локальної відповідності на 10,4-14,5 % і зменшенням локальної середньоквадратичної похибки на 19,8-29,3 % без порушення узгодженості результатів реконструкції;

– реалізовано механізм керування режимами реконструкції на основі індикатора локальної нестабільності та вагового поєднання моделей, який забезпечує вибіркове залучення локальної часової реконструкції лише в зонах деградації сигналу з керуванням її внеском до 70-85 %, що дозволяє зберігати узгоджені властивості ансамблів сигналів під час реконструкції.

У сукупності отримані практичні результати забезпечують керовану реконструкцію ансамблів складних сигналів у заводових умовах з збереженням їх структурних та кореляційних властивостей, що підвищує заводостійкість та надійність роботи телекомунікаційних систем.

## **6. Апробація результатів дослідження.**

Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження апробовано на конференціях:

– 36 Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 16-17 листопада 2023 р.;

– 37 Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 10-11 жовтня 2024 р.;

– XII Міжнародна науково-практична конференція «Людина, суспільство, комунікативні технології», Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 25 жовтня 2024 р.;

– I міжвузівська наукова конференція «Стан та перспективи розвитку інфокомунікацій в сучасних умовах», Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, м. Харків, 22 листопада 2024 р;

– XXI Міжнародна наукова конференція «Новітні технології для захисту повітряного простору», Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, м. Харків, 9-10 квітня 2025 р.;

– 38 Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 9-10 жовтня 2025 р;

– Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ», Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, 14-15 травня 2025 р.

– Міжнародна наук.-практична конференція «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку», Національна академія Національної гвардії України. 27 березня 2025 р;

– X International Scientific and Practical Conference Physical and Technological Problems of Transmission, Processing, and Storage of Information in Infocommunication Systems (May 15-17). Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovych, Issue P.105-106.

## **7. Повнота викладення основних наукових результатів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.**

Дисертаційна робота є результатом самостійним науково-прикладним дослідженням автора. Результати дисертаційного дослідження, що складають наукову новизну та виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно. Науково-практичні результати, отримані в даного дисертаційного дослідження опубліковано у 13 наукових працях: 4 статтях у фахових виданнях України та відображено у 9 публікаціях за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій.

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати:*

1. Perets K., Lysechko V., Komar O. (2024) Modeling Nonlinear Signal Components Based on Volterra Series in the Frequency Domain during Spectral Reconstruction. Computer-integrated technologies: education, science, production. Telecommunications and radio engineering/ Lutsk National Technical University. - Lutsk. - 2024. № 57, С.192-201. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-57-23>.

2. Perets K., Komar O., (2025) Optimization method using Lagrange multipliers to ensure conditions of orthogonality and stability of signal reconstruction. - Національний авіаційний університет. Наукоємні технології, «Електроніка, телекомунікації та радіотехніка», Київ, 2025. Том. 65, № 1, С. 69-76, <https://doi.org/10.18372/2310-5461.65.19927>.

3. Perets K., Komar, O. (2025) Assessment of the impact of sparsity and Geman-Mcclure regularization on signal reconstruction accuracy// National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». Control, Navigation and Communication Systems, Vol. 2, № 80 (2025), P.P. 239-243, <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2025.2.239>.

4. Perets, K., & Zhuchenko O. (2025). Method of localized signal reconstruction in dynamic environments based on modified Volterra series// Computer-integrated technologies: education, science, production/ Lutsk National Technical University. - Lutsk. - 2025. (№59), P.P. 313-321. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-39>.

*Опубліковані праці, апробаційного характеру*

5. Perets K.G., Zhuchenko O.S. The method of stepwise hybrid time segmentation based on bandpass filtering with time-frequency adaptation// Тези доповіді за матеріалами 37 міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». – Харків: УкрДУЗТ, 10-11 жовтня 2024. – С. 54-55.

6. Перець К.Г., Жученко О.С. Розробка методу поетапної спектральної реконструкції сигналів// Тези доповіді XII міжнародної науково-практичної

конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» – Харків: УкрДУЗТ, 25 жовтня 2024. – С.198-200.

7. Lysechko V.P., Perets K.H. Spectral reconstruction method with adaptive filtering //Тези доповіді за матеріалами I міжвузівською наукової конференції «Стан та перспективи розвитку інфокомунікацій в сучасних умовах». – Харківський національний університет повітряних сил ім. І. Кожедуба. – Харків: 22 листопада 2024. – С. 88-89.

8. Perets K., Sadovnykov B., Zhuchenko O., Overview of state-of-the-art image object detection and classification approaches// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доповідей та виступів учасників 36-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». – 2023. – № 3 (додаток). – С. 9-10.

9. Perets K.H., Lysechko V.P. Modeling nonlinear signal components based on Volterra series in the frequency domain during spectral reconstruction// XXI Міжнародна наукова конференція «Новітні технології для захисту повітряного простору». Харківський національний університет повітряних сил ім. І. Кожедуба. Харків: 9 – 10 квітня 2025 року. С. 333.

10. Shevchenko O., Perets K., Lysechko V. Expanding approaches to the evaluation of signal correlation properties in cognitive networks// Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» (27 березня 2025 р.). Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, Р.Р. 11-12.

11. Перець К.Г., Жученко О.С., Комар О.М. Адаптивна реконструкція сигналів у динамічних середовищах на основі локалізованих рядів Вольтерра // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів 14-15 травня 2025). Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – Львів: НАСВ, 2025, С. 82.

12. Lysechko V.P., Peretc K.H., Komar O., Veklych O. Comparative analysis of optimization methods for complex signal ensembles: approximation, differential evolution, and linear and nonlinear optimization // X International Scientific and Practical Conference Physical and Technological Problems of Transmission, Processing, and Storage of Information in Infocommunication Systems (May 15-17). Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovych, Issue P.105-106.

13. Перець К.Г., Жученко О.С. Метод моделювання ансамблів складних сигналів на основі рядів Вольтерра для когнітивних телекомунікаційних систем//Тези доповіді за матеріалами 38 Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно- керуючі системи на залізничному транспорті». 9-10 жовтня 2025 року. – С.82-83.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в постановці задачі дослідження, розробці математичних моделей, методів і алгоритмів формування та реконструкції ансамблів складних сигналів, проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, аналізі та інтерпретації отриманих результатів, а також підготовці текстів публікацій.

В роботах [1, 9] здобувачем здійснено моделювання нелінійних спектральних складових сигналів на основі рядів Вольтерра у частотній області, формалізовано вплив нелінійних взаємодій на процес спектральної реконструкції та проведено чисельний аналіз точності відновлення сигналів; [2] – запропоновано метод оптимізації параметрів реконструкції ансамблів складних сигналів з використанням множників Лагранжа, сформульовано умови ортогональності та стійкості спектральних параметрів моделі; [3] – виконано кількісну оцінку впливу розрідженості спектра та регуляризації за функцією Джемана-Маклюра на точність реконструкції сигналів у заводових умовах; [4] – розроблено метод локалізованої реконструкції сигналів у динамічних середовищах на основі модифікованих рядів Вольтерра та проведено експериментальну перевірку його ефективності; [5, 6, 11, 13] – представлено поетапні та адаптивні методи спектральної реконструкції сигналів, а також

підходи до формування ансамблів складних сигналів з урахуванням нелінійних і завадових впливів; [7, 10, 12] – проведено аналіз та порівняльну оцінку методів оптимізації, фільтрації та оцінювання кореляційних властивостей ансамблів складних сигналів у телекомунікаційних і когнітивних радіосистемах; [8] – виконано огляд сучасних підходів до аналізу та обробки складних сигналів і даних, що використано для формування загальної методологічної основи дисертаційного дослідження.

### **8. Загальний висновок.**

Дисертаційна робота Перця Костянтина Геннадійовича на тему «Методи формування та реконструкції ансамблів складних сигналів в умовах завад в телекомунікаційних системах», є оригінальним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що стосується актуальної проблематики та містить авторські методи щодо розв'язання теоретичних та практичних завдань по підвищенню завадостійкості ансамблів складних сигналів.

Основні положення, висновки та рекомендації дисертаційного дослідження містять елементи наукової новизни, є повністю обґрунтованими та науково-практично аргументованими та отримали апробацію на наукових та науково-практичних конференціях. Всі наукові положення та отримані результати дослідження знайшли відображення в наукових публікаціях здобувача. Зміст дисертації відповідає визначеній меті. Поставлені здобувачем наукові завдання вирішені в повній мірі та науково обґрунтовані. Мету дослідження досягнуто.

Роботу виконано у відповідності до вимог академічної доброчесності. Ознак академічного плагіату не виявлено. Дисертаційне дослідження виконане державною мовою.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Перця Костянтина Геннадійовича відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації 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 Перця Костянтина Геннадійовича на тему «Методи формування та реконструкції ансамблів складних сигналів в умовах завад в телекомунікаційних системах», може бути рекомендована до подання та захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Головуючий:

В.о. ректора Українського  
державного університету  
залізничного транспорту,  
д.т.н., професор

Сергій ПАНЧЕНКО

Декан факультету  
інформаційно-керуючих  
систем та технологій,  
доцент кафедри автоматки та  
комп'ютерного телекерування  
рухом поїздів, к.т.н., доцент

Сергій ЗМІЙ