

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. ректора

Українського державного університету
залізничного транспорту,

д.т.н., професор

Сергій ПАНЧЕНКО

жовтня 2025



ВИСНОВОК

Українського державного університету залізничного транспорту
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації

Садовникова Бориса Ігоровича на тему «Методи класифікації нелінійно
змінюваних образів у відеопотоці в умовах складної завадової обстановки»,
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.

У сучасних умовах розвитку телекомунікаційних технологій важливого значення набуває проблема забезпечення надійності, швидкодії та адаптивності систем автоматичного розпізнавання візуальних образів, зокрема в режимі реального часу. Актуальність цього напряму зумовлена стрімким зростанням обсягів відеоданих, необхідністю їх обробки у розподілених телекомунікаційних середовищах і підвищеними вимогами до роботи таких систем в умовах обмежених ресурсів та впливу зосереджених завад.

Сучасні методи комп'ютерного зору, засновані на згорткових нейронних мережах, показують високу точність класифікації, проте характеризуються значними обчислювальними витратами та недостатньою стійкістю до змін освітлення, шумів і варіацій фону. У результаті знижується ефективність їх застосування для потокового аналізу відео у реальному часі, що особливо критично для задач оборонного призначення, транспортної безпеки, безпілотного моніторингу та систем відеоспостереження. Потреба у створенні нових методів, які поєднують нейронні моделі з попереднім аналізом кадрів, обумовлює наукову значущість теми дослідження.

Забезпечення високої достовірності розпізнавання об'єктів у відеопотоці вимагає розробки методів та моделей, що враховують нелінійну змінюваність образів і вплив зосереджених завад. Формалізація процесів відбору, попередньої обробки, фільтрації та класифікації кадрів дозволяє підвищити ефективність систем розпізнавання за рахунок зниження обчислювального навантаження і покращення стійкості до зовнішніх факторів.

Таким чином, актуальним стає науково-технічне завдання розробки методів класифікації нелінійно змінюваних образів на основі нейронних мереж із використанням попереднього аналізу міжкадрових відмінностей та морфологічних перетворень, що забезпечують підвищення швидкодії, точності та завадостійкості у реальному часі.

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

Отримані в ході дисертаційного дослідження науково-практичні результати застосовуються у службовій діяльності військової частини А7223, а також в 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 достовірності та ефективності виявлення і класифікації нелінійно змінюваних образів у відеопотоці в умовах впливу зосереджених завад, за допомогою розробки методів, моделей та алгоритмів обробки, векторизації, нейронної класифікації та трекінгу, здатних забезпечувати стабільну роботу в реальному часі та масштабованість до зміни параметрів сцени.

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

1. Проведено порівняльний аналіз класичних та згорткових методів виявлення і класифікації об'єктів у відеопотоці з урахуванням точності, ресурсоемності та стійкості до завад, та обґрунтовано доцільність розробки гібридного методу, адаптованого до роботи в умовах змінного фону та обмежених обчислювальних ресурсів.

2. Розроблено метод виявлення і класифікації об'єктів DeltaTrack, що поєднує міжкадрову різницю, морфологічну фільтрацію, легковаговий нейронний класифікатор та адаптивний трекінг, і реалізовано його у вигляді ресурсоощадного алгоритму реалізації, придатного до використання в реальному часі.

3. Розроблено алгоритм реалізації методу DeltaTrack на основі структурного поєднання класичних і нейронних підходів, з детальним описом послідовності операцій, забезпеченням обробки в реальному часі та оптимізацією споживання ресурсів для використання на пристроях з обмеженими можливостями.

4. Побудовано формалізовану імітаційну модель методу DeltaTrack у вигляді послідовності математичних операторів, що описують повний цикл обробки відеопотоку з урахуванням динаміки сцени та ресурсних обмежень, і провести аналітичну оцінку обчислювальної складності її основних етапів.

5. Розроблено механізм адаптивного налаштування методу DeltaTrack до особливостей динамічної сцени шляхом автоматичної побудови теплової карти активних регіонів кадру, що дозволяє селективно застосовувати класифікатор та сприяє зменшенню часу обробки без втрати точності.

6. Удосконалено метод розпізнавання об'єктів у відеопотоці за рахунок впровадження адаптивного фільтрування регіонів та оптимізації ресурсного навантаження, з метою забезпечення підвищеної точності класифікації та зниження споживання GPU і VRAM при збереженні стабільної роботи на пристроях з обмеженими обчислювальними можливостями.

7. Розроблено модифікацію еволюційного алгоритму RVEA для адаптивного налаштування параметрів методу розпізнавання у відеопотоці, що забезпечує зменшення середнього часу обробки кадру, підвищення точності та оптимізацію використання GPU без втрати стабільності в умовах зосереджених завад.

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

Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційному дослідженні, базується на запропонованих методах та моделях, які забезпечують підвищення достовірності та ефективності виявлення і класифікації нелінійно змінюваних образів у відеопотоці в умовах впливу зосереджених завад.

Об'єктом дослідження є процес виявлення і класифікації образів у відеопотоці в умовах дії завад та обмежених обчислювальних ресурсів.

Предмет дослідження – методи, моделі та алгоритми обробки, виявлення змін, класифікації та трекінгу об'єктів у відеопотоці, спрямовані на підвищення достовірності та ефективності ідентифікації та аналізу зображень у реальному часі.

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

1. **Вперше** запропоновано метод виявлення та класифікації об'єктів у відеопотоці (DeltaTrack), який поєднує операції над образами та трекінг, що

забезпечує підвищення швидкодії та зниження обчислювального навантаження на нейромережу в умовах роботи в реальному часі.

2. **Вперше** запропоновано формалізовану імітаційну модель реалізації методу DeltaTrack у вигляді послідовності математичних операторів, яка описує повний цикл обробки відеопотоку з урахуванням параметрів сцени та ресурсних обмежень, що забезпечує покращення аналітичної оцінки ефективності пошуку та розпізнавання образів у відеопотоці та можливість подальшої адаптації моделі при заданій точності пошуку та розпізнавання образів у відеопотоці.

3. **Удосконалено** метод розпізнавання об'єктів у відеопотоці шляхом застосування адаптації поведінки процедур розпізнавання до відеоданих та формування теплової карти регіонів фільтрації неінформативних ділянок, що дозволяє підвищити точність та швидкодію пошуку і розпізнавання образів у відеопотоці.

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

Дисертаційна робота здобувача Садовникова Б.І. є завершеною науковою працею, яка виконувалась протягом 2022-2025.

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 дисертації було застосовано: методи математичного моделювання для побудови формалізованої моделі методу DeltaTrack, що описує етапи обробки відеопотоку: від кадрування та фільтрації до класифікації і трекінгу об'єктів; методи аналізу алгоритмічної складності для визначення обчислювального навантаження етапів обробки відеопотоку з урахуванням змінних параметрів сцени, глибини класифікатора та розміру зображення; методи оптимізації для вибору параметрів морфологічної обробки та структури класифікатора в умовах змінного фону та шумів; методи експериментального моделювання у програмному середовищі Python з використанням бібліотек OpenCV, NumPy та TensorFlow для практичної реалізації та тестування методу DeltaTrack у відеопотоці реального часу; методи статистичного аналізу (вибіркова статистика, середні значення, стандартне відхилення, регресійний аналіз) для верифікації результатів і оцінки стабільності обробки, точності класифікації та впливу шумів.

Імітаційне моделювання використовувалось для верифікації працездатності запропонованих рішень, а статистичні методи – для аналізу результатів, зокрема оцінювання затримок, відмовостійкості та балансу навантаження. Методи еволюційного моделювання були використані для реалізації модифікованого генетичного алгоритму NSGA-III з адаптивним керуванням параметрами, а математичне моделювання – для формалізації процесів самоорганізації вузлів і побудови обчислювальних конвексів у РТС.

Комплексне використання цих підходів дало змогу забезпечити валідність отриманих висновків, підтверджених числовим моделюванням і практичною апробацією.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів дисертації підтверджується апробацією на фахових конференціях та семінарах, публікацією в рецензованих наукових виданнях та актами впровадження (військова частина А7223 та навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту).

5. Теоретичне і практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Дисертаційна робота спрямована на розв'язання науково-технічного завдання підвищення достовірності та ефективності виявлення і класифікації нелінійно змінюваних образів у відеопотоці під впливом зосереджених завад шляхом створення методів, моделей і алгоритмів обробки, векторизації, нейронної класифікації та трекінгу, здатних забезпечувати стійке функціонування в реальному часі та адаптацію до динамічних змін сцени.

Практичні результати, отримані в дисертації, полягають у розробці та верифікації методів, моделей і алгоритмів, які підвищують ефективність та стійкість виявлення і класифікації нелінійно змінюваних образів у відеопотоці в умовах дії зосереджених завад, а саме:

- на основі аналізу класичних та згорткових методів виявлення і класифікації об'єктів у відеопотоці обґрунтовано доцільність розробки гібридних методів, які поєднують швидкість традиційних підходів з точністю нейромережових, що забезпечує стійкість до завад і ефективну роботу в реальному часі;

- розроблено алгоритм і програмну реалізацію гібридного методу DeltaTrack, який поєднує переваги міжкадрової різниці (FD) та згорткової класифікації, що дозволило досягти середнього часу обробки одного кадру 5,4 мс, що на 41% швидше, ніж у класичного методу MoG (9,2 мс), і на 8% швидше, ніж у згорткового SSD (5,8 мс) в режимі реального часу;

– удосконалено алгоритм виявлення та класифікації об'єктів за рахунок впровадження гібридної архітектури (FD, морфологічні операції, MobileNetV1, трекінг MOSSE), що дозволило зменшити споживання відеопам'яті до 390 МБ (на 57% менше, ніж у SSD) та підтвердило придатність методу до роботи в реальному часі на пристроях з обмеженими ресурсами;

– удосконалено алгоритм обчислювального ланцюга формалізованої імітаційної моделі DeltaTrack за рахунок включення параметризованих етапів з адаптацією до змін середовища (освітлення, шум, кількість об'єктів), в результаті чого досягнуто стабільну роботу пристроїв при FPS >14 навіть у умовах гамма-шуму ($k=5$) та динамічної сцени з $K=30$;

– реалізовано механізм адаптації методу DeltaTrack до динаміки сцени шляхом автоматичного формування теплової карти активних регіонів, що дозволило зменшити кількість класифікаційних операцій і, як наслідок, скоротити середній час обробки одного кадру на 17% – з 5,3 мс до 4,4 мс при збереженні стабільної роботи в режимі реального часу;

– удосконалено алгоритм розпізнавання об'єктів у відеопотоці за рахунок інтеграції адаптивного фільтрування регіонів і оптимізації ресурсоспоживання, що забезпечило підвищення точності класифікації з 71,4% до 72,2%, зменшення використання GPU на 10,9% і відеопам'яті на 8 МБ без статистично значущого зростання навантаження на CPU та RAM;

– проведено оптимізацію методу DeltaTrack за допомогою модифікованого алгоритму RVEA, що адаптує параметри до змін середовища і динаміки кадрів та забезпечує прискорення обробки кадру на 2,3 %, підвищення точності розпізнавання на 1,1 % і зменшення використання GPU на 2,0 %, при цьому статистична значущість отриманих результатів підтверджена t-критерієм Стюдента.

6. Апробація результатів дослідження.

Основні наукові результати та положення дисертаційного дослідження були представлені автором на наступних конференціях, де пройшли апробацію та фахове обговорення:

– Міжнародна науково-практична конференція «Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді», Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2021, 28 квітня 2021;

– 36 Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 16-17 листопада 2023;

– 37 міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 10-11 жовтня 2024;

- Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ». Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного Львів 15-16 травня 2024;
- Науково-практична конференція «Сектор безпеки і оборони України на захисті національних інтересів: актуальні проблеми та завдання в умовах воєнного стану». Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, 22-23 листопада 2024;
- XXI Міжнародна наукова конференція «Новітні технології для захисту повітряного простору». Харківський національний університет повітряних сил ім. І. Кожедуба. Харків: 9 – 10 квітня 2025 року.
- Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ», 14-15 травня 2025 рік.

7. Повнота викладення основних наукових результатів дисертації в публікаціях, особистий внесок у них автора та академічна доброчесність

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

Дисертаційна робота підготовлена з дотриманням принципів академічної доброчесності: матеріали, наукові положення та висновки викладено послідовно, аргументовано та з обов'язковими посиланнями на першоджерела, що підтверджує достовірність отриманих результатів і забезпечує можливість їх відтворення.

Проведена перевірка дисертації та наукових публікацій здобувача не виявила ознак академічної недоброчесності, зокрема плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації даних.

Науково-практичні результати, отримані в даного дисертаційного дослідження опубліковано у 12 наукових працях: 4 статтях у фахових виданнях України, у тому числі, 1 стаття у виданні внесеному до міжнародної наукометричної бази Web of Science та 8 публікаціях за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій.

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати:

1. Sadovnykov B.I., Lysechko V.P., Komar O.M., Zhuchenko O.S. A research of the latest approaches to visual image recognition and classification. 2024, National University «Zaporizhzhia Polytechnic». Radio Electronics, Computer Science, Control, 1(68), P. 140-147 DOI 10.15588/1607-3274-2024-1-13 (**Web Of Science** – 2024).

2. Sadovnykov, B.I., Zhuchenko O.S. (2025) Method for Object Detection and Recognition in Video Streams Using Interframe Delta Computation// National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». Control, Navigation and Communication Systems, Vol. 2, № 80 (2025), P.P. 249-254, <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2025.2.249>.

3. Sadovnykov B.I., Zhuchenko O.S. Mathematical model for object detection and recognition in video streams using inter-frame difference analysis. National Aviation University. Science-intensive Technologies. Series: «Electronics, telecommunications and radio engineering», Kyiv, 2025. Vol. 66, № 2, PP. 181-189, <https://doi.org/10.18372/2310-5461.66.20281>.

4. Sadovnykov, B., & Lysechko, V. (2025) Adaptive behaviour tuning of a neural network-based method for moving object recognition in video streams// Computer-integrated technologies: education, science, production/ Lutsk National Technical University. – Lutsk. – 2025. (№60), P.P. 53-62, <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-60-05>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

5. Sadovnykov B. I., Lysechko et al. Experimental study of optimized face recognition algorithms for resource – constrained//Academic journal: Mechanics Transport Communications. – 2023. – Vol. №21, Issue 1, article №2343. – P. 89-95.

6. Садовников Б.І., Мазурова О.О. Дослідження методів оптимізації алгоритмів розпізнавання обличчя для роботи у системах з обмеженими ресурсами //Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 28 квітня 2021 року. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2021, с. 88-90.

7. Sadovnykov B., Zhuchenko O., Perets K. 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.

8. Sadovnykov, B.I. Development of an algorithm for detecting moving objects in images from a real-time video stream/ B.I Sadovnykov, O.S. Zhuchenko// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доповідей та виступів учасників 37-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 10-11 жовтня, 2024 р.). – 2024. – № 3 (додаток). – С. 80-81.

9. Sadovnykov B.I., Lysechko V.P. Increasing the speed of recognizing and classifying visual images in video by means of image transformations// Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ. Збірник тез

доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів 15-16 травня 2024). Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Issue 30 P. 307-308.

10. Sadovnykov B.I., Zhuchenko O.S. Ways to solve the main disadvantages of the method of searching and classifying objects in a video stream using the difference between frames// Тези доповіді за матеріалами науково-практичної конференції «Сектор безпеки і оборони України на захисті національних інтересів: актуальні проблеми та завдання в умовах воєнного стану». Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, 22 листопада 2024, С. 699-702.

11. Sadovnykov B.I., Lysechko V.P. Modern approaches to visual object recognition and classification// 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. 332-333.

12. Садовников Б.І., Жученко О.С., Шевченко О.О. Візуальне розпізнавання об'єктів у режимі реального часу на основі дельт-фільтрації// 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.89.

У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі наукові результати: [1] – узагальнено сучасні підходи з розпізнавання образів, проведено порівняльний аналіз алгоритмів, обґрунтовано перспективи використання легковагових нейромережевих моделей; [2] – розроблено метод виявлення та класифікації об'єктів на основі міжкадрової дельти, що забезпечує зменшення ресурсоспоживання; [3] – побудовано імітаційну модель методу з формалізацією етапів попередньої обробки, векторизації, класифікації та трекінгу; [4] – запропоновано удосконалення методу DeltaTrack шляхом інтеграції механізму адаптації до вхідних даних; [5] – проведено експериментальне дослідження продуктивності алгоритмів розпізнавання у системах з обмеженими ресурсами; [6] – досліджено методи оптимізації алгоритмів розпізнавання образів та придатність їх застосування на вбудованих платформах; [7] – здійснено огляд сучасних методів виявлення об'єктів, визначено переваги гібридних підходів; [8] – реалізовано алгоритм детекції об'єктів у відеопотоці в реальному часі, проаналізовано швидкодію та стабільність; [9] – обґрунтовано застосування оптимізованих перетворень для підвищення швидкодії розпізнавання в умовах обмежених ресурсів; [10] –

запропоновано шляхи подолання основних обмежень методу міжкадрової різниці у складних відеосценах; [11] – систематизовано сучасні підходи до візуального розпізнавання об'єктів; [12] – розроблено алгоритм методу дельта-фільтрації для стабілізації розпізнавання об'єктів у відеопотоці в умовах реального часу.

8. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Садовникова Бориса Ігоровича на тему «Методи класифікації нелінійно змінюваних образів у відеопотоці в умовах складної заводської обстановки», є оригінальним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що стосується актуальної проблематики та містить авторські методи щодо розв'язання теоретичних та практичних завдань по підвищенню достовірності та ефективності виявлення і класифікації нелінійно змінюваних образів у відеопотоці в умовах впливу зосереджених завод.

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 Садовникова Бориса Ігоровича 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 Садовникова Бориса Ігоровича на тему «Методи класифікації нелінійно змінюваних образів у відеопотоці в умовах складної заводової обстановки», може бути рекомендована до подання та захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Головуючий:

Ректор Українського
державного університету
залізничного транспорту,
д.т.н., професор



Сергій ПАНЧЕНКО

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



Сергій ЗМІЙ