

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів

дисертації Шуніна Олександра Юрійовича

на тему

«Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки»,

у галузі знань 12 – «Інформаційні технології»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Шуніна Олександра Юрійовича присвячена розв'язанню актуальної науково-практичної задачі розроблення нейромережевих методів пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій у полях фізичних величин за мультисенсорними даними БПЛА-платформи. Актуальність дослідження зумовлена потребою у швидкому, безпечному й достовірному первинному обстеженні територій, що зазнали впливу бойових дій або техногенного навантаження, а також необхідністю розвитку автоматизованих засобів дистанційного моніторингу ґрунтів, геофізичного обстеження, екологічного контролю та гуманітарного розмінування.

Пошук аномалій у полях фізичних величин має специфіку, яка відрізняє його від традиційного розпізнавання об'єктів на зображеннях або аналізу табличних даних. Вимірювальна система у цьому випадку реєструє не сам об'єкт, а спричинене ним відхилення просторового, часового або просторово-часового розподілу фізичного поля від фоновому стану. Такі відхилення можуть бути слабо вираженими, нелінійними, зашумленими та залежними від фізичної природи сенсорного каналу.

Використання безпілотних літальних апаратів із мультисенсорним навантаженням дає змогу підвищити продуктивність первинного огляду територій і зменшити ризик для оператора. Водночас жоден окремий сенсорний канал не забезпечує одночасно високої імовірності виявлення, низького рівня хибних тривог і достатньої точності локалізації, що обумовлює необхідність спільного використання даних різної фізичної природи.

Наукова проблема полягає у недостатній розробленості нейромережевих методів виявлення аномалій у полях фізичних величин за різнорідними сенсорними даними БПЛА-платформи, для яких необхідним є формування узгодженого

просторово-часового та структурованого подання вимірювальних потоків. Тому тема дисертації є актуальною для спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки», оскільки спрямована на розвиток моделей, методів і програмних засобів інтелектуального аналізу мультисенсорних даних у реальному часі.

2. Мета дисертаційного дослідження

Метою дисертаційної роботи є підвищення достовірності пошуку та точності локалізації аномалій у полях фізичних величин шляхом розроблення нейромережових методів їх пошуку, виявлення, класифікації та локалізації за мультисенсорними даними БПЛА-платформи.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі визначено та розв'язано такі взаємопов'язані задачі:

- удосконалити метод часового узгодження різнорідних вимірювальних потоків БПЛА-платформи для формування коректних вхідних даних нейромережових методів виявлення аномалій;

- розробити чотиривимірну модель поля аномалій $S(c, X, Y, t)$ для даних імпульсної індукції як основу структурованого подання сигнальних даних для нейронних мереж виявлення аномалій;

- удосконалити метод просторової прив'язки мультисенсорних вимірювань для формування геоприв'язаної навчальної вибірки та узгодженого просторового подання даних для локалізації аномалій;

- розробити тензорне подання мультисенсорних даних $T(x, y, k)$ та нейромережовий метод виявлення і класифікації аномалій на його основі;

- розвинути підхід до побудови фізично-інформованих нейронних мереж шляхом включення структурних інваріантів сенсорних сигналів до функції втрат моделі виявлення аномалій;

- розробити програмні засоби оброблення мультисенсорних даних, формування навчальних вибірок і застосування нейромережових методів пошуку аномалій, а також провести експериментальну перевірку розроблених моделей і методів.

Об'єктом дослідження є процеси нейромережового пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій у полях фізичних величин за даними мультисенсорних вимірювальних систем.

Предметом дослідження є нейромережеві методи пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій у полях фізичних величин з урахуванням структурованого подання різнорідних сенсорних даних.

Для вирішення поставлених задач використано нейромережеві методи, методи машинного навчання, розпізнавання образів, цифрового оброблення сигналів, часового і просторового узгодження сенсорних потоків, злиття мультисенсорних даних та тензорного подання. Перевірку результатів виконано із застосуванням методів експериментального дослідження, статистичного аналізу та порівняльного оцінювання якості пошуку, виявлення, класифікації і локалізації аномалій на лабораторних і польових даних.

3. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, науковими напрямами Університету та кафедри

Дисертаційну роботу виконано відповідно до напрямку «інформаційні та комунікаційні технології», визначеного Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», а також до переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 30.04.2024 р. № 476, зокрема за напрямами «Комп'ютерна обробка сигналів різних видів та походження», «Системи штучного інтелекту» та «Інтелектуальні інтерактивні інформаційно-аналітичні системи».

Тематика дисертаційного дослідження також узгоджується з тематичними напрямами, визначеними наказами Міністерства освіти і науки України від 06.06.2024 р. № 807, від 07.09.2023 р. № 1104 та від 04.10.2023 р. № 1202, зокрема з напрямом «Вивчення впливу бойових дій на сільськогосподарські угіддя України та визначення придатності ґрунтів для вирощування сільськогосподарської продукції».

Дисертаційне дослідження виконано у межах проєкту Національного фонду досліджень України № 2023.04/0161 «Використання штучного інтелекту для підвищення якості визначення вибухових пристроїв мультисенсорним дроном-міношукачем» (ДР 0124U003664), грантового науково-технічного проєкту СШ/5-2024 від 28.11.2024 «Інтелектуальна система визначення стану довкілля у реальному часі на базі БПЛА» (ДР 0124U004854) та НДР 723-43 «Розробка інтелектуальних сенсорів дистанційного комплексного моніторингу деградації

ґрунтів повоєнних територій» (ДР 0126U001468). Здобувач брав участь у виконанні зазначених проектів як співвиконавець.

4. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Основні наукові положення, висновки і рекомендації, що містяться в дисертації та виносяться на захист, отримано здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать:

- у праці [1] — участь у постановці задачі дистанційного моніторингу ґрунтів, розробленні архітектури мультисенсорної БПЛА-платформи, формуванні розділів колективної монографії щодо оброблення даних імпульсної індукції та мультисенсорного подання вимірювань;

- у працях [2], [4] — розроблення інформаційної моделі дистанційного зондування ґрунту, методів часового і просторового узгодження різнорідних вимірювальних потоків, формалізація тензорного подання $T(x,y,k)$ та алгоритмів злиття мультисенсорних даних для нейромережевого виявлення аномалій;

- у праці [3] — участь у постановці задачі формування синтетичних навчальних наборів зображень із заданим рівнем різноманіття та участь у проведенні експериментального оцінювання ефективності навчання нейронної мережі;

- у праці [5] — обґрунтування складу обладнання, розроблення архітектури БПЛА-платформи і наземної станції, формування лабораторних та польових вимірювальних наборів даних;

- у працях [6], [8] — участь у постановці експериментів з ансамблевими класифікаторами зі стекінгом, оцінюванні якості розпізнавання об'єктів та формуванні синтетичних навчальних наборів;

- у працях [7], [9], [10] — постановка прикладних задач, розроблення логіки планування місії БПЛА-платформи, участь у розробленні концепції цифрового двійника та обґрунтування застосування БПЛА для екологічного моніторингу, гуманітарного розмінування і забезпечення безпеки сільськогосподарських земель.

5. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Достовірність отриманих наукових і практичних результатів забезпечується коректністю постановки задач дисертаційної роботи, обґрунтованістю запропонованих моделей і методів, відповідністю використаного математичного та

алгоритмічного апарату предмету дослідження, а також застосуванням методів цифрового оброблення сигналів, машинного навчання, нейронних мереж, просторово-часового узгодження, злиття мультисенсорних даних, статистичного аналізу та експериментального оцінювання.

Обґрунтованість результатів підтверджується лабораторними і польовими експериментами, порівняльним оцінюванням якості пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій, кількісними показниками $Pd = 0,965$ та $F1 = 0,952$, часом роботи нейромережевого класифікатора менш ніж 4 мс на вектор даних імпульсної індукції, а також практичним впровадженням розроблених рішень у діяльність підприємств.

6. Ступінь новизни основних результатів дисертаційної роботи порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, полягають у такому:

- удосконалено нейромережевий метод виявлення і класифікації аномалій у полях фізичних величин за мультисенсорними даними БПЛА-платформи, який використовує геометрично узгоджене тензорне подання $T(x,y,k)$ як спільний багатоканальний вхід для ансамблю одновимірних згорткових нейронних мереж і стекінгового метакласифікатора, що забезпечує спільне використання даних різної фізичної природи для пошуку аномалій у темпі надходження вимірювань;

- вперше розроблено чотиривимірну модель поля аномалій $S(c,X,Y,t)$ для даних імпульсної індукції, яка формалізує залежність сигналу від параметрів каналу приймання, просторових координат точки зондування та часу релаксації відгуку, що забезпечує формування структурованого подання вхідних даних нейронних мереж виявлення аномалій;

- удосконалено метод часового узгодження різнорідних вимірювальних потоків мультисенсорної БПЛА-платформи, який базується на апаратній прив'язці сенсорних каналів до спільного опорного сигналу, що забезпечує просторовий еквівалент похибки синхронізації 2–4 см та створює необхідні умови формування коректних вхідних даних для нейронних мереж виявлення аномалій;

- удосконалено метод просторової прив'язки мультисенсорних вимірювань, який поєднує автономну кінематику реального часу з кількісним обґрунтуванням точності геоприв'язки, що забезпечує формування геометрично узгодженого

тензорного подання даних за просторової похибки геоприв'язки 1–8 см та формування вхідних даних для нейронних мереж виявлення аномалій;

– набув подальшого розвитку підхід до побудови фізично-інформованих нейронних мереж шляхом включення до функції втрат регуляризаційних складових, що відображають структурні інваріанти сенсорних сигналів, задані дипольною моделлю магнітної аномалії та моделями багатоекспоненційного затухання вихрових струмів, що підвищує узагальнювальну здатність нейронних мереж пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій за умов обмеженої розміченої вибірки.

7. Теоретичне значення результатів дисертаційного дослідження

Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає у розвитку нейромережових методів виявлення аномалій у полях фізичних величин на основі узгодженого просторово-часового подання різнорідних сенсорних даних. Отримані результати поєднують цифрове оброблення сигналів, злиття даних, тензорне подання, просторово-часове моделювання, ансамблеву нейромережову класифікацію та фізично-інформоване навчання нейронних мереж.

Запропоновані положення розширюють науково-методичну базу комп'ютерних наук у частині підготовки нерегулярних мультисенсорних вимірювальних потоків до нейромережового аналізу, побудови формалізованих моделей поля аномалій і використання фізичних інваріантів як регуляризаційних обмежень під час навчання нейронних мереж.

8. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених нейромережових методів пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій у задачах гуманітарного розмінування, первинного обстеження потенційно небезпечних територій, дистанційного моніторингу ґрунтів, геофізичного обстеження та екологічного контролю територій, що зазнали впливу бойових дій або техногенного навантаження.

Розроблені методи часового і просторового узгодження сенсорних потоків, модель поля аномалій $S(c, X, Y, t)$, тензорне подання мультисенсорних даних $T(x, y, k)$ та ансамблевий нейромережовий класифікатор забезпечують формування коректних вхідних даних нейронних мереж і виконання виявлення аномалій у темпі надходження вимірювань. Синхронізоване збирання даних виконується

безпосередньо на борту БПЛА-платформи, оброблення не потребує наземної інфраструктури корекції, а час роботи нейромережевого класифікатора становить менш ніж 4 мс на вектор даних імпульсної індукції.

Експериментальна перевірка на незалежних вибірках показала $Pd = 0,965$ та $F1 = 0,952$; польові випробування підтвердили можливість локалізації аномалій із сантиметровою точністю просторової прив'язки. Розроблені методи та програмні засоби впроваджено у практичну діяльність ТОВ ВП «Спецмонтаж» та ТОВ «ОМ Енерджи». Відкритий набір лабораторних і польових вимірювань трикотушкового імпульсного металошукача опубліковано в репозиторії github.com/op-uav-lab/soil-monitor-mlp.

9. Повнота опублікування результатів дисертаційного дослідження

Основні наукові результати дисертації опубліковано у десяти наукових працях, серед яких одна стаття у науковому виданні, що індексується наукометричною базою Scopus, одна стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, дві статті у фахових виданнях України категорії «Б», розділи колективної монографії та матеріали п'яти наукових заходів, з яких одна публікація індексується Scopus.

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Інформаційне забезпечення дистанційного моніторингу забруднення ґрунтів повоєнних територій : монографія / Антошук С. Г., Дрозд М. О., Маслов О. В., Галчонков О. М., Кондратьєв С. Б., Шунін О. Ю., Баранов О. М., Щербакова Г. Ю., Кошутіна Д. В., Баськов І. М., Костенко В. Л. ; за ред. С. Г. Антошук. Одеса, 2026. ISBN 978-617-8814-10-6. DOI: 10.5281/zenodo.20355627. Колективна монографія. <https://zenodo.org/records/20355627>

2. Shunin O. Y., Maslov O. V. Information model of remote sensing of soil. Herald of Advanced Information Technology. 2025. Vol. 8, No. 3. P. 352–365. DOI: 10.15276/hait.08.2025.23. Видання індексується наукометричною базою Scopus; включено до переліку наукових фахових видань України. <https://doi.org/10.15276/hait.08.2025.23>

3. Дрозд М. О., Дрозд Ю. В., Шунін О. Ю. Ефективність навчання нейронної мережі на формованих наборах зображень з заданим рівнем різноманіття. Наука і техніка сьогодні. 2025. № 9(50). С. 1104–1123. DOI: 10.52058/2786-6025-2025-9(50)-

1104-1123. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б». [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9\(50\)-1104-1123](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9(50)-1104-1123)

4. Шунін О. Ю., Маслов О. В. Алгоритми та методи злиття мультисенсорних даних при виявленні аномалій з використанням БПЛА. Наука і техніка сьогодні. 2026. № 4(58). С. 4832–4854. DOI: 10.52058/2786-6025-2026-4(58)-4832-4854. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б». [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-4\(58\)-4832-4854](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-4(58)-4832-4854)

5. Shunin O., Maslov O., Galchonkov O. Building a basic drone equipment set for conducting research to detect anomalies in soil. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 2025. Vol. 4, No. 5. P. 13–26. DOI: 10.46299/j.isjea.20250405.02. Наукове періодичне видання іншої держави. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250405.02>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Galchonkov O., Baranov O., Antoshchuk S., Maslov O., Babilunga O., Shunin O. Using stacked ensemble classifiers to speed up object recognition in images for mine detection drones. 2024 IEEE 7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD). Київ, 2024. P. 262–265. DOI: 10.1109/APUAVD64488.2024.10765855. Матеріали конференції індексуються наукометричною базою Scopus. <https://doi.org/10.1109/APUAVD64488.2024.10765855>

7. Antoshchuk S. G., Drozd M. O., Maslov O. V., Shunin O. Y. Multi-sensor UAV mission planning framework for environmental monitoring and humanitarian demining. Proceedings of the Artificial Intelligence Technologies and Aerospace Issues III International Scientific-Practical Conference. Baku, Azerbaijan, July 8–9, 2025. Proceedings of an international scientific conference.

8. Drozd M., Drozd Y., Shunin O. Formation of synthetic image datasets for training neural network. Problems of modern education and old technologies: abstracts of the II International scientific and practical conference. Zaragoza, Spain, September 8–10, 2025. P. 63–69. Proceedings of an international scientific conference.

9. Maslov O., Antoshchuk S., Galchonkov O., Mokritskiy V., Shunin O. A digital twin of a landmine detector drone based on the prompt gamma neutron activation analysis method. Proceedings of the XXVII International Conference “Automatics 2024”,

November 20–22, 2024. Dnipro (Ukraine). P. 42. Proceedings of an international scientific conference.

10. Maslov O. V., Shunin O. Y. The use of drones for ensuring the safety of agricultural lands. All-Ukrainian Scientific and Practical Forum “Artificial Intelligence in Animal Husbandry: The Future Today”, May 9, 2025. Kyiv. Proceedings of an All-Ukrainian scientific conference.

10. Апробація результатів дисертаційної роботи

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 2024 IEEE 7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD, Київ, 2024 р.); XXVII Міжнародній конференції «Автоматика 2024» (Дніпро, 2024 р.); Artificial Intelligence Technologies and Aerospace Issues III International Scientific-Practical Conference (Баку, Азербайджан, 2025 р.); II International Scientific and Practical Conference «Problems of Modern Education and Old Technologies» (Сарагоса, Іспанія, 2025 р.); Всеукраїнському науково-практичному форумі «Штучний інтелект у тваринництві: майбутнє сьогодні» (Київ, 2025 р.), а також на наукових семінарах Національного університету «Одеська політехніка».

11. Відповідність дисертаційної роботи вимогам, що передбачено пунктами 6 і 7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії»

Дисертаційна робота Шуніна Олександра Юрійовича на тему «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що мають теоретичне та практичне значення для галузі знань 12 – «Інформаційні технології» і відповідають спеціальності 122 – «Комп’ютерні науки».

За актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, достовірністю, теоретичним, методичним і практичним значенням одержаних результатів та повнотою їх опублікування дисертаційна робота відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України, зокрема вимогам пунктів 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Дисертаційна робота може бути рекомендована до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки», а її автор — Шунін Олександр Юрійович — заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 12 – «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки».

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Шуніна Олександра Юрійовича на тему «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин».

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, достовірністю, теоретичною та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Шуніна Олександра Юрійовича відповідає спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки» та чинним вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

3. Рекомендувати дисертацію Шуніна Олександра Юрійовича до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки».

Головуючий на засіданні
доктор технічних наук, професор



Світлана АНТОЩУК