

ВИСНОВОК
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації

на тему «Методи та засоби динамічного збору візуальних даних про дефекти об'єктів вітроенергетики»

(назва роботи)

здобувача наукового ступеня доктора філософії

Свистуна Сергія Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

з галузі знань 12 Інформаційні технології

(шифр, назва галузі знань)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр, назва спеціальності)

Публічна презентація проведена на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем « 06 » травня 2025 року, протокол № 19.

1. Актуальність теми дослідження. Вітрова енергетика є одним із найперспективніших напрямів «чистої» енергії, що стрімко розвивається у світі. Ефективність та надійність експлуатації вітрових енергетичних установок (ВЕУ) значною мірою залежать від своєчасного виявлення і усунення дефектів, таких як тріщини, корозійні пошкодження та перегрів компонентів. Традиційні методи інспектування, що передбачають ручний огляд лопатей чи башти ВЕУ, є трудомісткими, небезпечними та не завжди дозволяють обстежити важкодоступні ділянки. У зв'язку із цим у світовій практиці все активніше впроваджуються автоматизовані системи моніторингу на базі безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оснащених мультиспектральними та тепловізійними камерами. Такий підхід дозволяє швидко, безпечно й економічно ефективно обстежувати великі поверхні ВЕУ, отримуючи детальні зображення у видимому та інфрачервоному діапазонах.

Однак ефективність таких систем залежить від надійних методів обробки та аналізу даних, здатних автоматично виявляти, класифікувати дефекти, визначати їхню критичність та генерувати рекомендації щодо ремонту. Питанням використання БПЛА та їхніх груп, гарантування надійності функціонування в реальних умовах, а також розпізнавання образів присвячені роботи багатьох учених (Н. Zhang, М. Memari, Shihavuddin, С. Yang, S. J. Neo, Л. Дубчак, А. Саченко, Є. Бодянський, В. Харченко, І. Журавська та інші). Попри це, існує суперечність між зростаючою потребою в оперативному та достовірному виявленні дефектів ВЕУ за допомогою БПЛА та відсутністю комплексних інтегрованих рішень, які б поєднували адаптивне планування польоту, мультиспектральне злиття зображень, глибоке нейромережеве розпізнавання та кількісну оцінку критичності пошкоджень. Це знижує ефективність інспектування та підвищує ризик аварій.

Таким чином, актуальною науково-прикладною задачею є розроблення та впровадження інтегрованої кіберфізичної системи динамічного збору візуальних даних про дефекти об'єктів вітроенергетики, яка б пододала зазначені обмеження існуючих підходів.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася в рамках науково-дослідної тематики Хмельницького національного університету: держбюджетної науково-дослідної теми «Інтелектуальна система розпізнавання дефектів об'єктів зеленої енергетики із використанням БПЛА» ГУ 57-2024 (№ держреєстрації 0124U004665; фінансується коштом зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020»), в якій автор дисертації є виконавцем.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1) розроблено нову архітектуру кіберфізичної системи динамічного збору візуальних даних про дефекти об'єктів вітроенергетики, яка, на відміну від відомих рішень, поєднує адаптивне планування польоту БПЛА з урахуванням вітрових навантажень, синхронізований збір мультиспектральних зображень, хмарно-периферійне оброблення даних на основі ансамблю глибоких нейронних мереж та модуль нечіткого оцінювання ризику дефектів, що забезпечує повністю автономний цикл «зліт – сканування – аналіз – звіт» та, в такий спосіб, мінімізує залежність від оператора, скорочує час інспектування кожної турбіни та підвищує достовірність виявлення тріщин, ерозії й перегріву;

2) розроблено новий метод моніторингу ВЕУ, який, на відміну від наявних, поєднує динамічне планування польоту БПЛА у тривимірному просторі з урахуванням фактичної геометрії лопатей, що дає змогу адаптувати та налаштовувати траєкторії для кожного компоненту ВЕУ з урахуванням його характерних особливостей, що в такий спосіб зменшує енерговитрати польоту та ризик пропуску дефектних ділянок, особливо на складнопрофільних поверхнях лопатей;

3) розроблено новий метод злиття мультиспектральних зображень, який на відміну від відомих, використовує спеціалізовану функцію злиття тепловізійних та видимих каналів з урахуванням вагових коефіцієнтів та коригування просторових викривлень, що забезпечує підвищення контрастності та деталізації зон мікротріщин і корозії, а також виявлення температурних аномалій безпосередньо на злитих зображеннях, що в такий спосіб зменшує кількість хибних позитивних спрацьовувань під час автоматичного аналізу лопатей, башти та моторних вузлів.

4) вперше розроблено метод оцінювання критичності виявлених дефектів, що інтегрує нечіткі множини для кількісної фіксації ступеня небезпеки пошкоджень, з огляду на експертні знання й фізичні параметри ВЕУ, експертні функції вагових коефіцієнтів для різних типів і розташувань дефектів та дефазифікацію показника ризику з поділом на критичні та некритичні дефекти, що забезпечує формалізацію оцінки критичності виявлених дефектів та дає змогу визначати пріоритет ремонтних робіт, підвищуючи безпечність та економічну ефективність експлуатації об'єктів вітрової енергетики.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації. Розроблена кіберфізична система демонструє значне прискорення процесу

огляду ВЕУ: обстеження однієї турбіни БПЛА займає 25 хвилин замість традиційних чотирьох годин, що скорочує середній простій ВЕУ в 3,9 рази. Практичною перевагою є використання ансамблю нейромережових моделей, який інтегрує дані видимого спектра та тепловізійні зображення, досягаючи середньої точності виявлення дефектів 92,3 % з мінімальним відхиленням від експертної оцінки. Раннє виявлення пошкоджень, таких як мікротріщини, ерозія та локальний перегрів, дозволяє знизити ремонтні витрати у 5–7 разів.

Комбінований аналіз спектрів удвічі зменшує кількість хибних спрацювань, мінімізуючи потребу в ручному контролі, а повністю автоматизований цикл роботи системи не вимагає присутності людини на висоті та функціонує за швидкості вітру до 15 м/с. Модульна архітектура з відкритими програмними інтерфейсами та детальним описом алгоритмів забезпечує відтворюваність результатів. Таким чином, запропоновані науково-прикладні результати мають значний потенціал для впровадження на виробництві, сприяючи підвищенню економічної ефективності вітроенергетики.

5. Використання результатів роботи. Теоретичні та практичні результати дослідження впроваджені та використовуються у: ПП «НОЛТ ТЕХНОЛОДЖИС» (акт впровадження від 16.04.2025) та в навчальному процесі Хмельницького національного університету (акт впровадження від 16.04.2025) на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем для спеціальностей 123 Комп'ютерна інженерія та 126 Інформаційні системи та технології, а також на кафедрі комп'ютерних наук для спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія, зокрема в курсах «Моделювання комп'ютерних та кіберфізичних систем і мереж», «Теорія і проєктування комп'ютерних та кіберфізичних систем і мереж», «Технології та експлуатація дронів», «Методологічні основи автоматизованого опрацювання інформації та інтелектуального аналізу даних» та «Методи, засоби та алгоритми в задачах обчислювального інтелекту та комп'ютерного зору».

6. Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі на тему *«Методи та засоби динамічного збору візуальних даних про дефекти об'єктів вітроенергетики»*. Всі основні результати дослідження, які подано до захисту, одержані автором особисто.

Дисертаційна робота виконана на базі кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету, науковий керівник: доктор технічних наук, професор, Савенко Олег Станіславович.

Дисертаційну роботу Свистуна Сергія Олеговича перевірено на текстові запозичення з використанням системи StrikePlagiarism: для КП 1 – 4.44%, для КП 2 – 0.55%. В результаті перевірки дисертації встановлено, що виявлені текстові запозичення в роботі відносяться до загальновідомих фраз, термінів та словосполучень та знаходяться у розділі, що присвячений огляду існуючих

методів та алгоритмів; знайдені збіги не описують авторських розробок і не стосуються безпосередньо результатів дослідження.

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, встановлено, що дисертаційна робота Свистуна С.О. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 4 статті в наукових фахових виданнях (з них 2 статті у фахових виданнях України категорії «Б» та 2 статті в періодичних закордонних виданнях, що входять до Scopus та/або WoS), 1 одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, 3 тез доповідей в збірниках матеріалів всеукраїнських та міжнародних конференцій (поміж яких 1 праця, що входить до Scopus).

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus

1. Thermal and RGB images work better together in wind turbine damage detection / S. Svystun et al. *International Journal of Computing*. 2024. Vol. 23, no. 4. P. 526–535. URL: <https://doi.org/10.47839/ijc.23.4.3752> (індексована в наукометричній базі Scopus (Q3 by Scimago Journal & Country Rank))

Особистий внесок здобувача: розроблено метод злиття видимих та теплових знімків, підготовлено та навчено ансамбль нейромережесих моделей і продемонстровано підвищення точності за запропонованим методом.

2. DyTAM: Accelerating wind turbine inspections with dynamic UAV trajectory adaptation / S. Svystun et al. *Energies*. 2025. Vol. 18, no. 7. P. 1823. URL: <https://doi.org/10.3390/en18071823> ((індексована в наукометричній базі Scopus (Q1 by Scimago Journal & Country Rank))

Особистий внесок здобувача: удосконалено та математично обґрунтовано метод динамічного планування траєкторії, проведено моделювання та аналіз, які показали скорочення довжини маршруту огляду ВЕУ.

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України:

3. Свистун С. О. Розподілена архітектура системи управління та навігації БПЛА. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні*

науки». 2024. Т. 345, № 6(2). С. 120–124. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-345-6-18>

4. Свистун С. О. Методи визначення траєкторій обльоту БПЛА та оцінки критичності дефектів, виявлених за зображеннями компонентів вітрових енергетичних установок. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2025. № 1. С. 343–347. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-43>

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

5. Комп'ютерна програма «Кіберфізична система з БПЛА для виявлення дефектів вітрових енергетичних установок» : а. с. 134889 Україна : CR2429020425 / С. О. Свистун, О. С. Савенко,

О. В. Мельниченко, П. М. Радюк. № с202501360 ; заявл. 14.02.2025 ; опубл. 02.04.2025. 20 с.

Особистий внесок здобувача: створено та офіційно зареєстровано комп'ютерну програму кіберфізичної системи, що реалізує всі запропоновані методи й забезпечує правовий захист технології.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Свистун С. О., Мельниченко О. В., Скрипник Т. К. Проєктування робочої місії безпілотних літальних апаратів в тривимірному просторі. *Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023* : матеріали XV Всеукр. науково-практ. конф., м. Хмельницький, 17–18 листоп. 2023 р. Хмельницький, 2024. С. 269–273.

Особистий внесок здобувача: спроектовано алгоритм формування місії БПЛА у тривимірному просторі та експериментально підтверджено його ефективність.

7. Distributed intelligent system architecture for UAV-assisted monitoring of wind energy infrastructure / S. Svystun et al. *Proceedings of the 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (AdvAIT-2024)* : CEUR-Workshop Proceedings, Khmelnytskyi, Ukraine – Zilina, Slovakia, 5 December 2024 / ed. by T. Novorushchenko et al. Aachen, 2025. P. 150–161. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3899/paper14.pdf> (індексована в наукометричній базі Scopus)

Особистий внесок здобувача: розроблено концепцію інтелектуальної мережевої архітектури для моніторингу турбін, створено базові програмні модулі та доведено зниження мережевих затримок за обчислювальними експериментами.

8. Свистун С., Мельниченко О., Лисий М. Архітектура інтелектуальної системи динамічного збору візуальних даних про дефекти об'єктів критичної інфраструктури електроенергетики. *Сектор безпеки і оборони України на захисті національних інтересів: актуальні проблеми та завдання в умовах воєнного стану*: матеріали III Міжнарод. науково-практ. конф., м. Хмельницький, 21 листоп. 2024 р. Хмельницький, 2025. С. 702–704.

Особистий внесок здобувача: визначено вимоги до кіберфізичної системи для енергетичної інфраструктури, спроектовано її структурну схему та підготовлено узагальнені висновки щодо впровадження.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Свистуна С.О. «Методи та засоби динамічного збору візуальних даних про дефекти об'єктів вітроенергетики», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Хмельницького національного університету зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу «Методи та засоби динамічного збору візуальних даних про дефекти об'єктів вітроенергетики», подану Свистуном Сергієм Олеговичем на здобуття ступеня доктора філософії до захисту.

Головуюча публічної презентації:

завідувач кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних систем
Хмельницького національного
університету
доктор філософії, доцент



Ольга ПАВЛОВА