

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Лисий Андрій Миколайович,
(власне ім'я, прізвище здобувача)
1997 року народження, громадянин України,
(назва держави, громадянином якої є здобувач)
освіта вища: закінчив (ла) у 2020 році Національний університет «Львівська політехніка»

(найменування закладу вищої освіти)
за спеціальністю (спеціальностями) Комп'ютерні науки,
(за дипломом)

Працює молодшим науковим співробітником у Хмельницькому національному університеті
Міністерства освіти і науки України, м. Хмельницький,
(посада) (місце основної роботи, підпорядкування, місто)

виконав (ла) акредитовану освітньо-наукову програму «Комп'ютерна інженерія»
Хмельницького національного університету.

Разова спеціалізована вчена рада, утворена наказом Хмельницького національного університету
(повне найменування закладу вищої освіти)
Міністерства освіти і науки України, м. Хмельницький від « 30 » січня 2026 року № 16-ас
(наукової установи), підпорядкування (у родовому відмінку), місто)
у складі:

Голови разової

спеціалізованої вченої ради – Тетяни ГОВОРУЩЕНКО, доктора технічних наук, професора,
декана факультету інформаційних технологій Хмельницького
національного університету.

(власне ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи)

Рецензентів -

Ольги ПАВЛОВОЇ, доктора філософії, доцента, завідувача
кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем
Хмельницького національного університету

(власне ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи)

Тетяни КИСІЛЬ, кандидата фізико-математичних наук, доцента,
доцента кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних
систем Хмельницького національного університету

(власне ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи)

Офіційних опонентів -

Ігоря Пітуха, кандидата технічних наук, доцента, доцента
кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем
Західноукраїнського національного університету

(власне ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи)

Тараса РАКА, доктора технічних наук, доцента, професора
кафедри інформаційних технологій ПЗВО «ІТ СТЕП
Університет»

(власне ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи)

на засіданні 27 березня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора
філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології

(галузь знань)

Андрію ЛИСОМУ

(власне ім'я, прізвище здобувача у давальному відмінку)

на підставі публічного захисту дисертації «Кіберфізичні системи моніторингу дефектів
фотоелектричних модулів сонячних електростанцій»

(назва дисертації)

за спеціальністю (спеціальностями) 123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і найменування спеціальності (спеціальностей) відповідно до Переліку галузей знань
і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти)

Дисертацію виконано у (в) Хмельницькому національному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Хмельницький

(найменування закладу вищої освіти (наукової установи), підпорядкування, місто)

Науковий керівник (керівники) Богдан САВЕНКО, доктор філософії, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету

(власне ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи, посада)

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису. Дисертація містить чотири нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які виконують конкретне наукове завдання забезпечення оперативного розрізнення режимів роботи фотоелектричних модулів як пожежа, пожежна небезпека, спрацювання захисту на основі застосування архітектури кіберфізичних систем з розподіленою обробкою даних моніторингу дефектів фотоелектричних модулів сонячних електростанцій, що має істотне значення для галузі знань 12 – Інформаційні технології. Дисертація виконана державною мовою. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 192 сторінки друкованого тексту, з них 133 сторінки основного тексту, що відповідає встановленим освітньо-науковою програмою «Комп'ютерна інженерія» Хмельницького національного університету максимальному та мінімальному обсягам основного тексту дисертації.

Здобувач має 13 наукових праць, у тому числі 3 статті опубліковані у періодичних виданнях, що індексуються в наукометричній базі Scopus, 3 статті у фахових наукових виданнях України категорії Б:

1. Lysyi A. Enhanced fire hazard detection in solar power plants: an integrated UAV, AI, and SCADA-based approach / A. Lysyi et al. Radioelectronic and Computer Systems. 2025. No. 2(114). P. 99–117. URL: <https://doi.org/10.32620/reks.2025.2.06>.

2. Lysyi A. Method of UAV inspection of photovoltaic modules using thermal and RGB data fusion / A. Lysyi et al. Radioelectronic and Computer Systems. 2025. No. 4 (114). P. 99–117 URL: <https://doi.org/10.32620/reks.2025.4.07>.

3. Lysyi A. Thermal and RGB images work better together in wind turbine damage detection / A. Lysyi et al. International Journal of Computing. 2024. Vol. 23, no. 4 P. 526–535. URL: <https://doi.org/10.47839/ijc.23.4.3752>.

4. Лисий А. Дослідження технології використання термографії для виявлення несправностей сонячних панелей / А. Лисий, В. Кіретов. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. № 4. С. 377–385. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-45>.

5. Лисий А. Метод виявлення пожежонебезпечного режиму роботи фотоелектричних модулів сонячних електростанцій / А. Лисий, Б. Савенко. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2025. № 3. С. 153–164. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-83-20>.

6. Лисий А. Удосконалення методу функціонування кіберфізичної системи моніторингу дефектів фотоелектричних модулів сонячної електростанції / М. Лисий, С. Партика, І. Кушнер, А. Лисий. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2025. № 2. С. 257–262. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-82-35>.

У дискусії взяли участь (голова, рецензенти, офіційні опоненти, інші присутні) та висловили зауваження:

Говорущенко Тетяна Олександрівна, д.т.н., професор, декан факультету інформаційних технологій Хмельницького національного університету; Павлова Ольга Олександрівна, д.ф., доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету; Кисіль Тетяна Миколаївна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету; Пітух Ігор Романович, к.т.н., доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету; Рак Тарас Євгенович, д. т. н., доцент, професор кафедри інформаційних технологій ПЗВО «ІТ СТЕП Університет»;

Лактіонов Іван Сергійович, д.т.н., професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного університету «Дніпровська політехніка».

Зауваження:

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

1. В першому розділі, в процесі аналізу розглянуто велику кількість аспектів, що стосуються методів моніторингу дефектів фотоелектричних модулів, їх типів та засобів виявлення. Доцільно було б звести їх в таблицю з короткими відомостями про вирішені та невирішені проблеми, щоб подати стислу, інтегровану картину стану предметної області.

2. При опису прикладу реалізації методу ансамблювання різнопалітрових термограм здобувач використовував двоколірні та триколірні палітри. Було б доцільніше більш детально обґрунтувати вибір саме цих палітр та порівняти з іншими варіантами колірної варіації термограм.

3. На рис. 3.14 наведено приклад композиційного термо-RGB зображення, але з приведеного опису не дуже зрозуміло, чи зберігається вихідна термографічна інформація після заміни червоного каналу, та як це впливає на подальшу обробку даних наземною системою управління.

4. В даному дослідженні здобувачем пропонується ряд методів, що передбачають інтеграцію з системою диспетчерського управління та збору даних (SCADA). В той же час у відношенні організації таких систем діє ряд стандартів, зокрема IEC 61850 для організації передачі даних в енергетичних об'єктах. В роботі відсутня інформація, щодо того, чи запропоновані методи враховують необхідність дотримання цих стандартів та чи є вони сумісними з існуючими SCADA-системами на сонячних електростанціях.

5. У підрозділі 3.3 при описі методу функціонування кіберфізичних систем моніторингу з реалізацією концепції периферійно-хмарної обробки даних використано платформу Microsoft Azure IoT Hub для хмарного сервісу, проте відсутнє порівняння з іншими хмарними платформами (AWS IoT Core, Google Cloud IoT Core тощо) за критеріями вартості, затримки передачі даних, надійності, підтримки протоколів обміну даними, що робить не зрозумілим вибір даної платформи.

Кисіль Тетяна Миколаївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету:

1. У главі 1.2 при аналізі типів дефектів фотоелектричних модулів наведено класифікацію дефектів за їх впливом на електричну потужність, пожежну безпеку в залежності від їх розміру. Доцільно було б доповнити цю частину кількісними даними про температурні енергетичні характеристики різних типів дефектів на основі літературних джерел або власних попередніх досліджень, що дозволило б краще обґрунтувати класифікацію дефектів модулів, що пов'язані з пожежею, пожежною небезпекою, спрацюванням захисту.

2. У підрозділах 1.3, 2.1 представлено порівняльний аналіз програмно-апаратних засобів обробки зображень (NVIDIA Jetson AGX Orin 32GB, NVIDIA Xavier, Raspberry Pi4 Model B, БПЛА DJI Matrice 300 RTK), проте відсутнє порівняння енергоспоживання цих пристроїв, що є критичним параметром для бортових систем БПЛА з обмеженою ємністю акумуляторів. Доцільно було б доповнити таблицю 2.1 даними про споживання потужності кожного пристрою у режимі обробки зображень за допомогою моделі YOLO та оцінити вплив цього параметра на зменшення часу автономної роботи БПЛА DJI Matrice 300 RTK.

3. У таблиці 4.5 представлено характеристики архітектури кіберфізичних систем моніторингу, проте відсутнє обґрунтування вибору конкретних протоколів передачі даних між рівнями управління. Зокрема, не зазначено, чому для зв'язку між бортовою та наземною системами обрано канал на частоті 2,4 ГГц/5,8 ГГц з максимальною дальністю передачі до 15 км, а не інші альтернативи (LTE, LoRa тощо), та не проаналізовано вплив погодних умов на якість зв'язку та затримку передачі даних.

4. У підрозділі 4.1 при описі вибору моделі згорткової нейронної мережі YOLO наведено порівняння різних версій (YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11, YOLOv12) лише за показниками точності (mAP) та швидкості обробки, без врахування розміру моделі та вимог до обчислювальних ресурсів. Доцільно було б доповнити таблицю 4.2 даними про обсяг пам'яті,

що вони займають, та споживання оперативної пам'яті під час виконання на обчислювальному модулі NVIDIA Jetson AGX Orin 32GB.

5. У третьому розділі при описі методу обробки даних бортовою системою управління БПЛА використано формулу Родрігеса для визначення оптимального напрямку візування камер з урахуванням положення Сонця, проте відсутнє експериментальне підтвердження ефективності цього підходу. Доцільно було б навести результати порівняльних експериментів з використанням та без використання автоматичного орієнтування камери за формулою Родрігеса, щоб кількісно оцінити вплив сонячних відблисків на якість термограм (контрастність, відношення сигнал/шум) та точність виявлення дефектів за різних умов освітленості (ранок, полудень, вечір).

6. У висновках сформульовано основні наукові та практичні результати дослідження, проте деякі твердження потребують уточнення. Зокрема, зазначено, що розроблена система дозволяє «підвищити пожежну безпеку експлуатування сонячних електростанцій», проте не наведено кількісних оцінок цього підвищення (наприклад, на скільки відсотків зменшується ризик виникнення пожежі, на скільки швидше виявляються пожежонебезпечні дефекти порівняно з традиційними методами моніторингу, яка економічна ефективність від впровадження системи). Такі кількісні оцінки були б корисними для обґрунтування практичної значущості роботи та прийняття рішень про впровадження розробленої системи на реальних сонячних електростанціях.

Пітух Ігор Романович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету:

1. У підрозділі 2.2 запропоновано архітектуру кіберфізичних систем з розподіленою обробкою даних, проте відсутня інформація про обмеження застосування цієї архітектури в умовах обмеженої пропускну здатності каналів зв'язку, при масштабуванні системи на великі сонячні електростанції.

2. Для експериментальних досліджень використовувався БПЛА DJI Matrice 300 RTK з камерою Zenmuse H20T та бортовим комп'ютером NVIDIA Jetson AGX Orin. Реальні умови експлуатування можуть відрізнятися наявністю різноманітних типів БПЛА та обчислювальних платформ, що може вплинути на ефективність запропонованих методів при їх адаптації до іншого обладнання.

3. У підрозділі 3.3 розроблено метод ансамблювання різнопалітрових термограм та RGB зображень. В той же час не проаналізовано випадки, коли умови освітлення або погодні фактори, застосування інших типів камер можуть вплинути на ефективність методу крос-модальної інтеграції.

4. У розділі 3 (рис. 3.14) представлено результати сегментації дефектів на термограмах різних палітр. Однак відсутня градаційна шкала температур на термограмах, що ускладнює візуальну оцінку відповідності виявлених дефектів їх термічним характеристикам.

5. У підрозділі 2.1 наведено порівняльну характеристику БПЛА для моніторингу дефектів фотоелектричних модулів, де обрано DJI Matrice 300 RTK. Проте відсутні важливі параметри, такі як максимальна дальність польоту, швидкість переміщення, ціна обладнання, що могли б вплинути на остаточний вибір. Також не зазначено, чи проводились експериментальні дослідження з іншими моделями БПЛА для підтвердження переваг обраного зразка, чи вибір базується виключно на аналізі технічних характеристик з документації виробника.

Рак Тарас Євгенович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних технологій ПЗВО «ІТ СТЕП Університет»:

1. У роботі відсутня інформація щодо обмежень кількості БПЛА, які можуть одночасно працювати в межах однієї системи SCADA та загалом розробленої архітектури кіберфізичної системи без виникнення критичних затримок при передачі JSON-повідомлень через систему ZeroMQ;

2. При обґрунтовуючи доцільність використання бортового комп'ютера Nvidia Jetson AGX Orin 32GB (п. 2.1) автор не навів порівняльного аналізу енергоспоживання цього модуля в режимі максимального навантаження згорткової нейромережі, що безпосередньо впливає на час польоту БПЛА та доцільність формування архітектури кіберфізичної системи;

3. Для донавчання моделі YOLOv12m-seg використано набір даних, де дефекти 1 та 2 класів становлять лише 10 % та 5 % відповідно (таблиця 3.1), при цьому відсутня інформація про

результати аналізу впливу такого дисбалансу вибірки на ймовірність пропуску (FN) цих типів аномалій:

4. При фрагментації RGB зображень методом ковзного вікна у п. 3.1 не описано механізм обробки дефектів, які опиняються на межі розрізу, що може призводити до їх фрагментації або втрати при сегментації і подальшої класифікації;

5. Для моніторингу дефектів фотоелектричних модулів сонячних електростанцій в роботі обрано модель згорткової нейронної мережі YOLOv12m-seg (п. 3.1), однак відсутні обґрунтування вибору та результати порівняння з іншими типами архітектур (наприклад, EfficientDet) на власному специфічному наборі даних для підтвердження переваги обраного підходу;

6. При розробленні методу ансамблювання у п. 3.3 здійснено вибір триколірних палітр для ефективного виявлення малих дефектів, що базується на експериментах. Проте відсутнє теоретичне обґрунтування вибору конкретних палітр для різних типів покриття панелей і умов спостереження;

7. Для системи оповіщення заявлено використання протоколів ZigBee та Wi-Fi (с. 123), проте відсутні дані та результати досліджень стосовно обмежень стабільної передачі сигналу в умовах експлуатування елементів сонячних електростанцій і відповідності загальноприйнятим стандартам організації передачі даних на об'єктах енергетики.

Лактіонов Іван Сергійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного університету «Дніпровська політехніка» (у відгуку-зверненні):

1. У підрозділі 3.3 при описі методу ансамблювання різнопалітрових термограм наведено порогові значення для малих і великих дефектів фотоелектричних модулів при застосуванні алгоритму обробки Mask-NMS, проте відсутнє дослідження з варіацією порогових значень критеріїв. Не зазначено, чи були ці пороги визначені емпірично на основі аналізу навчальної вибірки, чи є результатом оптимізації за певним критерієм якості;

2. У роботі ґрунтовно розглянуто питання оцінки впливу освітленості та хмарності на ефективність виявлення дефектів фотоелектричних модулів, результати подано у табл. 4.10, 4.11. Проте, як на наш погляд таке дослідження було надлишковим, оскільки лише за умов максимального вироблення потужності при найбільшій освітленості можливо виявити пожежонебезпечні дефекти, що становить відносно короткий період часу на території України. Саме це стало основною причиною перенесення обчислень на бортову систему управління БПЛА, як зазначає автор у першому розділі і у вступі.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує/
відмовляє у присудженні

Андрію ЛИСОМУ

(власне ім'я, прізвище, здобувача у давальному відмінку)

ступінь/ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології

(галузь знань)

за спеціальністю (спеціальностями) 123 – Комп'ютерна інженерія

(код і найменування спеціальності (спеціальностей))

відповідно до Переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти)

Відеозапис трансляції захисту дисертації відсутній.

Голова разової спеціалізованої вченої ради



(підпис)

Тетяна ГОВОРУЩЕНКО

(власне ім'я та прізвище)