

ВИСНОВОК

**Національного університету «Чернігівська політехніка»
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації Байди Владислава Дмитровича
на тему «Методи та інформаційна технологія діагностування відмов у
напівпровідникових перетворювачах електроенергії на основі цифрових
двійників», поданої на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 – Інформаційні технології
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки**

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

Напівпровідникові перетворювачі електроенергії є складовими систем електроживлення, промислової електроніки, телекомунікаційного обладнання та відновлюваної енергетики. Їхні відмови спричиняють простої обладнання, порушення технологічних процесів і додаткові витрати на відновлення працездатності. Своєчасне виявлення параметричної деградації компонентів і локалізація причин несправностей мають важливе значення для підвищення надійності таких систем.

Традиційні підходи до діагностування часто потребують фізичного доступу до внутрішніх елементів, додаткових вимірювальних каналів або переривання роботи пристрою. Застосування цифрового двійника дає змогу порівнювати зовнішні сигнали працюючого перетворювача з еталонними значеннями моделі. Водночас результативність такого підходу залежить від точності ідентифікації паразитних параметрів, калібрування моделі під конкретний екземпляр пристрою та обґрунтованого вибору діагностичних порогів.

Актуальність дослідження зумовлена потребою в інтегрованому методі, який поєднує калібрування цифрового двійника, формування діагностичних правил і локалізацію несправностей за відхиленнями вихідних сигналів. Винесення обчислювально витратних операцій на етап ініціалізації створює передумови для швидкого онлайн-діагностування. Окреме значення має обґрунтований вибір технологій дистанційних лабораторій для перевірки запропонованих рішень на реальному обладнанні.

Дисертацію виконано в Національному університеті «Чернігівська політехніка» за напрямками «Інформаційні та комунікаційні технології» та «Енергетика та енергоефективність» у межах реалізації таких наукових проєктів:

1. «Lab Discovery Engine» – субгрант проєкту NGI Search програми Horizon Europe HORIZON-CL4-2021-HUMAN-01, номер проєкту 101069364.

2. «DIGITRANS. Цифрова трансформація освітнього процесу ЗВО в Україні та Молдові для сталого співробітництва з підприємствами» за програмою Erasmus+ «Розвиток потенціалу вищої освіти».

3. «Методи і моделі динамічної бездротової передачі енергії на основі гібридного зв'язку» – прикладне наукове дослідження, що фінансується МОН України, державний реєстраційний номер 0126U001717.

2. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності онлайн-виявлення та ідентифікації відмов напівпровідникових перетворювачів електроенергії шляхом розроблення нових методів та інформаційної технології діагностування на основі цифрових двійників.

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовано та розв'язано такі завдання:

1. Проаналізувати сучасні підходи до діагностики пристроїв силової електроніки, методи побудови цифрових двійників, оптимізації параметрів моделей електронного обладнання та технології дистанційних лабораторій.

2. Розробити метод калібрування цифрового двійника перетворювача постійного струму на основі генетичного алгоритму для підвищення його точності.

3. Розробити метод онлайн-діагностування напівпровідникових перетворювачів на основі відкаліброваного цифрового двійника, який забезпечує виявлення та локалізацію причин відмов за векторним аналізом відхилень вихідних сигналів.

4. Розробити метод порівняння інформаційних технологій побудови дистанційних лабораторій для обґрунтованого вибору платформи верифікації діагностичної системи.

5. Розробити метод порівняння технологій інтеграції з обраною платформою дистанційних лабораторій для зваженого вибору технології реалізації діагностичної системи.

6. Провести експериментальну валідацію запропонованих методів на реальному перетворювачі постійного струму із застосуванням дистанційної лабораторії.

7. Оцінити ефективність розроблених методів за коефіцієнтом готовності шляхом побудови моделі готовності напівпровідникового перетворювача та визначення приросту цього показника.

Об'єкт дослідження – інформаційні процеси обробки та аналізу інформації в комп'ютерних системах діагностування електронних пристроїв. Предмет дослідження – моделі, методи та інформаційна технологія

діагностування відмов напівпровідникових перетворювачів електроенергії на основі цифрових двійників.

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

У дисертаційній роботі розв'язано науково-прикладне завдання підвищення ефективності онлайн-виявлення та ідентифікації відмов напівпровідникових перетворювачів електроенергії з використанням цифрових двійників. Основні результати, що визначають наукову новизну дослідження, полягають у такому.

Вперше запропоновано:

інтегрований метод онлайн-діагностування напівпровідникових перетворювачів електроенергії на основі цифрового двійника, який, на відміну від існуючих, поєднує калібрування цифрового двійника під конкретний екземпляр пристрою, векторне порівняння зовнішніх сигналів працюючого перетворювача з еталонними даними двійника та таблицю відповідності між векторною різницею і ступенем несправності або деградації елементів перетворювача. Це дає змогу локалізувати причину відмови без вимірювань параметрів окремих елементів.

Отримали подальший розвиток:

1. Методи калібрування цифрових двійників перетворювачів постійного струму на основі генетичних алгоритмів завдяки визначенню еталонного сигналу за критерієм рівновіддаленості його показників від граничних значень експериментальної вибірки. Запропонований підхід забезпечує узгодження цифрового двійника з конкретним екземпляром фізичного об'єкта та безпосереднє використання симетричних відхилень відкаліброваної моделі від експериментальних даних як початкових порогів діагностування.

2. Технологічні підходи до формування архітектури дистанційних інженерних лабораторій шляхом розроблення методу багатокритеріального порівняльного аналізу за системою зважених критеріїв, зокрема можливості інтеграції, швидкодії та простоти конфігурації. Це створює підґрунтя для науково аргументованого вибору архітектури інформаційних систем, орієнтованих на роботу з цифровими двійниками електронного обладнання.

Основні результати дослідження конкретизовано в математичних моделях, алгоритмах та програмно-апаратній реалізації. Для векторного діагностування формалізовано таблиці відповідності, механізм «сірої зони» та множинні ступені впливу відхилень параметрів. Для калібрування реалізовано генетичний алгоритм із логарифмічним кодуванням генів, що дає змогу працювати з параметрами, діапазони яких охоплюють до дев'яти порядків величини.

Розроблено дистанційну лабораторію на базі LabDiscoveryEngine з цифровим двійником, реалізованим із використанням PySpice та Ngspice, серверною частиною на Node.js і прикладними протоколами обміну через WebSocket та UART. Вибір платформи лабораторії та технології бекенду обґрунтовано багатокритеріальним порівнянням. Результати калібрування, векторного аналізу та експериментальної перевірки об'єднано в єдину інформаційну технологію.

4. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується аналізом сучасних наукових публікацій, формалізацією задачі діагностування, застосуванням математичного й комп'ютерного моделювання, метаевристичної оптимізації, векторної алгебри, системного аналізу, багатокритеріального оцінювання, математичної статистики та теорії марковських випадкових процесів.

Достовірність результатів підтверджується зіставленням поведінки цифрового двійника з експериментальними даними реального понижуючого перетворювача постійного струму. Калібрування та верифікацію моделі із сімома паразитними параметрами виконано з використанням вибірки з 6705 вимірювань. Діагностичну систему перевірено в 17 сценаріях контрольованих відхилень параметрів із загальною кількістю понад 46 тисяч вимірювань.

У досліджених сценаріях зафіксовано виявлення факту відмови у 100 % випадків та коректне визначення її причини у 99,5–100 % випадків залежно від ступеня відхилення параметрів. Перевірка справного стану на 20 744 вимірюваннях показала частку хибних спрацювань близько 0,2 %. Ці показники характеризують випробувані режими й набір несправностей експериментального перетворювача.

Наведений у роботі аналіз швидкодії показує тривалість повного циклу діагностування 1,1–1,5 мс у дослідженій реалізації; основну частину часу становить передавання вимірювальних даних. За марковською моделлю для прийнятих вхідних параметрів коефіцієнт готовності зростає з 0,9976 до 0,9994, а очікуваний річний простій зменшується з 21,2 до 5 годин. Модельний характер цих оцінок розкрито в дисертації, стійкість висновку перевірено аналізом чутливості.

Наукові положення та висновки логічно впливають із наведених теоретичних побудов, результатів моделювання й експериментальних досліджень. Поєднання цих методів забезпечує належну обґрунтованість висновків у межах поставлених завдань і досліджених умов.

5. Теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Теоретичне значення роботи полягає в розвитку методів модельно-орієнтованого діагностування електронного обладнання. Встановлено обчислювальний зв'язок між ідентифікацією паразитних параметрів, калібруванням цифрового двійника, визначенням діагностичних порогів та локалізацією несправностей. Формалізація векторного порівняння та таблиць відповідності створює основу для автоматизації діагностичних рішень за зовнішніми сигналами пристрою.

Практичне значення полягає у створенні інформаційної технології й програмно-апаратного комплексу для автоматизованого виявлення та локалізації параметричних несправностей перетворювачів постійного струму. Розроблені засоби придатні для проактивного технічного обслуговування та організації дистанційних експериментів. Розвиток у напрямі прогнозування залишкового ресурсу потребує подальшого аналізу часових рядів деградації, як зазначено в дисертації.

Результати дослідження впроваджено в проєктну діяльність Національного університету «Чернігівська політехніка» за міжнародними проєктами LabDiscoveryEngine та DIGITRANS (довідка № 202/08-1338 від 15.07.2026, додаток А дисертації). У проєкті LabDiscoveryEngine методику порівняння використано для вибору та впровадження платформи дистанційної лабораторії дослідження перетворювачів постійного струму. У проєкті DIGITRANS результати порівняння застосовано під час проєктування інфраструктури віддаленого доступу до MCU та FPGA і створення системи керування лабораторіями на основі контейнеризації Docker.

Результати також упроваджено в освітній процес університету під час викладання дисциплін «Мікропроцесорні системи» та «Джерела живлення телекомунікаційного обладнання» для бакалаврів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» (довідка № 202/08-1339 від 15.07.2026, додаток А дисертації). Дистанційна лабораторія забезпечує виконання експериментів на реальних апаратних стендах, спостереження осцилограм напруги й струму та дослідження режимів силових кіл без фізичної присутності здобувача в лабораторії.

6. Апробація результатів дослідження

Основні положення та результати роботи доповідалися й обговорювалися на п'яти наукових конференціях: «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі» (Чернігів, 19–20 квітня 2023 р.); MC&FPGA-2023 «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (Харків, 22–23 червня 2023 р.); «Юність науки – 2024» (Чернігів, 24–

26 квітня 2024 р.); «Новітні технології сучасного суспільства HTCC-2024» (Чернігів, 12 грудня 2024 р.); 2025 IEEE PES 35th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC, 29 вересня – 1 жовтня 2025 р.).

7. Повнота викладення основних наукових результатів дисертації в публікаціях та особистий внесок автора

Основні положення та результати дисертаційного дослідження відображено в 11 наукових працях: п'яти статтях у науковому фаховому журналі України «Технічні науки та технології», одному розділі у виданні Springer серії Lecture Notes in Networks and Systems та п'яти працях апробаційного характеру. До двох праць, зазначених у дисертації як індексовані в Scopus та Web of Science, належать розділ у виданні Springer і публікація в матеріалах конференції AUPEC 2025.

Публікації висвітлюють усі основні складові дослідження: багатокритеріальний вибір технологій дистанційних лабораторій, їхню програмну архітектуру, векторний метод діагностування, ідентифікацію паразитних параметрів, калібрування цифрового двійника та практичну реалізацію діагностичної системи. Наведений у дисертації розподіл особистого внеску дає змогу виокремити результати, одержані Байдою В. Д., у працях, підготовлених у співавторстві.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці з основними науковими результатами дисертації

1. Baida V., Velihorskyi O., Khomenko M., Velihorskyi B. Back-End Technology of the Remote Power Electronics Laboratory Based on LabDiscoveryEngine. Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2024. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 1391. Cham : Springer, 2025. P. 379–392. DOI: 10.1007/978-3-031-90735-7_29.

Особистий внесок здобувача: розроблення багаторівневої архітектури бекенду віддаленої лабораторії; обґрунтування вибору Node.js; проєктування прикладних протоколів обміну між клієнтом, сервером та мікроконтролером; інтеграція з LabDiscoveryEngine; реалізація взаємодії Raspberry Pi з Analog Discovery 2.

2. Велігорський Б., Байда В., Хоменко М. Практичні аспекти створення інтерфейсу користувача віддаленої лабораторії електроніки. Технічні науки та технології. 2025. № 1 (39). С. 206–217. DOI: 10.25140/2411-5363-2025-1(39)-206-217.

Особистий внесок здобувача: розроблення серверної частини віддаленої лабораторії, проєктування архітектури системи, налаштування середовища розробки та ініціалізація фронтенд-застосунку як частини монорепозиторію.

3. Байда В., Велігорський О. Методика порівняння інформаційних технологій побудови дистанційних лабораторій апаратного забезпечення. Технічні науки та технології. 2024. № 4 (38). С. 172–188. DOI: 10.25140/2411-5363-2024-4(38)-172-188.

Особистий внесок здобувача: аналіз і систематизація архітектур дистанційних лабораторій; розроблення методики порівняння за комплексом критеріїв із ваговими коефіцієнтами; проведення порівняльного аналізу та обґрунтування вибору технології.

4. Байда В., Велігорський О. Методологія діагностики апаратного забезпечення з використанням інформаційної технології цифрового двійника. Технічні науки та технології. 2025. № 2 (40). С. 234–253. DOI: 10.25140/2411-5363-2025-2(40)-234-253.

Особистий внесок здобувача: розроблення методики діагностики на основі векторного представлення параметрів, формалізація таблиць відповідності та механізму «сірої зони», розроблення алгоритму реалізації методики й систематизація методів генерації таблиць відповідності.

5. Байда В., Велігорський О. Ідентифікація паразитних параметрів моделі перетворювача постійного струму генетичним алгоритмом. Технічні науки та технології. 2025. № 4 (42). С. 165–186. DOI: 10.25140/2411-5363-2025-4(42)-165-186.

Особистий внесок здобувача: розроблення методу ідентифікації паразитних параметрів, реалізація генетичного алгоритму з багатокритеріальною функцією пристосованості, проведення експериментальних вимірювань і статистичного аналізу, верифікація оптимізованої моделі.

6. Байда В., Велігорський О. Розробка та практична імплементація інформаційної технології діагностики перетворювачів постійного струму на основі фізично-орієнтованих цифрових двійників. Технічні науки та технології. 2026. № 1 (43). С. 161–182. DOI: 10.25140/2411-5363-2026-1(43)-161-182.

Особистий внесок здобувача: розроблення математичної моделі перетворювача з паразитними параметрами в PySpice; формування таблиці відповідності шляхом моделювання шести ступенів відносних змін параметрів; практична реалізація та експериментальна валідація методології на базі 6705 вимірювань у системі LabDiscoveryEngine.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Байда В., Іванець С. Віддалені лабораторії по роботі з апаратними засобами вбудованих систем. Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених (Чернігів, 19–20 квітня 2023 р.). Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. С. 247–249.

Особистий внесок здобувача: обґрунтування доцільності дистанційних лабораторій для роботи з апаратними засобами; огляд і порівняльний аналіз платформ, їхніх функціональних можливостей, архітектурних рішень та організації доступу до обладнання.

8. Байда В., Іванець С. Implementation of the server part of a remote power electronics laboratory based on the labdiscoveryengine system. Юність науки – 2024 : збірник тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (Чернігів, 24–26 квітня 2024 р.). Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. С. 1046–1047.

Особистий внесок здобувача: розроблення архітектури та реалізація серверної частини лабораторії на Raspberry Pi; обґрунтування вибору WebSocket; реалізація протоколу обміну через UART із мікроконтролером STM32 для керування перетворювачем.

9. Baida V., Ivanets S. Building a Virtual Hardware Laboratory with FPGA and Raspberry Pi Integration. Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs : V International Scientific and Practical Conference MC&FPGA-2023 (Kharkiv, Ukraine, June 22–23, 2023). Kharkiv : NURE, 2023. P. 36–37.

Особистий внесок здобувача: проектування архітектури браузерної системи віддаленої лабораторії FPGA, обґрунтування вибору Raspberry Pi та розроблення структурної схеми взаємодії сервера, Raspberry Pi і FPGA.

10. Baida V. D., Velihorsky O. A., Kazymyr V. V. Laboratory platform for remote hardware experimentation. Новітні технології сучасного суспільства HTCC-2024 : матеріали науково-практичної конференції обдарованої учнівської та студентської молоді. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. С. 185–186.

Особистий внесок здобувача: розроблення архітектури платформи віддаленої лабораторії та реалізація серверної частини мовою Go з підтримкою дистанційного програмування MCU/FPGA і керування Analog Discovery 2.

11. Velihorskyi O., Khomenko M., Baida V., Velihorskyi B., Chakirov R. DC-DC Power Converters Remote Laboratory Based on LabDiscoveryEngine. 2025 IEEE PES 35th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), September 29 – October 1, 2025. P. 1–5. DOI: 10.1109/AUPEC66173.2025.11219557.

Особистий внесок здобувача: розроблення серверної частини лабораторії, двонаправленого обміну даними між вебклієнтом, Raspberry Pi та мікроконтролером із застосуванням WebSocket і Data Transfer Objects; інтеграція з LabDiscoveryEngine; програмна взаємодія з Analog Discovery 2 та потокове передавання осцилограм до вебінтерфейсу.

8. Загальний висновок

Дисертаційна робота Байди Владислава Дмитровича на тему «Методи та інформаційна технологія діагностування відмов у напівпровідникових перетворювачах електроенергії на основі цифрових двійників» є самостійним завершеним науковим дослідженням, у якому розв’язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності онлайн-виявлення та ідентифікації відмов напівпровідникових перетворювачів електроенергії.

Основні наукові положення містять наукову новизну, належно обґрунтовані та підтверджені моделюванням і експериментальними дослідженнями. Одержані результати мають теоретичне та практичне значення, пройшли апробацію й відображені в наукових публікаціях здобувача. Зміст роботи відповідає поставленій меті та завданням, роботу виконано державною мовою.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та практичною цінністю результатів дисертація відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 (зі змінами). Основні наукові результати опубліковано з дотриманням вимог пункту 8 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 р. № 44 (зі змінами).

Рекомендувати дисертацію Байди Владислава Дмитровича на тему «Методи та інформаційна технологія діагностування відмов у напівпровідникових перетворювачах електроенергії на основі цифрових двійників» до публічного захисту в разовій спеціалізованій вченій раді для присудження Байді Владиславу Дмитровичу ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Головуючий
завідувач кафедри інформаційних
та комп'ютерних систем,
к.т.н., доцент



Роговенко А. І.



Роговенко А. І.
Завідувач кафедри
Відділ кадрів
09 04 2026 р.