ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Сулеми-Шлапак Євгенії Станіславівни на дисертаційну роботу **Байди Владислава Дмитровича**

«Методи та інформаційна технологія діагностування відмов у напівпровідникових перетворювачах електроенергії на основі цифрових двійників»,

що представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки з галузі знань 12 Інформаційні технології

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Байди В. Д. присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі діагностування відмов у напівпровідникових перетворювачах електроенергії на основі технології цифрових двійників. Актуальність теми дисертаційного дослідження зумовлена зростанням складності сучасних електронних систем та підвищенням вимог до їхньої надійності, безперервності функціонування і своєчасного виявлення несправностей. Напівпровідникові перетворювачі електроенергії є важливими компонентами багатьох сучасних технічних систем, а їхні відмови можуть призводити до значних експлуатаційних втрат, пошкодження суміжного обладнання та тривалих простоїв. Традиційні методи діагностики (функціональне тестування, структурне тестування) не забезпечують покомпонентної діагностики під час експлуатації та не виявляють поступової параметричної деградації компонентів, а методи на основі машинного навчання потребують великих розмічених наборів даних,

мають обмежену інтерпретованість і часто є обчислювально витратними для вбудованих систем реального часу.

Крім того, тема дисертаційного дослідження є важливою з позицій комп'ютерних наук, оскільки поєднує задачі ідентифікації параметрів математичних моделей методами метаевристичної оптимізації, побудови інтерпретованих правил прийняття діагностичних рішень, проєктування розподілених програмно-апаратних систем збору та оброблення даних і оцінювання ефективності інформаційних технологій за експлуатаційними показниками.

Таким чином, тема дисертації є актуальною, відповідає сучасним напрямам розвитку технологій цифрових двійників, інтелектуальних систем діагностування та предиктивного технічного обслуговування і має як теоретичну, так і прикладну значущість.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість основних наукових положень та висновків дисертації забезпечується логічною послідовністю етапів проведеного дослідження, використанням апарату математичного та комп'ютерного моделювання, метаевристичної оптимізації, векторної алгебри, методів прийняття рішень і теорії марковських випадкових процесів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, ґрунтуються на результатах проведених досліджень, висвітлених у наукових публікаціях здобувача, та знаходять підтвердження у практичному застосуванні. Основні результати дисертаційного дослідження представлені й обговорені на міжнародних наукових конференціях і

семінарах, а також підтверджені довідками про впровадження, що засвідчує їхню наукову обґрунтованість, актуальність і практичну значущість.

Робота виконувалася в рамках міжнародних проєктів «Lab Discovery Engine» (номер проєкту 101069364) та «DIGITRANS» (ідентифікатор проєкту: 01127683-DIGITRANS-ERASMUS-EDU-2023-CBHE), а також прикладного наукового дослідження МОН України «Методи і моделі динамічної бездротової передачі енергії на основі гібридного зв'язку» (державний реєстраційний номер 0126U001717).

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна полягає насамперед у тому, що у дисертаційній роботі Байди В. Д. уперше 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/деградації елементів перетворювача, що дозволяє локалізувати причину відмови без вимірювань параметрів окремих елементів.

Також у роботі отримали подальший розвиток методи калібрування цифрових двійників перетворювачів постійного струму на основі генетичних алгоритмів, які, на відміну від існуючих, визначають еталонний сигнал для калібрування за критерієм рівновіддаленості його показників від граничних значень експериментальної вибірки, що дало змогу узгодити цифровий двійник із конкретним екземпляром фізичного об'єкта та безпосередньо використати симетричні відхилення відкаліброваної моделі від експериментальних даних як початкові пороги діагностування.

Крім того, у дисертаційні роботі розвинуто 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, що створює підґрунтя для науково аргументованого вибору архітектури інформаційних систем, орієнтованих на роботу з цифровими двійниками електронного обладнання.

Найбільш вагомим науковим результатом роботи вважаю перший із наведених. Другий результат до певної міри є складовою першого наукового результату, а третій результат має переважно інженерно-технологічний характер.

Практичне значення та впровадження

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні інформаційної технології діагностування відмов напівпровідникових перетворювачів електроенергії на основі цифрових двійників, яка забезпечує калібрування математичної моделі під конкретний пристрій, автоматизоване виявлення та локалізацію параметричних несправностей компонентів, а також експериментальну перевірку запропонованих методів із використанням технологій дистанційних лабораторій.

Практичне значення роботи підтверджено впровадженням її результатів у межах міжнародних проєктів, а також у навчальному процесі Національного університету «Чернігівська політехніка» під час викладання дисциплін «Мікропроцесорні системи» та «Джерела живлення телекомунікаційного обладнання», що засвідчено відповідними довідками.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях та академічна доброчесність

Результати дисертаційної роботи опубліковано у шести наукових статтях: одна – у виданні, що індексується у Scopus та Web of Science, і п'ять – у фахових виданнях України категорії «Б». Також отримані результати апробовано на п'яти наукових конференціях, зокрема на міжнародній конференції 2025 IEEE 35th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), матеріали якої індексуються у Scopus та Web of Science.

Публікації достатньо повно відображають основні положення роботи. Особистий внесок здобувача у працях, опублікованих у співавторстві, чітко визначено. Ознак порушення академічної доброчесності у дисертації та публікаціях не виявлено. У дисертації наведено декларацію щодо використання інструментів штучного інтелекту (для пошуку літературних джерел, написання програмного коду для побудови графіків і формування переліку умовних позначень) із зазначенням відповідальності автора за остаточний зміст роботи, що відповідає принципам академічної доброчесності.

Зміст дисертації

Дисертація є цілісною науковою роботою, зміст якої відповідає заявленій меті, об'єкту, предмету та завданням дослідження. Структурно робота містить анотації українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки.

У першому розділі проаналізовано основні типи несправностей у силовій електроніці, традиційні та інтелектуальні методи діагностики електронного обладнання, концепцію цифрових двійників, методи їх побудови та ідентифікації параметрів моделей, а також сучасний стан

технологій дистанційних лабораторій. Визначено невирішені наукові проблеми та сформульовано мету і завдання дослідження.

Другий розділ присвячений розробленню інтегрованого методу онлайн-діагностування: формалізовано векторне представлення вхідних і вихідних параметрів пристрою, нормалізацію різниці векторів, механізм «сірої зони», діагностичний алгоритм на основі таблиці відповідності з розширеним форматом множинних ступенів впливу, систематизовано методи генерації таблиць відповідності та виконано програмну реалізацію методу для понижуючого перетворювача постійного струму.

У третьому розділі обґрунтовано вибір генетичного алгоритму для ідентифікації паразитних параметрів, запропоновано метод калібрування цифрового двійника за критерієм рівновіддаленості еталонного сигналу, виконано ідентифікацію паразитних параметрів і визначено інформаційну технологію діагностування відмов.

Четвертий розділ присвячено вибору технологій дистанційних лабораторій для імплементації розробленої інформаційної технології діагностування: проаналізовано поширені системи дистанційних лабораторій, запропоновано метод їх порівняння за інтегральним показником та виконано його апробацію для шести технологій.

У п'ятому розділі описано програмно-апаратний комплекс дистанційної лабораторії силової електроніки, наведено результати тестування точності та швидкодії розробленої системи діагностування, а також побудовано марковську модель готовності перетворювача для оцінювання ефективності онлайн-діагностування.

У висновках узагальнено основні результати дослідження, сформульовано висновки щодо досягнення поставленої мети та окреслено перспективні напрями подальших досліджень.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Незважаючи на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи здобувача Байди Владислава Дмитровича, потрібно зазначити наступне.

1. У дисертаційній роботі, поряд із розробленням методів калібрування цифрового двійника та діагностування несправностей напівпровідникових перетворювачів електроенергії, значну увагу приділено розробленню підходів до порівняння технологій побудови дистанційних лабораторій та вибору програмної платформи їх реалізації. Ці результати мають допоміжний характер щодо основної наукової задачі та лежать поза межами предмета дослідження. При цьому метод порівняння технологій дистанційних лабораторій винесено до положень наукової новизни. На мою думку, більш чітке визначення формальних ознак та меж дослідження сприяло б кращому розкриттю цілісності дисертаційної роботи.
2. На рис. 2.7 (с. 90) частину блок-схеми названо «Періодичний алгоритм», що є термінологічно некоректним: «періодичність» не є властивістю, яку можна застосувати до поняття «алгоритм», натомість вона стосується необхідності періодичного запуску наведеного алгоритму, тому доцільно було б говорити про «алгоритм циклу діагностування» або «процедуру онлайн-діагностування, що виконується періодично». Крім того, блок-схема не відповідає вимогам ДСТУ ISO 5807 та галузевих стандартів.
3. У роботі недостатньо формалізовано процедуру визначення вагових коефіцієнтів та оцінювання окремих критеріїв (п. 4.2) при проведенні порівняльного аналізу інформаційних технологій дистанційних лабораторій. Зокрема, не наведено чітких правил присвоєння відповідних оцінок та не розкрито процедуру забезпечення об'єктивності й узгодженості експертних оцінок. Оскільки найвищу оцінку отримала технологія LabDiscoveryEngine (п. 4.3), у розроблені якої брав участь

здобувач, залучення незалежних експертів посилило б об'єктивність та прозорість висновків.

4. У п. 5.1.3 (с. 169) вжито вираз «патерн Monorepo», який є невдалим з термінологічного погляду: організація вихідного коду кількох складових системи в одному репозиторії є підходом до керування кодом, а не «патерном» (шаблоном проєктування). Загалом у тексті дисертації присутні англіцизми та непрекладені англомовні терміни («use cases», «persistence layer», «real-time режим» тощо), тоді як доцільніше було б використовувати усталені українські відповідники.
5. У п'ятому розділі для оцінювання впливу запропонованої системи діагностування на експлуатаційну готовність перетворювача використано марковську модель із п'ятьма станами, за якою коефіцієнт готовності зростає з 0,9976 до 0,9994. Водночас модель не враховує хибних спрацювань діагностичної системи: здобувач зазначає це як обмеження, однак не оцінює кількісно. Доцільно було б визначити правило агрегування результатів вимірювань, оцінити відповідну частоту хибних втручань і чіткіше розмежувати експериментально підтверджені характеристики діагностування та розрахункові оцінки експлуатаційного ефекту.
6. У роботі наявні неузгодженості та редакційні недоліки, зокрема: в англомовній анотації помилково вказано п'ять додатків замість шести; оформлення підписів рисунків виконано неоднаково («Рис. 2.1.» та «Рисунок 3.3»); у тексті зустрічаються розмовні вирази («табличка»).

Висновок

Наведені вище зауваження не є визначальними та не применшують загальну наукову новизну й практичну значущість результатів дослідження і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертація Байди Владислава Дмитровича «Методи та інформаційна технологія діагностування відмов у напівпровідникових

перетворювачах електроенергії на основі цифрових двійників» є завершеною науковою працею, в якій отримані обґрунтовані наукові результати. Дисертація відповідає вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт, зокрема зміст дисертації загалом відповідає галузі знань 12 Інформаційні технології, спеціальності 122 Комп'ютерні науки, а також вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установ), який затверджений Постановою Кабінету міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами від 08 квітня 2025 р. № 426), в тому числі вимогам, передбаченим пп. 6, 7, 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 року № 44 (зі змінами від 03 травня 2024 р. № 507), а її автор, Байда Владислав Дмитрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент,

Євгенія СУЛЕМА-ШЛАПАК,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем
Національного технічного
університету України «Київський
політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Відділ кадрів і архівної справи № 6

Підпис гр.
ЗАСВІДЧУЮ
Відділ кадрів та діловодства
Підпис пр-ще