

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Сторчака Анатолія Вячеславовича
на тему «Система вихрострумowego вимірювання приповерхневих радіальних
профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 – «Автоматизація та приладобудування»
за спеціальністю 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність теми дисертації є безсумнівною в умовах розвитку сучасних технологій контролю якості продукції та точності вимірювань фізико-механічних властивостей матеріалів. Її розкриття дає змогу значно покращити ефективність та точність контролю електрофізичних властивостей матеріалів вихрострумовим методом, що впливає на надійність і безпеку продукції. В цілому проблема вимірювання електрофізичних характеристик матеріалу циліндричних об'єктів є важливою для багатьох галузей промисловості – машинобудування, енергетики, матеріалознавства та ін. Розроблення методів вимірювання приповерхневих профілів електропровідності та магнітної проникності металів і сплавів в реальному часі, має критичне значення для забезпечення високих стандартів якості продукції. Зокрема, це дає змогу своєчасно виявляти дефекти на ранніх стадіях їх зародження та розвитку, оптимізувати технологічні процеси та зменшити витрати на виробництво, що є важливим фактором підвищення конкурентоспроможності підприємств. Таким чином, питання вдосконалення методів вихрострумowego контролю електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів є не тільки науково значущим, але й практично доцільним для широкого впровадження в різні галузі промисловості.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Робота має добре продуману структуру, матеріал представлений чітко та послідовно, а завдання дослідження визначені однозначно. Наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в такому.

— Вперше розроблено експрес-метод вимірювання радіальних приповерхневих профілів електричної провідності та магнітної проникності в об'єктах циліндричної форми, який відрізняється тим, що для швидкого пошуку розподілів за результатами одноразового вимірювання прохідним вихрострумовим перетворювачем використовується технологія Lookup tables. Крім того застосовується додаткова таблиця другого рівня, що генерується динамічно за допомогою високопродуктивної сурогатної моделі з апіорним накопиченням інформації, що дозволяє забезпечити одночасне сумісне визначення профілів у реальному часі з більш високою точністю реконструкції порівняно з первинною LUT-таблицею.

— Вперше обґрунтовано та розроблено серію комп'ютерних однорідних планів експериментів, які створені на основі квазівипадкових R-послідовностей Робертса та включають додаткову надлишкову апіорну інформацію щодо врахування найбільш значущих факторів, які впливають на сигнал вихрострумового перетворювача. Це дало змогу покращити об'ємну гомогенність планів та їх 2D-проекцій, гарантуючи низькі показники центрованої та циклічної розбіжностей, що створило сприятливі умови для точної побудови нейромережевої сурогатної моделі та накопичення числової інформації про приховані закономірності процесу вихрострумового вимірювання.

— Вперше розроблено метод побудови сурогатної моделі процесу вихрострумового контролю циліндричних об'єктів за допомогою трансформаторних перетворювачів, який передбачає використання двох дійснозначних повнозв'язних глибоких нейронних мереж з загальними входами та окремими виходами для дійсної та уявної частин електрорушійної сили перетворювача. Це дозволило виконати не лише високоточну апроксимацію електродинамічної моделі, а й динамічне створення таблиць другого рівня в методі Lookup tables для забезпечення необхідної точності відтворення профілів, без явної інформації про рівняння Максвелла та методи їх розв'язання, з високою

обчислювальною продуктивністю в реальному часі.

У процесі дослідження автор використав нейромережеві методи апроксимації, що забезпечило високу точність результатів, які відповідають вимогам точності для застосування в реальному часі. Отримані результати були перевірені за допомогою незалежних методів числового моделювання та верифікації з експериментальними даними, що підтверджує їх достовірність.

Таким чином, наукове завдання в дисертаційній роботі виконано в повному обсязі, здобувач успішно оволодів методологією наукової діяльності.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, а також двох додатків. До кожного розділу наводиться список використаних джерел зі 151 найменування. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 160 сторінок, у тому числі 123 сторінки основного тексту, ілюстрованого 56 рисунками, який містить 30 таблиць.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Сторчака А. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та напрямам досліджень відповідно до освітньої програми Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інформаційно-вимірювальної-техніки.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сторчака Анатолія Вячеславовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

4. Мова та стиль викладення результатів

Дисертація написана українською мовою, використовує чітку наукову термінологію, що відповідає вимогам сучасної метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Результати подані послідовно і зрозуміло, що полегшує сприйняття складних технічних аспектів роботи.

У вступі здобувач обґрунтував актуальність теми, визначив мету та завдання дослідження, сформулював наукову новизну і практичне значення результатів, а також особистий внесок, апробацію роботи, публікації та структуру дисертації.

У першому розділі розглянуто застосування існуючих і перспективних методів для вирішення обернених задач, зокрема для вихрострумових вимірюваннях. Обрано метод сурогатних моделей на основі нейронних мереж, що забезпечують точну апроксимацію складних функцій. Описано приклади оптимальних планів комп'ютерного експерименту із використанням квазі-випадкових послідовностей.

Другий розділ містить підхід до створення сурогатних моделей з використанням глибоких нейронних мереж, що дозволяє уникнути обчислень з високовартісними моделями. Описано метод створення однорідних комп'ютерних планів для побудови багатфакторних моделей зі складною топографією відгуку. Розроблено метод вихрострумового вимірювання профілів електрофізичних параметрів.

Третій розділ присвячений програмному забезпеченню моделювання процесу вимірювання профілів електрофізичних характеристик, результатам обчислень за аналітичною моделлю і методом скінченних елементів, а також створенню комп'ютерної моделі на мові програмування Python. Описано метод створення вибірок для експериментів з апроксимацією змін профілів електрофізичних характеристик.

Четвертий розділ присвячений апаратній частині приладу для вихрострумових вимірювань і застосуванню методу Lookup tables для визначення профілів електричної провідності та магнітної проникності. Розглянуто створення

вихрострумового структуроскопа для визначення електрофізичних характеристик. У загальних висновках сформульовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, які виконано відповідно до поставлених завдань.

У додатках представлено матеріали, які підтверджують новизну запропонованих технічних рішень та практичну цінність роботи.

Оформлення тексту відповідає вимогам наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

5. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи висвітлені у наукових публікаціях здобувача, зокрема у 27 наукових роботах, в тому числі 8 статтях, із яких 3 статті у закордонних періодичних наукових виданнях; 2 статті у виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 4 статі у періодичних наукових виданнях, включених до наукометричної бази Web of Science; 1 стаття у періодичному науковому виданні, включеному до наукометричної бази Scopus; 1 стаття в періодичному закордонному фаховому виданні. Інші 19 публікацій – у матеріалах конференцій

Науковий рівень публікацій здобувача є високим, оскільки їх значна частина опублікована у фахових наукових виданнях, зокрема у тих, що входять до міжнародних наукометричних баз, таких як Web of Science та Scopus. Це свідчить про міжнародне визнання результатів досліджень, що підвищує наукову значущість роботи здобувача.

Щодо дотримання принципів академічної доброчесності, всі публікації здобувача є оригінальними та прозорими. У текстах правильно зазначені всі джерела, на які посилається автор, що підтверджує відсутність плагіату.

Якість і кількість публікацій відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради

закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Дисертація є завершеною науковою роботою, що містить важливі наукові та практичні досягнення. Проте існують деякі аспекти, які потребують подальшого вдосконалення:

1. В дисертації не показано яким чином впливає помилка вимірювань амплітуди і фази сигналів вихрострумів перетворювачів на результати вимірювань профілів об'єктів.
2. Деякі публікації здобувача спрямовані на визначення електрофізичних профілів об'єктів методом сурогатної оптимізації. Проте, ця задача вирішується в дисертації на основі використання технології Lookup table. Чим можна пояснити таку зміну підходу?
3. В дисертації стверджується про внесення апріорної інформації щодо об'єктів контролю в сурогатну модель. Що це дає для спрощення пошуку розв'язку задачі? Необхідно більш чітко деталізувати яка інформація може бути внесена таким чином.
4. З тексту дисертації незрозуміло, яким чином здобувач визначив прийнятну похибку при створенні апроксимаційної нейромережевої сурогатної моделі. Чи повинні бути співставні похибки для апроксимації дійсної та уявної частин електрорушійної сили перетворювача та які висувуються вимоги до величини цих похибок?
5. Потребує додаткового пояснення логіка визначення кількості точок однорідного комп'ютерного плану експерименту на R послідовностях Робертса.
6. В розділі 4 викладено результати розроблення апаратно-програмного комплексу визначення приповерхневих профілів електрофізичних

характеристик циліндричних об'єктів, але відсутня інформація про технічні характеристики такі як частота збудження перетворювача, діапазони вимірювання електропровідності та магнітної проникності, глибина контрольованої приповерхневої зони тощо. Це ускладнює оцінювання меж практичного застосування розробленого комплексу.

7. Наявність в структурі вихрострумowego структуроскопу цифрового синтезатору сигналів збудження перетворювача вказує на те, що засіб орієнтований на роботу в певному інтервалі частот. Разом з цим автор використав для визначення фази сигналів перетворювача детектор на логічному елементі XOR з фільтром низької частоти. Останній має свою фазочастотну характеристику. Варіація частоти збудження призводить до виникнення додаткової фазочастотної похибки при вимірюванні фази. Ця похибка може бути врахована, наприклад, шляхом калібрування засобу. Чи передбачена така процедура алгоритмом роботи засобу?

Загалом ці зауваження не зменшують загальної позитивної оцінки роботи та не впливають на її практичну значущість.

7. Висновок про дисертаційну роботу

Дисертація Сторчака Анатолія Вячеславовича на тему «Система вихрострумowego вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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.

Здобувач Анатолій Вячеславович Сторчак заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук (спеціальність 05.11.16), професор, професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»



Ю. Куц Юрій КУЦ

