

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Сторчака Анатолія Вячеславовича

на тему «Система вихрострумового 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 обраної теми дисертаційної роботи є незаперечною і визначається постійним розвитком і вдосконаленням методів вимірювання та контролю матеріалів, що застосовуються в різних галузях промисловості, зокрема в енергетиці, машинобудуванні, автомобільній та аерокосмічній промисловості. Однією з важливих проблем є точне визначення електрофізичних характеристик матеріалів, які дозволяють опосередковано оцінювати механічні та фізичні властивості твердотільних об'єктів. Йдеться про електричну провідність та магнітну проникність об'єктів циліндричної форми.

Принцип вихрострумового вимірювання для дослідження приповерхневих характеристик електрофізичних параметрів твердотільних об'єктів є високоефективним і інноваційним. Вимірювання зазначених параметрів безпосередньо впливає на результат оцінювання стану матеріалів після термічної або термохімічної обробки. Цей факт підтверджує те, що тематика дослідження є актуальною для підвищення точності та швидкості контролю в реальному часі, що є важливим для підвищення ефективності контролю, збільшення терміну працездатності

продукції, а також для мінімізації витрат у процесі її виготовлення. Підвищення ефективності вимірювань у реальному часі за допомогою новітніх методів нейромережових моделей та оптимальних планів експериментів робить запропоновану тему дослідження не тільки науково значущою, але й раціональною з технічної точки зору.

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

Отримані здобувачем наукові результати заслуговують високої оцінки. Робота має чітку структуру, матеріал подано в логічній послідовності, завдання дослідження чітко визначені. Наукові положення, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження містить такі положення:

- вперше розроблено експрес-метод для 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 системи контролю використовується технологія «Lookup tables» з використанням додаткової таблиці другого рівня, яку генерують 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 таблицею першого рівня;

- вперше обґрунтовано та розроблено серію комп'ютерних однорідних планів експериментів, які створено на основі квазівипадкових R-послідовностей Робертса та які включають додаткову надлишкову апіорну інформацію щодо врахування найбільш значущих факторів, що

впливають на сигнал вихрострумowego перетворювача, і саме такий підхід дозволив покращити об'ємну гомогенність планів та їх 2D-проекцій, гарантуючи низькі показники центрованої та циклічної розбіжностей, що створює сприятливі умови для точного побудови нейромережевої сурогатної моделі та накопичення числової інформації про приховані закономірності процесу вихрострумowego вимірювання;

– вперше розроблено метод побудови сурогатної моделі процесу вихрострумowego 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 ЕРС перетворювача, що дозволило здійснити не лише високоточну апроксимацію електродинамічної моделі, а й динамічний синтез 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 масштабі часу.

Результати, отримані в процесі досліджень, було перевірено з використанням незалежних методів числового моделювання та верифікації з експериментальними даними, що дозволяє зробити висновок про їх достовірність. У процесі дослідження автором було використано нейромережеві методи апроксимації, що дало змогу отримати результати, які задовольняють вимогам точності для практичного застосування в реальному часі.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, а здобувач наукового ступеня повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи, загальні висновки і два додатки. Кожен розділ має актуальний список використаних джерел, що містить загалом 151 найменування. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 160 сторінок, у тому числі 123 сторінки основного тексту, ілюстрованого 56 рисунками і який містить 30 таблиць.

За змістом дисертаційна робота здобувача Сторчака А. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та напрямкам 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 метрології та 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 з використанням зрозумілої, науково обґрунтованої термінології в галузі метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Висвітлення результатів є послідовним і чітким, що спрощує сприйняття складних технічних аспектів роботи.

У вступі здобувачем обґрунтовано актуальність теми дисертації, мету і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне

значення отриманих результатів, наведено особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертаційної роботи, інформацію щодо публікацій, структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розглянуто застосування наявних і перспективних методів для вирішення обернених задач, зокрема в контексті вихрострумових вимірювань. Обрано метод сурогатних моделей на основі нейронних мереж, що забезпечують точну апроксимацію складних функцій. потрібен, описано приклади побудови оптимального плану комп'ютерного експерименту з використанням квазі-випадкових послідовностей для створення адекватної моделі.

Другий розділ містить підхід до створення сурогатних моделей з використанням глибоких нейронних мереж, що дозволило уникнути обчислень із високовартісними моделями. Описано метод створення однорідних комп'ютерних планів експериментів, що дозволяють будувати багатофакторні моделі з складною топографією відгуку. Розроблено метод вихрострумового вимірювання профілів електрофізичних параметрів.

Третій розділ присвячено опису програмного забезпечення для моделювання вимірювання профілів електрофізичних характеристик. Наведено результати обчислень за аналітичною моделлю і методом скінченних елементів, а також створено комп'ютерну модель на Python. Описано метод створення вибірок для експериментів з апроксимацією змін профілів електрофізичних характеристик.

Четвертий розділ містить розроблення апаратної частини приладу для вихрострумових вимірювань і застосування методу «Lookup tables» для визначення профілів електричної провідності та магнітної проникності. Розглянуто процес створення вихрострумового структуроскопа для визначення електрофізичних характеристик.

У **загальних висновках** до дисертаційної роботи сформульовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень,

представлених у роботі, відповідно до порядку та кількості сформульованих у вступі завдань дослідження.

У **додатках** наведено 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, серед яких 3 статті у закордонних періодичних наукових виданнях; 2 статті у виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 4 статті 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 представляють матеріали доповідей на конференціях.

Науковий рівень публікацій здобувача є високим, оскільки більшість з них опубліковані у наукових фахових виданнях, зокрема в тих, що входять до міжнародних наукометричних баз Web of Science та Scopus. Це свідчить про те, що результати досліджень отримали визнання на міжнародному рівні, що підвищує наукову значущість і вплив роботи здобувача.

Щодо дотримання принципів академічної доброчесності, усі наукові публікації здобувача є чесними і прозорими. У текстах публікацій вірно вказані всі джерела, на які посилається автор, що підтверджує відсутність плагіату.

Кількість та якість 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, є повністю висвітленими у наукових публікаціях здобувача.

6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Дисертація є завершеною науковою працею, яка містить значні наукові та практичні досягнення. Однак є кілька аспектів, які потребують подальшого вдосконалення:

1. В рукописі не наведено жодної інформації про оцінювання метрологічних характеристик використаних вихрострумівих перетворювачів, детекторів амплітуди і фази, аналого-цифрових перетворювачів і підсилювачів, обраних автором для реалізації інформаційно-вимірювальної системи, та їх вплив на результати «точного моделювання» процесів вихрострумівого контролю.
2. В рукописі не наведено жодної інформації про оцінювання впливу стандартної невизначеності або природної варіації амплітуди і фази сигналу на виході вихрострумівого перетворювача на остаточні результати апроксимації електродинамічної моделі і точність відтворення приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів.
3. В дисертації не наведено інформації про експериментальні дослідження запропонованого методу відтворення приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів, що потребує окремого пояснення.
4. Використані в тексті рукопису терміни «точна електродинамічна модель процесу вимірювання», «точна ресурсозатратна модель»,

«точне моделювання процесів вихрострумowego контролю» і т. п. потребують додаткового уточнення з боку автора рукопису.

5. Викликає певні сумніви використання терміну «вихрострумівий структуроскоп», адже запропоновану інформаційно-вимірювальну систему призначено в першу чергу для вимірювання параметрів двох радіальних профілів електрофізичних характеристик, а не для дослідження структури об'єктів контролю.
6. В рукописі відсутнє чітке пояснення походження «точної» математичної моделі фізичного процесу взаємодії електромагнітного поля з циліндричними об'єктами контролю.
7. В тексті рукопису зустрічаються деякі термінологічні та стилістичні неточності.

Вважаю, що зазначені вище зауваження не є визначальними, не зменшують загальної наукової новизни та практичної цінності отриманих автором результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

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 завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має важливе 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-вимірвальна техніка».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор,
декан факультету систем управління
літальних апаратів Національного
аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського "Харківський
авіаційний інститут"



Олександр ЗАБОЛОТНИЙ

Підпис Заболотного О.В. засвідчую:
Вчений секретар Національного
аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського "Харківський
авіаційний інститут"



Тетяна БОНДАРЄВА