

# **РЕЦЕНЗІЯ**

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 дисертаційної роботи зумовлена постійним розвитком та удосконаленням методів вимірювання і контролю матеріалів, які широко застосовуються в різних галузях промисловості, зокрема в енергетиці, машинобудуванні, автомобільній та аерокосмічній промисловості. Вибір методу вихрострумового вимірювання для дослідження приповерхневих електрофізичних характеристик є високоефективним та інноваційним. Оскільки такі вимірювання безпосередньо впливають на оцінку стану матеріалів після термічної або термохімічної обробки, ця тема є важливою для підвищення точності та швидкості контролю в реальному часі. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню безпеки та довговічності продукції, а також мінімізації витрат у процесі її виготовлення.

Застосування сучасних нейромережових моделей та оптимальних експериментальних планів для підвищення ефективності вимірювань у реальному часі робить запропоновану тему дослідження науково значущою та технічно доцільною.

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

Наукові результати, отримані здобувачем, обґрунтовані та достовірні, мають ознаки наукової новизни.

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у наступному:

1) вперше запропоновано експрес-метод для вимірювання радіальних приповерхневих профілів електричної провідності та магнітної проникності циліндричних об'єктів. На відміну від існуючих, новий метод використовує технологію Lookup tables для швидкого аналізу результатів одноразового вимірювання за допомогою вихрострумowego перетворювача. Застосування додаткової динамічно генерованої таблиці другого рівня, побудованої за допомогою сурогатної моделі з накопиченням апіорної інформації, забезпечує підвищення точності реконструкції профілів у реальному часі;

2) вперше розроблено серію комп'ютерних однорідних планів експериментів на основі квазівипадкових R-последовностей Робертса. На відміну від існуючих, ці плани враховують додаткову інформацію про найбільш значущі фактори, які впливають на сигнал вихрострумowego перетворювача. Це дозволяє покращити об'ємну гомогенність планів та їх 2D-проекцій, знизити показники центрованої та циклічної розбіжностей, підвищити точність нейромережевої сурогатної моделі;

3) вперше розроблено метод побудови сурогатної моделі процесу вихрострумowego контролю циліндричних об'єктів за допомогою трансформаторних перетворювачів. Цей метод включає використання двох дійснозначних повнозв'язних глибоких нейронних мереж із спільними входами та окремими виходами для дійсної та уявної частин ЕРС перетворювача. Це дозволяє підвищити точність апроксимації електродинамічної моделі, забезпечити створення таблиці другого рівня в методі Lookup tables, забезпечити точність відтворення профілів та підвищити обчислювальну продуктивність в реальному часі.

### **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, що містить загалом 157 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 171 сторінку, у тому числі 123 сторінки основного тексту, ілюстрованого 56 рисунками, який містить 30 таблиць.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Сторчака А. В. Відповідає освітньо-науковій програмі «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» зі спеціальності 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею.

Порушення принципів академічної доброчесності не виявлено.

### **4. Мова та стиль викладення результатів**

Дисертація написана українською мовою із використанням наукової термінології. Стиль науково-інженерний. Результати дослідження представлені послідовно та логічно.

У **вступі** автор обґрунтовує актуальність теми, формулює мету та завдання дослідження, визначає наукову новизну, практичну цінність результатів, особистий внесок, а також наводить дані про апробацію роботи, публікації та описує структуру дисертації.

**Перший розділ** присвячений аналізу існуючих та перспективних методів розв'язання обернених задач, зокрема у контексті вихрострумових вимірювань. Обрано метод сурогатних моделей на основі нейронних мереж, що забезпечує точну апроксимацію складних функцій. Також представлені приклади оптимальних комп'ютерних експериментів з використанням квазі-випадкових послідовностей.

**Другий розділ** описує підхід до створення сурогатних моделей за допомогою глибоких нейронних мереж, що дозволяє уникнути обчислень за дорогими моделями. Розглянуто методику формування однорідних комп'ютерних планів для побудови багатofакторних моделей з урахуванням складної топографії відгуку, а також розроблено метод вихрострумowego вимірювання профілів електрофізичних параметрів.

**Третій розділ** присвячений програмному забезпеченню для моделювання вимірювання профілів електрофізичних характеристик, включаючи результати обчислень за аналітичною моделлю та методом скінченних елементів, а також розробці комп'ютерної моделі на Python. Описано методику формування вибірок для експериментів з апроксимації змін профілів електрофізичних характеристик.

**Четвертий розділ** охоплює апаратну частину приладу для вихрострумових вимірювань та застосування методу Lookup tables для визначення профілів електричної провідності та магнітної проникності. Розглянуто створення вихрострумowego структуроскопа для визначення електрофізичних характеристик.

У **загальних висновках** підсумовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень.

В **додатках** надано матеріали, що підтверджують новизну запропонованих технічних рішень та їх практичну цінність.

Дисертація оформлена відповідно до вимог 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 статей 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

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.

## 6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів, слід зазначити її недоліки та дискусійні положення.

1. У дисертаційній роботі недостатньо проаналізовані ознаки, які відрізняють отримані результати від існуючих аналогів, зокрема від методів багатопланового моделювання.
2. Робота містить ряд дискусійних положень, які потребують уточнення.

Зокрема:

– на сторінці 100 дисертації стверджується: «Поєднання швидкості обрахунків й їх точності забезпечується використанням методології замісного моделювання, тобто сурогатним моделюванням». При цьому не наводиться посилання на джерело, чи не наводяться інші підтвердження того, що сурогатне моделювання є саме методологією;

– на сторінці 105 дисертації сказано, що "Виходячи з точної аналітичної моделі ..." при цьому не наведені характеристики точності аналітичної моделі. Це ставить під сумнів наступні висновки, які ґрунтуються на цьому твердженні;

– на сторінці 139 дисертації зазначається: «Вибірка попередньо довільно була розділена на три частини: навчальну (64%), тестову (16%),

контрольну (20%)." Не доведено, що при іншому "довільному" розподілу точок спостереження результат не зміниться;

– на сторінці 139 дисертації: «"MSE нейронних мереж при нормованих значеннях для дійсної та уявної складових відповідно 0,00044784 і 0,00019249"». Не указана розмірність MSE. Не указані експериментальні дані (бажані виходи моделі), по відношенню до яких розраховувалась середня похибка;

– на сторінці 152 дисертації, у висновках до розділу 3 зазначено: «"Результати обчислень обраної та реалізованої “точної” аналітичної моделі на мові програмування Python 3 при верифікації порівнянням з числовим методом скінченних елементів (COMSOL Multiphysics) свідчать про досить високу точність розрахунків за обраною аналітичною моделлю". Порівняння одних результатів моделювання з іншими результатами моделювання не свідчить про високу точність розрахунків, якщо не доведено, що модель, з якою порівнюють, є еталоном;

– на сторінці 152 дисертації, у висновках до розділу 3 стверджується: «Зазначені вище результати верифікації дозволяють вважати реалізовану програмними засобами “точну” модель адекватною". Не можна робити висновки про адекватність моделі на підставі ознак точності;

– на сторінці 154 дисертації, у висновках до розділу 3 стверджується: «Це дозволяє стверджувати про створення методу розв’язку обернених вимірювальних задач вихрострумової структуроскопії щодо одночасного визначення профілів електрофізичних параметрів об’єкта контролю в реальному масштабі часу». Це непевне твердження. Нема формалізації методу у формі функціональної схеми. Не визначені граничні умови застосування методу. Не визначений перелік значимих факторів (наприклад способи розбиття вхідних даних). Не досліджені впливи значимих факторів. Не наведені способи компенсації впливів значимих факторів.

3. В дисертації наведені графіки на рис. 3.6, рис. 3.7 та рис. 3.8. З якою метою вони наведені здобувачем та в чому на його думку полягає їх цінність?
4. З тексту дисертації є незрозумілим за якими показниками визначалася прийнятність створених нейромережових сурогатних моделей. Як контролювалася можливість перенавчання нейронних мереж, до чого може призвести виникнення такої ситуації?

На мою думку, врахування зазначених зауважень дозволить підвищити обґрунтованість та покращити характеристики результатів моделювання за новим методом. Але ці зауваження не знижують цінність уже отриманих результатів та 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 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-вимірвальна техніка».

**Рецензент:**

Доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри програмного  
забезпечення автоматизованих систем  
Черкаського державного  
технологічного університету



Сергій ГОЛУБ

Підпис Голуба С.В. засвідчую  
Учений секретар Черкаського  
державного технологічного  
університету, к.т.н., доцент



Ірина МИРОНЕЦЬ