

Відгук

офіційного опонента про дисертаційну роботу

Трембовецької Руслани Володимирівни

«Теорія оптимального синтезу накладних вихрострумів перетворювачів для комп'ютерних систем неруйнівного контролю», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації

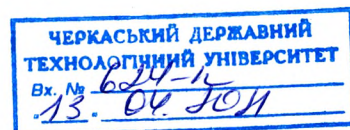
Стрімкий розвиток різноманітних галузей промисловості сприяє оновленню та переоснащенню систем неруйнівного контролю, що без сумнівно позитивно відбивається на якості продукції, що значно зменшує брак на різних етапах виробництва. Однією із задач дефектометрії є ідентифікація дефектів та встановлення їх форми, допустимих розмірів, прийнятності структурних відхилень, необхідною умовою успішного проведення якої є досконалі вихрострумів перетворювачі, що мають однорідну чутливість в зоні контролю. Завдяки цьому створюється повноінформаційний сигнал перетворювача на дефект, а це сприяє їх найліпшому виявленню та ідентифікації, що надалі впливає на якісну оцінку параметрів цих дефектів комп'ютерними системами неруйнівного контролю.

Тому дисертаційна робота Трембовецької Руслани Володимирівни, що присвячена вирішенню наукової проблеми створення теорії оптимального параметричного синтезу всього класу рухомих вихрострумів перетворювачів із наперед заданою однорічною чутливістю в зоні контролю є актуальною. І вирішення якої забезпечує необхідні умови щодо ідентифікації дефектів при використанні комп'ютерних систем неруйнівного контролю.

Основний зміст роботи

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження. Сформульовано проблему, наукові завдання, наведено основні наукові та практичні результати. Відзначено особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертаційної роботи на конференціях, наведено відомості про публікації.

У **першому** розділі здобувачем проведено аналіз науково-прикладної проблеми, вивчено сучасний стан розвитку комп'ютерних систем неруйнівного електромагнітного контролю плаского металопрокату, слябів, отриманих в



результаті роботи машин безперервного лиття заготовок на підприємствах чорної металургії.

В розділі проведено систематизацію та критичний аналіз, відомих з науково-технічних джерел інформації, певних ідей, підходів та методів до створення систем збудження вихрострумівих перетворювачів, які реалізують однорідний розподіл густини вихрових струмів в зоні контролю об'єкта.

Автором встановлено, що у випадку автоматичного контролю в «потоці», нехтувати ефектом швидкості при вихрострумівому контролі не можна, оскільки існують додатково наведені струми перенесення.

Зроблено висновок про необхідність створення теорії оптимального синтезу рухомих вихрострумівих перетворювачів з однорідною чутливістю до дефектів, що є можливим в результаті виконання умов щодо однорідності саме для розподілу густини вихрових струмів в зоні контролю об'єкта, а не для розподілу напруженості електромагнітного поля в зоні, як у випадку статичних вихрострумівих перетворювачів.

В розділі проведено також огляд відомих математичних методів розв'язку нелінійних обернених некоректно поставлених електродинамічних задач та показано доцільність оптимізаційного методу.

Здобувачем звернена увага на неможливість виконання процедур класичної оптимізації внаслідок неприпустимо великих затрат обчислювального часу. Тому запропоновано використання технологій сурогатної оптимізації, коли замість «точної», але складної для обчислень та ресурсомісткої, електродинамічної моделі системи збудження для побудови цільової функції застосовують значно менш ресурсомістку модель-замісник, тобто метамодель. В розділі проведено огляд методів створення метамodelей, які розрізняють використанням для їх побудови математичним апаратом. Розглянуто їх переваги та недоліки з погляду на придатність для апроксимації гіперповерхонь відгуку, яким притаманна суттєва нелінійність та нерегулярність поведінки. Зроблено висновок щодо доцільності створення багатовимірних метамodelей, що описують розподіл густини вихрових струмів в зоні контролю об'єкта, з використанням нейромереж як універсальних апроксиматорів, здатних забезпечити прийнятну точність.

У **другому** розділі дисертаційної роботи розроблено методологію сурогатного оптимального синтезу всього класу рухомих вихрострумівих перетворювачів із однорідною чутливістю в зоні контролю. Розглянуто основні методи, що складають запропоновану методологію. По-перше, наведено узагальнену для кругових та рамкових систем збудження «точну»

електродинамічну модель; по-друге, метод генерування багатовимірних однорідних комп'ютерних планів експериментів з гарантовано низькими показниками розбіжностей на основі комбінацій квазівипадкових R_d -послідовностей; а також створений адитивний комітетний нейромережевий метод побудови багатовимірних метамodelей систем збудження вихрострумів перетворювачів. Та методи пошуку глобальних екстремумів цільової функції засобами умовної стохастичної метаевристичної оптимізації; метод остаточної оцінки похибки синтезу бажаного розподілу густини вихрових струмів за «точною» електродинамічною моделлю.

У **третьому** розділі показано методи оптимального сурогатного синтезу кругових рухомих накладних вихрострумів перетворювачів з планарною та об'ємною структурами систем збудження, які забезпечують однорідну чутливість до дефектів, що є необхідною умовою для розпізнавання дефектів суцільності в комп'ютерних системах контролю якості виробів. Ці методи розроблено в рамках єдиної методології оптимального синтезу всього класу рухомих вихрострумів перетворювачів, яку запропоновано в розділі 2. Побудовані метамodelі цих структур збудження мають високу обчислювальну продуктивність, що складає менше як 1 с для розрахунку в одній контрольній точці. Отримані структури збудження, як планарні так об'ємні мають переваги щодо забезпечення зони з однорідним розподілом густини вихрових струмів у порівнянні із класичними аналогами (одинарними витками).

У **четвертому** розділі на основі запропонованого єдиного методологічного підходу до синтезу рухомих вихрострумів перетворювачів створено метод оптимального сурогатного синтезу рамкових рухомих накладних вихрострумів перетворювачів з планарною структурою системи збудження. Завдяки своїй геометрії цей тип накладних вихрострумів перетворювачів відрізняється можливістю реалізації специфічних розподілів густини вихрових струмів, що сприяє ефективному використанню перетворювачів при неруйнівному контролі. Створена метамodelь також обчислювально продуктивна та дозволяє здійснювати процедуру синтезу з її використанням.

В **п'ятому розділі** розглянуто тангенціальні рамкові рухомі накладні вихрострумові перетворювачі з об'ємною структурою систем збудження, які внаслідок генерування вихрових струмів, що протікають в напрямку перпендикулярному до поверхні об'єкту контролю, мають ширшу галузь використання, а саме вони краще виявляють дефекти типу розшарувань. Відповідно до запропонованого єдиного методологічного підходу до синтезу рухомих вихрострумів перетворювачів створено метод оптимального

сурогатного синтезу тангенціальних рамкових рухомих накладних вихрострумів перетворювачів з об'ємною структурою систем збудження. Отримані результати модельних розрахунків щодо створення оптимальних систем збудження об'ємної структури для тангенціальних рухомих рамкових накладних вихрострумів перетворювачів свідчать про ефективність запропонованого методу сурогатного параметричного синтезу, що забезпечує рівномірний розподіл густини вихрових струмів на поверхні об'єкту контролю та гарантує однорідну чутливість перетворювачів до дефектів.

Наукова новизна дисертаційної роботи

1. *вперше розроблена* методологія сурогатного оптимального синтезу всього класу рухомих вихрострумів перетворювачів із однорідною чутливістю в зоні контролю, що включає також створені метод генерування багатовимірних однорідних комп'ютерних планів експериментів з гарантовано низькими показниками розбіжностей на основі комбінацій квазівипадкових R_d -послідовностей; адитивний комітетний нейромережевий метод побудови багатовимірних метамоделей вихрострумів перетворювачів. Методологія дозволяє створити нові методи оптимального сурогатного синтезу рухомих накладних вихрострумів перетворювачів різних типів, для яких є властивий однорідний розподіл густини вихрових струмів, згенерований в об'єкті контролю.

2. *вперше створено* багатовимірні нейромережеві метамоделі кругових рухомих накладних вихрострумів перетворювачів з планарною та об'ємною структурами систем збудження, які є моделями на «точну» електродинамічну модель та дозволяють внаслідок значно меншої обчислювальної ресурсомісткості здійснювати процедуру оптимального сурогатного синтезу перетворювачів, що реалізують апріорі заданий розподіл густини вихрових струмів в об'єкті.

3. *вперше побудовано* багатовимірну нейромережеву метамоделю рамкового рухомого накладного вихрострумів перетворювача з планарною структурою системи збудження, конструкція якого надає більші можливості щодо збільшення зони контролю з однорідним розподілом густини вихрових струмів. Як модель-замісник метамоделю дозволяє здійснювати швидкі обчислення розподілу густини вихрових струмів близькі за точністю до «точної» електродинамічної моделі;

4. *вперше створено* багатовимірну нейромережеву метамоделю рамкового рухомого тангенціального накладного вихрострумів

перетворювача з об'ємною структурою системи збудження, який є ефективним для ідентифікації дефектів типу розшарувань комп'ютерними системами електромагнітного неруйнівного контролю. Метамоделю характеризується високою обчислювальною продуктивністю в порівнянні із «точною» електродинамічною моделлю, що дозволяє реалізувати процедуру оптимального синтезу;

5. *вперше створено* методи оптимального синтезу кругових рухомих накладних вихрострумів перетворювачів з планарною та об'ємною структурами систем збудження, які забезпечують однорідну чутливість, що є необхідною умовою для розпізнавання дефектів суцільності в комп'ютерних системах контролю якості виробів;

6. *вперше створено* метод синтезу рамкових рухомих накладних вихрострумів перетворювачів з планарною структурою систем збудження, який дозволяє реалізувати однорідну чутливість перетворювачів в зоні контролю;

7. *вперше створено* метод синтезу рамкових рухомих тангенціальних накладних вихрострумів перетворювачів з об'ємною структурою систем збудження, використання якого дозволяє розширити зону з рівномірним розподілом густини вихрових струмів, що обумовлює однорідну чутливість перетворювачів до дефектів.

Практичне значення отриманих результатів

Практична цінність роботи полягає у наступному:

- Розширена науково-технічна база проектування рухомих вихрострумів перетворювачів для комп'ютерних систем неруйнівного контролю завдяки створеній єдиній методології сурогатного оптимального синтезу.
- Розроблені програмні засоби, які реалізують побудову багатовимірних однорідних комп'ютерних планів експериментів на основі квазівипадкових R_d -послідовностей, що дозволило отримати плани експериментів з гарантовано низькими показниками центрованої та циклічної розбіжностей. Створена програма захищена свідоцтвом №102018 України про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Програма створення багатовимірного комп'ютерного однорідного плану експерименту на основі R_d -послідовностей»».
- Створені алгоритми та програмно реалізовано розрахунки розподілу густини вихрових струмів в об'єкті контролю за «точними» електродинамічними

моделями для накладних вихрострумів перетворювачів кругових та рамкових різновидів із врахуванням ефекту швидкості.

- Створено алгоритм побудови комітетних нейромережевих метамоделей рухомих накладних вихрострумів перетворювачів з високою часовою обчислювальною продуктивністю, що дозволяє реалізувати сурогатний оптимальний синтез цих перетворювачів. Розроблені програмні засоби апроксимації багатовимірних поверхонь відгуку з прийнятною похибкою. Розроблено практичні підходи для перевірки адекватності та інформативності створених метамоделей, що ґрунтуються на перевірці статистичних гіпотез.

- Розроблені алгоритми та програмні засоби, які реалізують методи умовної оптимізації багатовимірних нелінійних цільових функцій, що дозволяє проектувати накладні вихрострумові перетворювачі із однорідною чутливістю до дефектів. Чисельним моделюванням на низці прикладів доведена ефективність розроблених засобів.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено відповідними актами впровадження. Результати проведених досліджень знайшли практичне впровадження у навчальний процес на кафедрі приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій Черкаського державного технологічного університету та кафедрі виробництва приладів НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Також отримані результати досліджень впроваджено у промисловості в АТ «Укрзалізниця», виробничий підрозділ служби сигналізації та зв'язку «Шевченківська дистанція сигналізації та зв'язку», філії «Науково-виробничого центру технічної діагностики «Техдіагаз» Черкаська діагностична дільниця АТ «Укртрансгаз».

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам до оформлення

Дисертаційна робота Трембовецької Р.В. являє собою одноосібну кваліфікаційну наукову працю, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має достатній ступінь завершеності, структурованість. Дисертація та автореферат написані науково-технічною мовою з використанням загальноприйнятих наукових термінів. Матеріали дослідження викладені логічно і послідовно. Висновки конкретні та відображають результати дослідження.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

За структурою, змістом та оформленням автореферат відповідає встановленим вимогам та загальноприйнятому стилю його викладення. Основні

структурні елементи автореферату, а саме: мета та задачі дослідження; наукова новизна; практичне значення; зміст розділів; загальні висновки; перелік опублікованих праць; особистий внесок здобувача відповідають аналогічним позиціям дисертаційної роботи.

Недоліки та зауваження до роботи

1. При побудові метамоделі системи збудження накладного вихрострумowego перетворювача із об'ємною структурою не обґрунтовано причини з яких неможливо використати глобальну RBF-нейронну мережу. Також не вказано чому для кожної декомпозиційної підобласті використано різну кількість точок для навчання нейронної мережі.

2. В розділі 3.2.2 план експерименту для створення метамоделі будувався на основі R_d -послідовностей Кронекера (рис.3.13), а вже верифікація створеної метамоделі (рис.3.16) здійснюється із застосуванням LP_r -послідовностей. Чи не вносить така розбіжність похибку в оцінку адекватності створеної метамоделі.

3. Досить не інформативним є представлення відновленої поверхні відгуку (розділ 3.2.2 рис.3.17) в різних областях зони контролю. Вважаю за доречним показати їх в одному масштабі.

4. Для метамоделі кругового накладного вихрострумowego перетворювача із об'ємною структурою системи збудження не наведено відомостей щодо нейронних мереж, які є складовими адитивної нейромережевої регресії. Доречно було б навести ці відомості, хоча б для однієї декомпозиційної підобласті.

5. В розділах 3, 4, 5 здійснюється сурогатний синтез систем збудження із застосуванням різноманітних стохастичних алгоритмів. Ці алгоритми не є розробкою автора, проте вважаю за доцільне було б навести програмну реалізацію та відповідні параметри налаштування, і обмеження, хоча б для одного прикладу.

6. Також при сурогатній оптимізації не для всіх випадків реалізації систем збудження вказується за якої кількості контрольних точок вона здійснюється.

7. В дисертації не наведено аналіз причин та факторів, що впливають на обчислювальну продуктивність різних метамоделей.

Відзначені зауваження не ставлять під сумнів основні наукові та практичні результати, і суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Завершеність, стиль викладення, публікації

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною і оформленою відповідно до вимог.

Автором опубліковано 57 наукових робіт. Основні положення опубліковано в 20-й статтях, з них 8 проіндексовано у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science; 5 – опубліковані у періодичних закордонних рецензованих виданнях; 5 – у вітчизняних фахових наукових журналах; 2 – у вітчизняних наукових журналах, проіндексованих у міжнародних наукометричних базах. Отримано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір - комп'ютерну програму.

Апробація результатів дослідження відбувалася на науково-практичних конференціях та опублікована у 36 матеріалах конференцій та тезах доповідей.

Загальна кількість друкованих робіт та якість апробованого в них матеріалу відповідає вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Трембовецької Руслани Володимирівни являє собою завершене актуальне наукове дослідження. В роботі отримано нові науково-обґрунтовані результати, які дозволяють на основі запропонованої єдиної методології сурогатного оптимального синтезу проєктувати рухомі вихрострумові перетворювачі із наперед заданою характеристикою чутливості.

Вважаю, що докторська дисертація Трембовецької Р.В. за актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, рівнем апробації та публікацій, науковою новизною та практичною цінністю отриманих результатів відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а сам автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

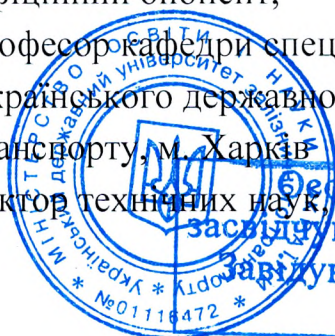
Офіційний опонент,

професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

Українського державного університету залізничного

транспорту, м. Харків

доктор технічних наук, професор



Необистий підпис
засвідчую
20 — Р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

М.А. Мірошник

М.А. Мірошник
Ірина Ольшовацька