

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д73.052.04 при Черкаському  
державному технологічному  
університеті, за адресою 18006,  
м.Черкаси, бульв. Шевченка, 460, к.1

**ВІДГУК**  
**ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**  
**про дисертаційну роботу**

**Трембовецької Руслани Володимирівни**

«Теорія оптимального синтезу накладних вихрострумівих 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

**1. Актуальність теми дисертації**

Контроль якості продукції засобами автоматизованого неруйнівного контролю використовується в багатьох галузях промисловості. Проте існує певна проблема автоматичного контролю, коли об'єкт переміщується зі швидкістю. Значні успіхи в забезпеченні необхідного рівня якості продукції останнім часом досягнуто використанням комп'ютерних систем неруйнівного контролю, зокрема електромагнітного із застосуванням накладних вихрострумівих перетворювачів.

Можна стверджувати, що попри стрімкий розвиток комп'ютерних системи неруйнівного контролю, їх складові елементи, від яких залежить ефективність роботи в цілому, потребують постійного вдосконалення і поліпшення. Окрім того, нерівномірна чутливість вихрострумівих перетворювачів класичних конструкцій обмежує можливості їх застосування до виконання завдань дефектометрії.

Отже, існує суперечливість між наявними можливостями традиційних систем збудження вихрострумівих перетворювачів, з одного боку, та вимогами щодо забезпечення однорідного розподілу густини вихрових струмів, з іншого. Ця суперечливість породжує наукову проблему, вирішення якої ставить за мету створення теорії оптимального параметричного синтезу

всього класу рухомих вихрострумових перетворювачів з однорідною чутливістю в зоні контролю, що забезпечує необхідні умови для ідентифікації дефектів порушень суцільності матеріалів і виробів в комп'ютерних системах неруйнівного контролю.

Все сказане вище свідчить про актуальність дисертаційної роботи, виконаної Трембовецькою Р.В.

## **2. Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

Дисертаційна робота Трембовецької Р.В. являє закінчене наукове дослідження.

Обґрунтованість отриманих наукових результатів, висновків і рекомендацій також підтверджується результатами проведених чисельних експериментів, апробацією результатів на наукових та науково-практичних конференціях, їх широкою публікацією у закордонних і вітчизняних наукових виданнях та впровадженням у промисловість, де використовуються комп'ютерні системи неруйнівного контролю.

Отримані в рамках розробленого підходу результати досліджень є новими як методологічно, так і за висновками і рекомендаціями.

Наукова достовірність не викликає сумнівів, оскільки вони отримані в результаті використання положень наступних теорій: електромагнітного поля, диференціальних та інтегральних рівнянь, нейронних мереж, статистики, планування експерименту, обернених задач, оптимізації, а також задовільною точністю результатів математичного моделювання.

Достовірність наукових результатів також підтверджена: верифікацією «точних» математичних моделей та створених метамоделей; успішною програмною реалізацією запропонованих методів синтезу; свідоцтвом на «Комп'ютерну програму»; рецензіями у фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, у тому числі Scopus, Web of Science.

Результати, висновки та рекомендації, що викладені в роботі, достатньо обґрунтовані, їх достовірність підкріплено апробацією та обговоренням на міжнародних науково-технічних конференціях, а також впровадженням на підприємствах України та у навчальному процесі ЧДТУ на кафедрі приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій

(м.Черкаси); на кафедрі виробництва приладів НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (м.Київ).

Все вищевикладене свідчить про обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій у дисертаційній роботі Трембовецької Р.В.

### **3.Основні наукові результати дисертації**

Отримані наукові результати створюють основу для нових методів оптимального синтезу рухомих накладних вихрострумівих перетворювачів, які відносяться до наукової новизни дисертації.

1. Вперше розроблена методологія сурогатного оптимального синтезу всього класу рухомих вихрострумівих перетворювачів із однорідною чутливістю в зоні контролю. Вона містить: створений 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 вихрострумівих перетворювачів. Розроблена методологія дозволяє створити нові методи оптимального сурогатного синтезу рухомих накладних вихрострумівих 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 вихрострумівих перетворювачів з планарною та об'ємною структурами систем збудження, які є моделями на «точну» електродинамічну модель. Це дозволяє 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 вихрострумівого 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 метамодель рамкового рухомого тангенціального накладного вихрострумowego перетворювача з об'ємною структурою системи збудження, який є ефективним для ідентифікації дефектів типу розшарувань комп'ютерними системами електромагнітного неруйнівного контролю. Метамодель 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 вихрострумowych 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 вихрострумowych перетворювачів з планарною структурою систем збудження, який дозволяє реалізувати однорідну чутливість перетворювачів в зоні контролю.

7. Вперше створено метод синтезу рамкових рухомих тангенціальних накладних вихрострумowych 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.

#### **4. Практична цінність роботи**

Завдяки створеній єдиній методології сурогатного оптимального синтезу розширена науково-технічна база проектування рухомих вихрострумowych перетворювачів для комп'ютерних систем неруйнівного контролю. А розроблені програмні засоби дозволяють:

- реалізувати побудову багатовимірних однорідних комп'ютерних планів експериментів на основі квазівипадкових  $R_d$ - послідовностей 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»»;

- здійснювати розрахунки розподілу густини вихрових струмів в об'єкті контролю за «точними» електродинамічними моделями для накладних вихрострумівих перетворювачів кругових та рамкових різновидів із врахуванням ефекту швидкості;
- здійснювати апроксимацію багатовимірних поверхонь відгуку з прийнятною похибкою;
- реалізувати методи умовної оптимізації багатовимірних нелінійних цільових функцій.

Створено алгоритм побудови комітетних нейромережових метамоделей рухомих накладних вихрострумівих перетворювачів з високою часовою обчислювальною продуктивністю, що дозволяє реалізувати сурогатний оптимальний синтез цих перетворювачів. Розроблені практичні підходи для перевірки адекватності та інформативності створених метамоделей, що засновані на перевірці статистичних гіпотез.

Розроблені алгоритми та програмні засоби, які реалізують методи умовної оптимізації багатовимірних нелінійних цільових функцій, що дозволяє проектувати накладні вихрострумівих перетворювачі із однорідною чутливістю до дефектів. Низкою прикладів доведена ефективність розроблених засобів.

Практичне значення результатів дослідження підтверджено актами та довідками про наукову значущість, практичне використання та можливість впровадження у промисловості України: 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».

Теоретичні та практичні результати дослідження використовуються в навчальному процесі: на кафедрі приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій ЧДТУ та кафедрі виробництва приладів НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

**5. Повнота викладення основних результатів та висновків в опублікованих працях**

Результати дослідження, що подані в дисертації, опубліковано в 57 наукових роботах, у тому числі: у 21-й науковій праці (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 та 1 свідоцтві про реєстрацію авторського права на твір - комп'ютерну програму), а також у 36 матеріалах конференцій та тезах доповідей.

## **6. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату**

Дисертаційна робота Трембовецької Р.В. є завершеною науковою працею. Вона не містить матеріалів, які були використані в кандидатській дисертації здобувачки.

Дисертація відповідає вимогам до наукових праць та відзначається логічністю, структурованістю та обґрунтованістю.

Зміст та результати роботи відповідають спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

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

## **7. Зауваження до роботи**

1. Автору було би доцільно в тексті дисертації навести прийнятне з його погляду визначення однорідної чутливості вихрострумівих перетворювачів до дефектів. Тим більш, що в тих же випадках, але для статичних об'єктів контролю, іншими дослідниками переважно використовується термін «однорідних вихрострумівих перетворювачів».

2. Серед можливих гомогенних конструкцій систем збудження (рис.2.3) автор не розглядав можливість їх створення шляхом неспіввісного зміщення котушок, тобто коли геометричні центри секційних котушок знаходяться не на одній осі.

3. В роботі розглянуто лише випадки переміщення об'єкту контролю відносно вихрострумівого перетворювача за однією координатою. Варіант врахування швидкості за двома просторовими координатами не розглядався.

4. В розглянутих «точних» математичних моделях враховується лише режим гармонійного збудження перетворювачів. Чи є адекватною запропонована теорія оптимального синтезу вихрострумівих перетворювачів для імпульсного режиму збудження вихрових струмів, який також є вельми розповсюдженим на практиці?

5. При створенні однорідних комп'ютерних планів експерименту наведено дослідження щодо їх побудови на основі квазівипадкових  $R_d$ -послідовностей та ЛП<sub>τ</sub>-послідовностей Соболя із кількістю точок  $N=128$  в гіперкубі простору пошуку. Не зрозуміло, відповідно до яких міркувань обумовлений вибір саме такої кількості точок плану.

6. Також виникає питання, а чи можна висновки, отримані в розділі 2.3.1, розповсюдити і на випадки планів експериментів із іншою кількістю точок.

7. В розділі 2.4 автором запропоновано декілька варіантів формулювання цільової функції. Проте в розділах, що присвячені сурогатному синтезу різноманітних структур систем збудження, використовується лише один з можливих варіантів формулювання критерія оптимальності у вигляді квадратичного функціонала. Доцільно було б виконати декілька реалізацій систем збудження із іншими цільовими функціями.

8. У дисертаційній роботі при представленні розподілу густини вихрових струмів у вигляді ліній рівня використовується поняття «узагальненого зрізу». Що автор мав на увазі, застосуючи це поняття?

9. У дисертаційній роботі мають місце деякі незначні порушення вимог при виконанні рисунків.

10. Доцільно було б вказати для вирішення яких конкретних задач використовуються перераховані методи дослідження.

11. В авторефераті після деяких формул відсутні розділові знаки.

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

## **8. Загальні висновки**

Дисертаційна робота Трембовецької Руслани Володимирівни на тему «Теорія оптимального синтезу накладних вихрострумівих перетворювачів

для комп'ютерних систем неруйнівного контролю» є завершеним науковим дослідженням, що містить нові науково обґрунтовані та практично важливі результати, які сукупно забезпечують вирішення актуальної науково-прикладної проблеми.

За науковим рівнем, практичною цінністю, публікаціями та апробацією результатів дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015р., №567 від 27.07.2016 р.), а її автор Трембовецька Руслана Володимирівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Офіційний опонент,  
професор кафедри інтелектуальних  
вимірювальних систем та інженерії якості  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.Є. Жуковського  
"Харківський авіаційний інститут",  
доктор технічних наук, професор,  
лауреат Державної премії України  
в галузі науки і техніки

 М.Д. Кошовий

Підпис д.т.н., професора  
Кошового М.Д., засвідчую  
Вчений секретар ради університету,  
канд. філософських наук



С.Є. Чмихун