РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Созонова Станіслава Вікторовича

«Удосконалення ультразвукового магнітострикційного методу контролю елементів енергетичного обладнання»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

Актуальність дисертаційного дослідження.

Актуальність дисертаційного дослідження Созонова Станіслава Вікторовича обумовлена сучасними тенденціями розвитку методів неруйнівного контролю та технічної діагностики, які дедалі активніше впроваджуються для забезпечення надійної та безпечної експлуатації критичних елементів енергетичного обладнання. Суттєвим викликом при використанні малоапертурних магнітострикційних перетворювачів в промислових умовах є відносно низьке співвідношення сигнал/шум та складність інтерпретації відбитків в тонкостінних елементах та зварних з'єднаннях, що вимагає створення нових математичних моделей, засобів фільтрації та автоматизованого аналізу вимірювальної інформації.

Застосування уточнених математичних моделей акустичного тракту з урахуванням просторово-геометричних параметрів індукційних котушок і дискретного перетворення Гільберта забезпечує автоматизацію обробки сигналів, ідентифікацію дефектних зон у реальному часі та суттєве підвищення точності вимірювання часових інтервалів затримки імпульсів.

Вибраний автором напрям дослідження повністю відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки в Україні. Робота інтегрує засади сучасного метрологічного забезпечення та впровадження інтелектуальних вимірювальних комплексів у вітчизняний енергетичний сектор. Дисертація виконувалася як невід'ємна частина наукових досліджень Інституту загальної енергетики НАН України у межах науково-дослідної роботи № 0123U100127, що присвячена

розробці методів і засобів моніторингу енергооб'єктів на основі бездротових сенсорних технологій. Отримані здобувачем результати пройшли експериментальну апробацію, що свідчить про високий ступінь готовності розроблених рішень до практичного впровадження та їхню здатність вирішувати сучасні виклики інженерної діагностики.

Оцінка наукового рівня дисертації.

Дисертаційна робота Созонова С.В. викладена на 171 сторінці, складається зі вступу, 4 розділів з висновками до кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел із 116 найменувань та 4 додатків. Робота містить 11 таблиць та 64 рисунки, що свідчить про високий рівень наочності та повноту викладу результатів.

Перший розділ дисертаційної роботи демонструє аналіз сучасного стану методів та засобів ультразвукового неруйнівного контролю, з акцентом на амплітудні методи (ехо-імпульсний, дзеркально-тіньовий, дифракційно-часовий тощо) та методи візуалізації. Детально розглядаються сучасні комерційні прилади (Wave, OmniScan X3, Novotest EMAT-1), визначаються їхні сильні сторони та обмеження, зокрема труднощі контролю тонкостінної сталі та зварних швів через виникнення паразитних шумів і високу щільність графічного відображення сигналів на малих товщинах. Такий ґрунтовний аналіз дозволив автору чітко сформулювати та виконати постановку задач дослідження.

Другий розділ охоплює розробку уточнених аналітичних моделей, що описують фізичні закономірності генерації та структурного формування акустичних коливань у магнітострикційній системі неруйнівного контролю з урахуванням конфігурації її електронних та акустичних компонентів. Автор пропонує удосконалену математичну модель, яка враховує скінченні просторово-геометричні розміри електричних котушок перетворювача, що дозволило ідентифікувати специфіку деформації обвідної радіоімпульсів та виявити додатковий фазовий зсув (затримку) відносно сигналу збудження. Також у розділі розроблено метод оцінювання інформативних параметрів сигналів на основі дискретного перетворення Гільберта, що забезпечує

аналітичне підґрунтя для зниження впливу шумової складової на точність неруйнівного контролю.

Третій розділ розкриває реалізацію роботи апаратно-програмної системи ультразвукового магнітострикційного неруйнівного контролю. Автор обґрунтовує вибір конструктивних параметрів малоапертурних магнітострикційних перетворювачів, зокрема використання сплаву 49КФ для хвилеводу та конфігурацію двосекційної обмотки котушок, що дозволило суттєво знизити шуми та підвищити відношення сигнал/шум. Як базову платформу для реалізації обчислювальних алгоритмів та інтерфейсу користувача обрано середовище LabVIEW фірми National Instruments. Описано модульний підхід до створення віртуальних інструментів, що включають алгоритми частотної фільтрації, виділення сигналів та архівації даних вимірювань.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень. Дослідження демонструють стабільність та інформативність роботи розроблених алгоритмів. Описана методикп роботи апаратно-програмного комплексу при проведенні експериментів на зразках зі сталі. Проведено порівняльний аналіз результатів розробленого методу з використання малоапертурних магнітострикційних перетворювачів із класичним стандартизованим методом радіографічного контролю згідно з ДСТУ EN ISO 17636-2:2014. Експериментально підтверджено відтворюваність сигналів в ізотропному середовищі, встановлено чіткі залежності амплітуди від товщини зразка і діаметра отвору, що доводить високу ефективність реалізованої інформаційно-вимірювальної системи.

<u>Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень.</u>

У дисертації Созонова С.В. отримано низку нових наукових результатів, що мають як теоретичне, так і прикладне значення у сфері інформаційно-вимірювальних технологій. До нових теоретичних результатів слід віднести:

1. Отримала подальший розвиток математична модель сигналів магнітострикційного перетворювача в частині врахування геометричних

розмірів електричних котушок, що дозволило виявити амплітудно-часові особливості сигналів та підвищити точність вимірювання їх часових затримок у вимірювальному тракті.

2. Дістав подальшого розвитку метод оцінювання інформативних параметрів сигналів амплітуди та затримки на основі дискретного перетворення Гільберта, де вперше встановлено особливість впливу кінцевих розмірів котушки малоапертурних магнітострикційних перетворювачів на форму сигналу, що супроводжується деформацією обвідної та додатковою затримкою сигналу відносно сигналу збудження.

3. Удосконалено метод магнітострикційного неруйнівного контролю завдяки оптимізації науково-практичних підходів до конструювання перетворювачів. Застосування дискретного перетворення Гільберта для виділення інформативних параметрів сигналів у поєднанні з віртуальними інструментами дозволило автоматизувати опрацювання вимірювальних даних та суттєво розширити аналітичний потенціал системи

До нових практичних результатів належать: розробка апаратно-програмного модуля у вигляді віртуального приладу в середовищі LabVIEW з алгоритмами фільтрації та архівації; конструктивне обґрунтування використання сплаву 49КФ для хвилеводу та двосекційного намотування котушок, що забезпечило значне зменшення акустичних шумів; експериментальне підтвердження збігу результатів контролю швів із даними радіографічного методу за ДСТУ EN ISO 17636-2:2014.

<u>Науковий рівень виконання поставленого наукового завдання та обґрунтованість представлених результатів.</u>

У даній дисертаційній роботі поставлене наукове завдання — удосконалення ультразвукового магнітострикційного методу контролю елементів енергетичного обладнання з використанням малоапертурних перетворювачів — виконано відповідно науково-методичних та інженерних вимог.

Наукові положення, аналітичні висновки та рекомендації здобувача характеризуються високим рівнем достовірності, що забезпечено методологічно правильною постановкою дослідницьких завдань. Результати розроблених математичних моделей пройшли всебічну перевірку та порівняльний аналіз під час проведення експериментальних досліджень на зразках з зварними з'єднаннями.

Апробація та опублікування результатів роботи.

Результати дослідження пройшли апробацію, основні матеріали доповідалися на XXVI МНПК «Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті», III МНПК «Цифрові технології в енергетиці і автоматиці» та Міжнародному промисловому форумі.

За результатами досліджень опубліковано 12 наукових робіт (включаючи 3 статті у виданнях категорії «Б», 1 закордонну статтю, 2 праці у базі Scopus та 1 патент на винахід), в яких відображено основні наукові результати отримані Созоновим С.В. при проведенні дисертаційного дослідження.

Відомості про дотримання академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційного дослідження Созонова С.В. ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації наукових результатів не встановлено. Запозичення ідей, концепцій, текстових фрагментів або емпіричних даних інших авторів супроводжуються коректними та вичерпними посиланнями на першоджерела. Робота повною мірою нівелює ризики порушення академічної доброчесності та беззастережно відповідає вимогам чинного «Порядку присудження ступеня доктора філософії».

Недоліки та зауваження до роботи.

Попри дотримання вимог к науковій новизні, завершеності роботи та практичній реалізації, дисертація Созонова С.В., не позбавлена окремих недоліків та зауважень, які варто врахувати у подальшій науковій діяльності здобувача:

1. В описі математичних моделей та алгоритмів опрацювання вимірювальної інформації трапляються незначні неточності у термінології. Наприклад, терміни «коефіцієнт лінійної магнітострикції» та «абсолютна зміна довжини» іноді використовуються без чіткого розмежування фізичного контексту на різних етапах моделювання, що потребує більш уважного редакційного опрацювання.

2. Програмна реалізація алгоритмів виконана виключно в середовищі LabVIEW фірми National Instruments. Було б доцільно обґрунтувати можливість перенесення розроблених обчислювальних алгоритмів на інші відкриті платформи (наприклад, Python чи C++), що є актуальним для розширення мобільності та зниження вартості кінцевого програмного забезпечення.

3. У тексті дисертації та анотації зустрічаються поодинокі технічні друкарські та синтаксичні помилки (наприклад, написання «ульразвукового» замість «ультразвукового» на с. 1, 40; «малоапературних» замість «малоапертурних» на с. 2, 21; «Анліз» замість «Аналіз» на с. 19), що, втім, не знижує загальну наукову цінність роботи

Наведені недоліки дисертаційної роботи Созонова С.В. не є вирішальними та не зменшують її наукової цінності і значення отриманих результатів.

<u>Висновки щодо дисертаційної роботи.</u>

Кваліфікаційна наукова праця Созонова С.В. «Удосконалення ультразвукового магнітострикційного методу контролю елементів енергетичного обладнання» за своїм змістом є завершеною науковою працею.

У роботі продемонстровано розв'язання актуальної науково-прикладної задачі. Зміст і методологія роботи відповідає вимогам «Про затвердження 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 № 44 від 12.01.2022 р.

Вважаю, що Созонов Станіслав Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології».

Рецензент:

Науковий співробітник відділу моніторингу і діагностики об’єктів енергетики Інституту загальної енергетики НАН України,
кандидат технічних наук _____ **Володимир КУЦ**