ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Созонова Станіслава Вікторовича

«Удосконалення ультразвукового магнітострикційного методу контролю елементів енергетичного обладнання»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 17 – «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 175 – «Інформаційно-вимірювальні технології».

Актуальність теми дисертації

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасних систем технічної діагностики є дослідження та впровадження магнітострикційних методів ультразвукового неруйнівного контролю. Забезпечення надійної та безпечної експлуатації об'єктів критичної інфраструктури, зокрема, тривале використання та поступове старіння устаткування теплових і атомних електростанцій, зумовлює об’єктивну необхідність у суттєвому вдосконаленні наявних засобів дефектоскопії.

Дисертаційна робота Созонова Станіслава Вікторовича присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання — удосконаленню ультразвукового магнітострикційного методу неруйнівного контролю елементів енергетичного обладнання шляхом підвищення метрологічних характеристик малоапертурних магнітострикційних перетворювачів та вдосконалення методів опрацювання вимірювальних сигналів. Застосування магнітострикційних методів є важливим для діагностики тонкостінних елементів, таких як трубки конденсаторів, регенеративні підігрівачі, сільфонні компенсатори та екрани камер згоряння. Використання малоапертурних магнітострикційних перетворювачів дозволяє забезпечити контроль важкодоступних ділянок без демонтажу обладнання.

При цьому розробка та застосування засобів ультразвукового неруйнівного контролю на базі малоапертурних магнітострикційних перетворювачів

стримується через їх низьку чутливість, невисоку ефективність перетворення, низьке співвідношення сигнал/завада та складнощі інтерпретації сигналів. Робота здобувача спрямована саме на подолання цих обмежень шляхом оптимізації конструктивних рішень магнітострикційних перетворювачів та застосування ефективних алгоритмів цифрового опрацювання даних.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Отримало подальший розвиток математичне моделювання сигналів магнітострикційних засобів ультразвукового неруйнівного контролю в частині врахування геометричної конфігурації електричних котушок. Отримані аналітичні залежності дозволили визначити особливості амплітудно-часових характеристик радіоімпульсних сигналів та на цій основі підвищити точність вимірювання їх часових затримок при поширенні у вимірювальному тракті.

2. Дістав подальшого розвитку метод оцінювання амплітудно-часових характеристик сигналів із застосуванням дискретного перетворення Гільберта. Визначено особливості трансформації ультразвукових коливань у вимірювальному тракті. Встановлено, що кінцеві розміри котушок малоапертурних магнітострикційних перетворювачів призводять до деформації обвідної імпульсу та створюють систематичний часовий зсув сигналу магнітострикційного перетворювача відносно сигналу збудження.

3. Дістав подальшого розвитку метод магнітострикційного неруйнівного контролю на основі поєднання математичного апарату дискретного перетворення Гільберта та інтеграції віртуального пристрою для реалізації обчислювальних алгоритмів. Реалізований підхід дозволив автоматизувати операції аналізу вимірювальної інформації, фільтрації та інтерпретації даних моніторингу.

Наукові положення в дисертаційній роботі є достатньо обґрунтованими, а

отримані результати узгоджуються з відомими науковими даними та є їх подальшим розвитком. Для дослідження використано апробовані методи, а зроблені припущення та спрощення є коректними та обґрунтованими.

Обґрунтованость та достовірність наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується логічною послідовністю проведених досліджень, коректним використанням математичного апарату та підтверджується збігом теоретичних положень із результатами експериментальних досліджень.

Обґрунтованість удосконаленого методу ультразвукового неруйнівного контролю із застосуванням малоапертурних магнітострикційних перетворювачів підтверджується комплексною інтеграцією вдосконаленої конструкції перетворювача, застосованою методологією опрацювання сигналів на основі перетворення Гільберта та концепції вимірювальних інструментів, що забезпечило розширення функціональних можливостей методу. Це дозволило автоматизувати опрацювання вимірювальної інформації та процес прийняття рішень при виконанні неруйнівного контролю.

Створення апаратно-програмного модуля у вигляді віртуального приладу з реалізацією алгоритмів фільтрації, визначення інформаційних параметрів та архівації даних дозволило автоматизувати процес діагностики та суттєво скоротити час на опрацювання результатів експериментальних досліджень.

Достовірність результатів апробації підтверджується серією експериментальних досліджень з використанням розробленого алгоритму контролю, який дозволяє стабільно виявляти дефекти та оцінювати стан зварних швів незалежно від способу їх обробки.

Достовірність використання ультразвукового методу із застосуванням малоапертурних магнітострикційних перетворювачів при контролі елементів обладнання складної форми доведена шляхом порівняльного аналізу та збіжності отриманих автором результатів із даними стандартизованого радіографічного контролю згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 17636-2:2014.

Здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності та

успішно застосував її для вирішення актуальних завдань у сфері ультразвукового неруйнівного контролю.

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

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у розвиток ультразвукового неруйнівного контролю.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 172 сторінки.

Зміст дисертаційної роботи Созонова С.В. відповідає спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології». Об'єктом дослідження визначено процеси формування, поширення та перетворення сигналів, а також оцінювання їх інформативних параметрів при проведенні ультразвукового неруйнівного контролю, що безпосередньо узгоджується з паспортом зазначеної спеціальності. Дослідження охоплює завершений цикл розв'язання науково-прикладної задачі, який включає аналіз чинників впливу, математичне моделювання, розробку системи ультразвукового неруйнівного контролю та верифікацію отриманих результатів.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету, задачі, об'єкт, предмет та методи дослідження. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та структуру дисертації.

У першому розділі виконано комплексний аналітичний огляд сучасних методів та засобів ультразвукового неруйнівного контролю на базі ультразвукових магнітострикційних ефектів (Джоуля, Відемана, Вілларі, Вертгейма). Проведено детальний порівняльний аналіз відомих приладів (Wave, Sonocon BL, OmniScan X3, Volta, EMAT-1), визначено їх переваги та недоліки при контролі тонкостінних елементів енергетичного обладнання. Описано фізичну природу та надано математичний опис явища магнітострикції, показано

складності практичної реалізації методу ультразвукового неруйнівного контролю із застосуванням ультразвукових магнітострикційних перетворювачів.

У другому розділі наведено теоретичне обґрунтування та описано шляхи вдосконалення методу ультразвукового неруйнівного контролю із застосуванням ультразвукових магнітострикційних перетворювачів. Розроблено математичну модель формування акустичних сигналів малоапертурних магнітострикційних перетворювачів з урахуванням геометричних розмірів котушок індуктивності. Здійснено моделювання процесів генерування та поширення хвиль в електроакустичному тракті. Обґрунтовано та досліджено метод оцінювання інформативних параметрів сигналів малоапертурних магнітострикційних перетворювачів на основі дискретного перетворення Гільберта, що дозволяє знизити вплив адитивного гауссового шуму.

У третьому розділі представлено апаратно-програмну реалізацію розробленої системи. Обґрунтовано вибір сплаву 49КФ для хвилеводу та конструктивні параметри малоапертурних магнітострикційних перетворювачів. Як прикладне програмне середовище для реалізації алгоритмів обробки даних та фільтрації обрано LabVIEW фірми National Instruments, у якому розроблено відповідний інтерфейс користувача та архітектуру віртуального приладу.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень ефективності розроблених алгоритмів та засобів на базі малоапертурних магнітострикційних перетворювачів. Описано методику проведення експериментів на тонкостінних зразках зі сталі та зварних з'єднаннях. Проведено порівняльний аналіз результатів розробленого ультразвукового методу зі стандартизованим радіографічним контролем відповідно до ДСТУ EN ISO 17636-2:2014, який можливість виявлення локальних дефектів.

У додатках подані акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також необхідне програмне забезпечення.

Зміст дисертаційної роботи свідчить про дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела, що підтверджує коректне використання

наукових даних та дотримання вимог щодо цитування.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал дисертаційного дослідження викладено науковою мовою, послідовно, чітко та логічно, висновки за розділами та загальні висновки дисертації містять якісні і кількісні наукові та практичні результати. Стиль викладу науковий, з використанням загальноприйнятих технічних термінів. Стиль представлення матеріалів досліджень, наукових положень і висновків забезпечує легкість та доступність сприйняття інформації.

Використання загальноприйнятої термінології у тексті дисертації є коректним. Наукові поняття, технічні терміни, абревіатури та математичний апарат використано коректно.

В цілому, робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», виклад матеріалу розкриває тему дослідження та надає відповіді на сформульовані завдання.

Структура дисертації характеризується логічною послідовністю, систематизованістю висвітлення результатів дослідження та обґрунтованістю сформульованих наукових положень.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні положення та результати дисертаційної роботи Созонова С. В. отримали апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях. Матеріали дослідження доповідалися та обговорювалися на XXVI Міжнародній науково-практичній конференції «Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті» (Київ, 2025), III Міжнародній науково-практичній конференції «Цифрові технології в енергетиці і автоматиці» (Київ, 2025) та Міжнародному промисловому форумі (Київ, 2025).

За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць, серед яких 3

статті у фахових виданнях України категорії Б, 1 стаття у закордонному фаховому виданні, 2 публікації у виданнях, що проіндексовані у наукометричній базі Scopus, 1 патент на винахід та 5 тез доповідей на міжнародних конференціях, що повністю відображає основний зміст роботи.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці та технічній реалізації комплексу апаратно-програмних і конструктивних рішень ультразвукової дефектоскопії.

Зокрема, розроблено апаратно-програмний модуль у вигляді віртуального приладу, це технічне рішення дозволяє автоматизувати діагностичний процес, суттєво скоротити час опрацювання експериментальної інформації.

Експериментально підтверджено можливість впровадження ультразвукового магнітострикційного методу для дефектоскопії елементів обладнання зі зварними з’єднаннями складної геометричної форми. Достовірність результатів діагностики підтверджується збігом із даними стандартизованого радіографічного контролю, виконаного у відповідності до нормативних вимог ДСТУ EN ISO 17636-2:2014.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Поряд із загальною позитивною оцінкою дисертації, до неї можна висловити наступні зауваження:

1. Не обгрунтований вибір частоти сигналу збудження малоапертурного магнітострикційного перетворювача.

2. Автор не показав, чому використовується саме така передавальна функція цифрового фільтру (стор. 105).

3. В підрозділі 4.6 автор визначає, що амплітуда прийнятого ультразвукового сигналу однозначно вказує на наявність внутрішніх або

поверхневих дефектів у зварному з’єднанні. При цьому не показано, як визначити саме які дефекти присутні та їх координати.

4. У 4 розділі при описі експериментальних досліджень зварних з'єднань різного ступеня обробки не наведено детального аналізу впливу шорсткості поверхні контакту на точність визначення часу затримки та амплітуди сигналів.

5. У межах експериментальної верифікації запропонованих рішень автору доцільно було б здійснити порівняльний аналіз ефективності створеної системи не лише з методом радіографічного контролю, а також з інформаційно-вимірювальними системами на базі п’єзоелектричних перетворювачів. Це дозволило б продемонструвати заявлені переваги застосування малоапертурних магнітострикційних перетворювачів.

6. Підхід до оцінки достовірності, запропонований у 4 розділі дисертації, потребує доопрацювання та деталізації для можливості практичного застосування при проведенні ультразвукового неруйнівного контролю.

7. Не показаний вплив зміни температури контрольованих елементів енергетичного обладнання на результат неруйнівного ультразвукового контролю

8. В тексті дисертації зустрічаються помилки та одруки (стор. 26, 35, 71, 83, 127), зокрема, рис. 2.6 в тексті дисертації поданий як 3.5 (стор. 71).

Однак, ці зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів дисертаційної роботи та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Созонова Станіслава Вікторовича «Удосконалення ультразвукового магнітострикційного методу контролю елементів енергетичного обладнання» виконана на високому науково-технічному рівні, є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій вирішено актуальну задачу покращення метрологічних та експлуатаційних характеристик засобів ультразвукового неруйнівного контролю елементів енергетичного обладнання.

Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичною

цінністю 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.

Вважаю, що Созонов Станіслав Вікторович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 17 – «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 175 – «Інформаційно-вимірювальні технології».

Офіційний опонент:
Професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій факультету робототехніки та приладобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, професор _____ **Валерій ЗДОРЕНКО**