

ВІДГУК

офіційного опонента Тараненка Юрія Карловича
на дисертаційну роботу Буссі Салам
«Електромагнітно-акустичні перетворювачі для ультразвукового контролю
металовиробів»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.11.13 – прилади і
методи контролю та визначення складу речовин

1. Актуальність теми дисертації

Україна являється однією з провідних виробників металовиробів, в значній мірі катаних: труб, балок, профілів, залізничних рейок тощо. Значна кількість об'єктів з металів експлуатується на протязі значного часу і потребують проведення періодичної діагностики. Традиційні методи ультразвукового контролю вимагають очищення поверхні металовиробів від іржі, бруду, фарби тощо, що значно здорожує процес неруйнівного контролю. Відомий електромагнітно-акустичний (ЕМА) метод збудження та прийому ультразвукових імпульсів дає можливість виключити суттєвий недолік традиційного ультразвукового контролю. Проте використання потужних постійних магнітів в складі ЕМА перетворювачів (ЕМАП) приводить до їх пошкодження. Величина індукції таких магнітів обмежена.

Виключити недоліки відомих ЕМАП можливо шляхом використання в складі ЕМАП імпульсних магнітів. Вони можуть забезпечити значні величини індукції магнітного поля на протязі заданого часового інтервалу та дає можливість практично виключити значне протягування ЕМАП до феромагнітного металу. В результаті ефективність використання ЕМА перетворювачів підвищується.

Дисертаційна робота була виконана відповідно до наукових напрямків досліджень кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» згідно Закону України № 3715-VI від 05.12.2012 «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», зокрема за напря-

мом «Приладобудування, як основа високотехнологічного оновлення всіх галузей виробництва» та в рамках держбюджетної НДР МОН України “Дослідження можливості створення прототипів приладів неруйнівного контролю нового покоління з використанням енерго- та ресурсозберігаючих технологій” (ДР № 0111U002280).

Тому роботи по створенню ЕМАП нового типу безумовно актуальні.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі є достатньою й базується на аналізі літературних джерел за даною проблемою, ретельній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні та критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з експериментальними результатами, а також якісному формулюванні отриманих висновків. Модельні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату, теорії фізичних явищ, які мають місце при діагностиці складних об’єктів контролю. Отримані результати підтверджені відповідними експериментальними дослідженнями.

3. Достовірність результатів досліджень.

Достовірність наукових результатів підтверджується збігом теоретичних та практичних результатів роботи. Результати теоретичних досліджень, запропоновані методи ультразвукового електромагнітно – акустичного контролю феромагнітних виробів та побудови відповідних приладів контролю показали свою працездатність і впроваджені на виробничих підприємствах України та в навчальному процесі, про що свідчать акти впровадження.

4. Основні наукові результати дисертації

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

Вперше сформульовано концепцію побудови ЕМАП з імпульсним

джерелом поляризуючого магнітного поля, в якому котушки індуктивності джерела магнітного поля в складі ЕМАП повинні бути плоскими двохвіконними та виготовленими з цільної пластини високоелектропровідного і теплопровідного матеріалу і бути трьохвитковими, при цьому вони повинні використовуватися разом з високочастотними котушками індуктивності з двома лінійними робочими ділянками, вікна котушок індуктивності джерела магнітного поля повинні розташовуватися над робочими ділянками високочастотної котушки індуктивності, що забезпечує збільшення потужності збуджуваних зсувних ультразвукових імпульсів нормально поверхні металовиробу.

2. Удосконалено метод ультразвукового електромагнітно-акустичного контролю металовиробів, суть якого полягає в збудженні ультразвукових імпульсів шляхом формування в поверхневому шарі феромагнітного виробу двох рядом розташованих короткочасно намагнічених ділянок з протилежним напрямком векторів магнітної індукції поляризуючого поля, збудженні в намагнічених ділянках пакетних імпульсів електромагнітного поля з протилежно направленими векторами напруженості тривалістю у кілька періодів високої частоти заповнення, при цьому збудження імпульсів електромагнітного поля виконують в момент часу, який дорівнює часу перехідних процесів з встановлення робочої величини індукції поляризуючого магнітного поля, а прийом ультразвукових імпульсів відбитих з виробу виконується в період часу t_{np} , який визначається за виразом $T - t_1 - t_2 - t_3 < t_{np} = t_1 + t_2 + t_3 + 2H/C$, де T – тривалість імпульсу намагнічування; t_1 – час перехідних процесів з встановлення робочої величини індукції поляризуючого магнітного поля; t_2 – час дії пакетного імпульсу електромагнітного поля; t_3 – час затухаючих коливань в плоскій високочастотній котушці індуктивності; H – товщина виробу або відстань в об'ємі виробу, які підлягають ультразвуковому контролю; C – швидкість розповсюдження зсувних ультразвукових хвиль в матеріалі виробу, що забезпечило високу ефективність збудження та прийому зсувних пакетних ультразвукових імпульсів.

5. Цінність дисертаційної роботи для науки

Наукові положення, які розроблені при виконанні дисертаційної роботи, дають можливість поліпшити ефективність контролю та діагностики і, в результаті, підвищити якість металовиробів, що випускаються або експлуатуються.

6. Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

- Розроблена методика виготовлення стійких до пошкоджень плоских витягнутих високочастотних котушок з двома робочими ділянками провідників з необхідною кількістю витків.

- Розроблено макет генератора потужних високочастотних пакетних імпульсів струму для живлення ЕМАП з піковим струмом в ЕМАП до 120 А.

- Розроблено попередній малозавадний смуговий підсилювач прийнятих ультразвукових імпульсів.

- Розроблено макет блоку живлення імпульсного магніту ЕМАП з максимальним струмом 600 А в котушці намагнічування.

- Розроблено прямий ЕМАП для збудження і прийому ультразвукових зсувних пакетних імпульсів з імпульсним намагнічуванням.

- Встановлено, що ЕМАП, генератор зондуючих високочастотних імпульсів, що живить перетворювач, та попередній підсилювач повинні складати один узгоджений блок.

Розробки захищені 2 патентами на корисну модель.

Результати досліджень, що отримані при виконання дисертаційної роботи, впроваджені в ДП «Завод Електроважмаш» (акт впровадження від 23.10.2019 р.), в Компанії УКРІНТЕХ (акт впровадження від 08.10.2019 р.) та в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (акт впровадження від 03.09.2019 р.).

7. Повнота викладення результатів в опублікованих працях

Основний зміст дисертації відображено у 16 наукових публікаціях, з них: 7 статей входять до переліку наукових фахових видань, які рекомендо-

вані ДАК України (2 з них у виданнях, що входять до міжнародної науково-метричної бази Web of Science Core Collection), 2 патенти України на корисну модель та 7 праць у матеріалах науково-технічних конференцій.

Матеріали дисертації пройшли широку апробацію на 7 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях.

У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів досліджень дисертантки на конференціях повністю відповідають встановленим вимогам.

8. Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Буссі Салам викладена на 158 сторінках складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків, містить 129 сторінок основного тексту, 54 рисунки та 8 таблиць.

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність досліджень, поставлено їх мету та задачі, наведені методи досліджень, викладена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, вказано відомості про наукові публікації автора, апробацію результатів дослідження та їх впровадження.

У **першому розділі** дисертаційної роботи проведено аналіз інформаційних джерел за напрямком дисертаційного дослідження. За результатами аналізу сформульовано недоліки, притаманні відомим методам і ультразвуковим перетворювачам, та визначено фактори, що впливають на конструювання таких сенсорів. Сформульовані основні напрямки дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено визначенню принципів побудови джерела імпульсного магнітного поля ЕМАП, модельному дослідженню розподілу магнітного поля джерела перетворювача та вибору конструкції пристрою на основі такого моделювання при діагностиці феромагнітних та немагнітних металовиробів. На основі виконаних досліджень розроблено принципи побудови електромагнітно-акустичних перетворювачів

Досліджено динамічні процеси під час намагнічування ОК імпульсом струму із близькою до прямокутної формою. Встановлено, що час наростання індукції магнітного поля при подачі імпульсу струму на котушку намагнічування залежить від її індуктивності та виду матеріалу ОК. Показано, що розроблені ЕМАП більш доцільно використовувати для діагностики феромагнітних виробів. Визначено шлях зменшення часу перехідних процесів при імпульсному намагнічуванні за рахунок суттєвого зменшення індуктивності котушки джерела магнітного поля перетворювача при збільшенні величини індукції магнітного поля.

Третій розділ присвячено реалізації концепції побудови ЕМАП за рахунок використання спеціальних низькоіндуктивних котушок намагнічування джерела магнітного поля перетворювача, що дозволило підвищити ефективність збудження і прийому імпульсів об'ємних зсувних ультразвукових коливань в об'єкті контролю.

Для виконання досліджень розроблено і виготовлено експериментальний макет на якому відпрацьовано різні варіанти побудови електромагнітно-акустичних перетворювачів. Для збільшення амплітуди донних імпульсів запропоновано використовувати дві низькочастотні намагнічувальні котушки з зустрічним напрямком векторів магнітної індукції, які діють на поверхневі шари ОК. При цьому короткий проміжок часу дії магнітного поля, якій поляризує, дозволяє ЕМАП не притягуватися до ОК.

Підвищити амплітуду корисних сигналів по відношенню до завад запропоновано за рахунок виготовлення низькочастотних малоіндуктивних котушок плоскої форми з двома вікнами. Ці котушки мають всередині отвори, що за розмірами співпадають з розмірами лінійних робочих ділянок паралельних провідників плоскої високочастотної котушки індуктивності, при цьому вони електрично з'єднані між собою зустрічно по магнітному полю. Визначено раціональна кількість витків котушки намагнічування перетворювача.

Розроблено положення щодо боротьби з шумами Баркгаузена та коге-

рентними завадами, які виникають в металічних елементах ЕМАП.

З урахуванням теоретичних та модельних досліджень розроблено новий метод ультразвукового контролю, в якому враховано час тривалості зондуючого ультразвукового імпульсу, час «дзвону», час розповсюдження ультразвукового імпульсу у виробі з заданою товщиною або зоною контролю.

Результати досліджень показали, що досягнена чутливість розробленого ЕМАП дозволить контролювати металовироби на фоні завад при незначній (менше 12 мм) «мертвій» зоні.

У четвертому розділі на підставі отриманих у попередніх розділах результатів розроблено ЕМАП, генератор зондуючих імпульсів, високочутливий малошумлячий смуговий посилювач прийнятих ультразвукових імпульсів, генератор-формував вихідних сигналів та джерело струму живлення котушки намагнічування.

Розроблено схему пригнічення «дзвону» в ЕМАП після закінчення дії високочастотного пакетного імпульсу, яким зондує. Це дозволило зменшити в 2...3 рази перехідні процеси в ЕМАП та відповідно зменшити «мертву зону» при контролі виробу.

Експериментально виконано перевірку ефективності роботи розробленого комплексу блоків. Показано, що величина збуджених та прийнятих амплітуд ультразвукових імпульсів збільшилася більше, ніж у 2 рази. Успішно виявляються моделі дефектів в вигляді плоскодонних відбивачів діаметром 2..3 мм і більше з прийнятою амплітудою до 20 дБ в сталях типу ст.45 та ст.09Г2С.

У Висновках узагальнено отримані в дисертації наукові та практичні результати.

У **додатках** наведено список опублікованих праць за темою дисертації та акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 147 найменувань.

Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає

встановленим вимогам.

Дисертацію та автореферат написано грамотною українською мовою. Використана в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних та експериментальних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує їх доступне сприйняття та застосування.

Автореферат ідентичний за змістом з основними науковими положеннями, висновками та результатами дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Дисертаційна робота Буссі Салам є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка виконана здобувачем особисто.

Ознак порушення академічної доброчесності не виявлено.

До недоліків дисертаційної роботи можна віднести наступне:

1. У вступі слід було обґрунтувати причину розробки тільки частини блоків, які необхідні для виготовлення дефектоскопів, товщиномірів та приладів визначення фізико-механічних властивостей металів.
2. В четвертому розділі не наведено порівняльних даних з відомими результатами з літературних джерел ЕМАП.
3. В дисертації не наведено даних залежності дисперсії завад від швидкості зміни поляризуючого магнітного поля, а, відповідно, не отримано числового значення затримки часу прийому ультразвукових імпульсів відбитих з виробу після включення поляризуючого магнітного поля для розробленої конструкції ЕМАП.
4. В другому пункті наукової новизни наведено математичний вираз для визначення умови проведення ефективного ультразвукового контролю при імпульсному намагнічуванні. Проте розрахунків з визначення часової затримки включення намагнічувального поля для розробленої конструкції ЕМАП не наведено, як це зроблено, наприклад, для багатовиткової котушки намагнічування з осердям в дисертації Альохіна С.Г. (2013 р.).

5. Автором не досліджено вплив взаємодії в матеріалі поверхневого шару виробу високочастотних вихрових струмів та поля намагнічування.

6. В роботі не визначено силу протягування розробленого ЕМАП до об'єкту контролю та її вплив на проведення ультразвукового контролю в потоці виробництва металовиробів.

7. В роботі не наведено даних, як зменшується зовнішня індукція намагнічування за межами сформованого високочастотною котушкою індуктивності вихрових струмів.

8. Автор не надав числових значень індуктивності системи намагнічування ЕМАП та не визначив, які фактори визначають її мінімальне значення.

9. З літератури відомо, що поверхневий шар металовиробу фактично є елементом ЕМА перетворювача. Проте вплив властивостей поверхневого шару об'єкту контролю в роботі не досліджено, особливо це стосується феромагнітних виробів (можуть змінюватися магнітна проникність, електропровідність, магнітострикційні характеристики, анізотропія тощо).

10. Вказаний автором дисертації зазор між ЕМАП і поверхнею металу 0,2 мм не є технологічним при практичному ультразвуковому контролі.

Але ці зауваження не торкаються принципів положень роботи і не знижують її позитивної оцінки.

9. Загальний висновок по дисертації

Дисертаційна робота Буссі Салам «Електромагнітно – акустичні перетворювачі для ультразвукового контролю металовиробів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка вирішує важливу для господарства України науково-прикладну задачу створення високочутливих електромагнітно – акустичних методів і засобів для якісного контролю технічного стану металовиробів. Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових

ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 (зі змінами), а здобувач, Буссі Салам, заслугоує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор



Юрій ТАРАНЕНКО

Підпис проф. Тараненко Ю.К.

засвідчую, вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Іван КОСТЮКОВ