

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.226.01 Фізико-механічного інституту ім.
Г.В. Карпенка НАН України
76060, м. Львів, вул. Наукова 5.

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Учаніна Валентина Миколайовича на тему
«Розробка методів і засобів вихрострумowego контролю матеріалів та конструкцій»,
що подана на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин

1. Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота присвячена розробленні ефективних методів та засобів неруйнівного контролю інженерних об'єктів на основі вихрострумowego методу (ВСМ), який може здійснюватись без контакту з об'єктом контролю. Цей метод є багатопараметровим, що дає можливість розв'язувати різні задачі дефектоскопії, в тому числі оцінювати зміну структури матеріалу під дією різних чинників та вимірювати геометричні параметри об'єктів контролю. Безконтактність ВСМ робить його оперативним в роботі з різними об'єктами контролю і придатним для автоматизації. Створені на основі ВСМ пристрої контролю забезпечують високу продуктивність контролю, навіть при забрудненні поверхні об'єкту, дії вологості на інших факторів. В зв'язку з цим тема дисертації є **актуальною**.

2. Науково-прикладна проблема, яка вирішується в дисертації

Науково-прикладна проблема, яка вирішується в дисертаційній роботі, полягає в *дослідженні, розробці та впровадженні нових вискоефективних засобів вихрострумowego контролю, оцінки з їх допомогою дефектів та структурних змін в поверхневих шарах матеріалів та створенню відповідного метрологічного забезпечення.*

Ця проблема розв'язує **протиріччя** між необхідністю підвищення ефективності засобів вихрострумowego контролю за критеріями забезпечення високих технічних параметрів з *одного боку* і складністю реалізації вказаних вимог в умовах росту інтенсивності заводів в реальних умовах існуючих форм контрольованих виробів з *другого боку*.

Вирішення цього **протиріччя** складає **зміст** важливої науково-прикладної проблеми, що вирішується в дисертації, а розробка шляхів і методів вирішення цієї проблеми визначає мету даної роботи.

3. Загальна характеристика роботи

Подальший розвиток техніки і методів неруйнівного контролю (НК) необхідний для поліпшення надійності об'єктів тривалої експлуатації, особливо тих, які працюють в

складних умовах.

Актуальність поставленої проблеми привела до необхідності подальшої розробки і розвитку теоретичних положень вихрострумowego методу НК, які б давали можливість узагальнити підходи до проектування компонентів пристроїв цього методу і, в першу чергу, вихрострумowych перетворювачів (ВСП).

Такий шлях саме й був обраний дисертантом як пріоритетний, а низка задач для його реалізації і створили **предмет** дослідження даної дисертаційної роботи. Усе вище сказане обумовило **актуальність** теми, в якій дисертантом запропоновано розв'язання важливих завдань і, в першу чергу, розвитку теоретичних положень по формуванню сигналів від дефектів у накладних ВСП різного типу, створення методів кількісного оцінювання параметрів виявлених дефектів, розробленню метрологічного забезпечення створених засобів вихрострумової дефектоскопії. Розв'язання поставлених завдань дало можливість удосконалити відомі та розробити нові методи розрахунку вихрострумowych перетворювачів (ВСП), а також запропонувати ряд принципово нових високоефективних ВСП.

Мета дисертаційної роботи Учаніна В.М, полягає в розробці теоретичних і прикладних аспектів створення високочутливих ВСП, засобів і технологій вихрострумowego контролю інженерних об'єктів з дефектами в умовах високого рівня завад.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 8-ми розділів, висновку, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг дисертації складає 467 сторінок, списку використаної літератури з 383 найменувань, 2-х додатків з 22-ма актами впровадження результатів роботи та списку основних публікацій здобувача в 57 праць.

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, обґрунтована наукова новизна отриманих результатів, визначені об'єкт та предмет дослідження та показаний особистий внесок здобувача. Розглянуті: зв'язок роботи з науковими програмами та темами, практична цінність отриманих результатів реалізація та впровадження результатів роботи. Подані відомості про апробацію роботи та публікації.

В першому розділі "**Сучасний стан вихрострумowego методу неруйнівного контролю**" розглянуті особливості вихрострумowego методу контролю об'єктів, їх основні параметри і джерела завад. Запропонована класифікація джерел завад під час вихрострумowego контролю накладними ВСП.

Показано, що основною проблемою, що обмежує можливості вихрострумowego контролю (ВК), є виділення сигналів від дефектів за умов дії різних завад, оскільки сигнал від дефектів може бути співмірним або навіть меншим, ніж завада.

Подана класифікація накладних ВСП і окремо представлені вихрові способи визначення параметрів дефекту.

Проведений огляд сучасних способів вихрострумowego контролю в тому числі представлено класифікацію і порівняльний аналіз схем побудови автогенераторних високочастотних дефектоскопів, низькочастотних і універсальних вихрострумowych дефектоскопів, а також засобів вихрострумової структуроскопії немагнітних матеріалів.

У другому розділі "**Дослідження сигналів параметричних і анаксіальних накладних вихрострумowych перетворювачів**" розглядаються питання дослідження сигналів параметричних і анаксіальних накладних ВСП.

Стосовно параметричних ВСП проведено дослідження особливостей просторового розподілу сигналу від тріщини різної довжини.

Аналогічні дослідження проведені для анаксіальних ВСП. Причому підкреслено, що в анаксіальних ВСП особливості розподілу сигналу мають і годографи сигналів при

збільшенні зазору. Досліджено особливості зміни амплітуди сигналу при паралельній орієнтації анаксіального ВСП під час сканування вздовж центральної лінії тріщини. Експериментально досліджено також загасання сигналів анаксіальних ВСП для різних умов експерименту.

Дослідження сигналів анаксіальних ВСП від тріщини у феромагнітних сталях показали, що такі сигнали за паралельної орієнтації є більшими за амплітудою, ніж сигнал за перпендикулярної орієнтації. Доречно тут зауважити, що ВК важливо не стільки абсолютне значення сигналу від дефекту, скільки співвідношення рівнів сигналу і завад. Однією з проблемних завад є сигнали пов'язані зі зміною зазору між робочими поверхнями ВСП і ОК.

В третьому розділі "Розроблення та дослідження вихрострумових перетворювачів подвійного диференціювання" розглядаються і аналізуються ВСП нового класу, в яких вихідний сигнал є різницею двох диференціальних сигналів. Конструкція ВСП подвійного диференціювання є комбінацією анаксіальних ВСП. Тому на них поширюються особливості цих ВСП.

Розглянуто особливості побудови ВСП подвійного диференціювання, який складається з двох ОЗ і двох ВО. На базі такого ВСП розроблено комплект перетворювачів типу МДФ, який реалізує ВК на різних робочих частотах. Перевагою ВСП типу МДФ є їх можливість монтування у заземлений корпус з електропровідного сплаву.

Вперше для реалізації контролю зварних швів запропоновано спеціальний ВСП подвійного диференціювання з двома ОЗ і двома ВО. Це поліпшує локальність контролю через зменшення розмірів ВСП і відстані між обмотками.

Показано, що вихідний сигнал ВСП подвійного диференціювання має характерні особливості для локальних і видовжених дефектів. Встановлені годографи і розподіл сигналів під час сканування зони тріщини різної орієнтації і локальних дефектів. Проведене дослідження особливостей сигналів ВСП подвійного диференціювання типу МДФ від нахилених тріщиш.

Побудовано математичну модель впливу анізотропії питомої електропровідності на сигнал ВСП подвійного диференціювання і визначено закономірності його зміни під час обертання ВСП над анізотропним матеріалом. Показана чутливість ВСП подвійного диференціювання до напружень у феромагнітних сталях.

Четвертий розділ "Вплив конструктивних чинників на параметри обмоток вихрострумових перетворювачів" присвячений вибору критеріального параметру для оцінки ефективності ВСП.

В даний час ефективність роботи ВСП і їх придатність вирішувати задачі дефектоскопії визначають за амплітудою сигналу шляхом сканування стандартного взірця з штучним дефектом. Такий метод, хоча закладений в європейських стандартах, має багато недоліків.

В дисертації для оцінки ефективності ВСП введено відносний параметр ξ , який названо коефіцієнтом вихрострумової ефективності (КВЕ). Цей важливий параметр ввів автор дисертації. Хоча в подальшому для оцінки коефіцієнта вихрострумової ефективності обмотки ВСП прямокутного перерізу над електропровідним півпростором використано аналітичний вираз отримані іноземними авторами C.V. Dood і W.E. Deeds.

В цьому розділі також розглянута методика визначення коефіцієнта вихрострумової ефективності обмотки ВСП, вплив висоти і ширини обмотки на ефективність ВСП без феритового осердя, інваріантні властивості коефіцієнта вихрострумової ефективності

Окремі частини цього розділу присвячені визначенню ефективності обмоток вихрострумових перетворювачів з феритовими осердями. Досліджено залежність коефіцієнта вихрострумової ефективності (КВЕ) обмотки ξ від довжини, діаметра,

початкової магнітної проникності матеріалу осердя, а також геометрії обмотки та її розташування на осерді.

В п'ятому розділі "Високочастотні вихрострумові дефектоскопи з параметричним вихрострумовим перетворювачем" розглядаються автогенераторні вихрострумові дефектоскопи для виявлення поверхневих дефектів.

Такі ВСП широко застосовуються для НК деталей і елементів авіаційної техніки. Саме для таких задач в роботі сформульовані низка спеціальних задач, які були реалізовані за схемою двоконтурного автогенератора, який працює в режимі переривчастої генерації.

Розроблена схема автогенератора, схема керування резонансною частотою робочого контуру і методика визначення чутливості автогенераторного вихрострумового дефектоскопа.

Окремий підрозділ роботи присвячений розробці та дослідженню схеми регенерації коливань автогенератора дефектоскопу.

Показано, що запропоновані технічні рішення використані для створення низки автогенераторних ВД типу ЛЕОТЕСТ ВД, які пройшли державні випробування і включені в регламент з технічного обслуговування літаків ДП "Антонов" і авіаційних двигунів ДП "Івченко-Прогрес" і ПАТ "Мотор-Січ".

В шостому розділі "Засоби і технології дефектоскопії на основі використання вихрострумових перетворювачів подвійного диференціювання" розглянуті питання створення вихрострумових дефектоскопів для контролю труб теплообмінників обертальними ВСП.

Проведено ряд досліджень по визначенню чутливості ВСП до дефектів в латунних трубках. Досліджений і розроблений вихровий динамічний дефектоскоп для обертального контролю циліндричних виробів накладними ВСП. Разом з науково-виробничою фірмою "Промприлад" дисертантом розроблено вихрострумовий дефектоскоп універсального типу. Особливістю цих ВД є використання ВСП подвійного диференціювання, за допомогою яких вирішено найскладніші задачі ВК.

Описана технологія ручного вихрострумового контролю на основі застосування ВСП подвійного диференціювання зварних з'єднань, прихованих дефектів конструкцій авіаційної техніки, дефектів в зоні заклепкових з'єднань, литва з шорсткою поверхнею та автомобільних циліндрів з неоднорідною поверхнею.

Окремий підрозділ роботи присвячений використанню ВСП подвійного диференціювання, зокрема ВСП типу МДФ для створення автоматизованої системи для виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів труб печей діаметром 15 мм.

В сьомому розділі "Розроблення засобів вихрострумової структуроскопії" – розглядаються питання фазових вимірювань електропровідності неферомагнітних матеріалів.

Аналізуються особливості узагальненої схеми таких вимірювань, які дозволяють зменшити додаткову похибку при зміні зазору між ВСП і поверхнею ОК. Розглянуті питання вдосконалення схеми вимірювання фази сигналу ВСП, досліджено вплив зазору між ВСП і поверхнею ОК, приведена методика зменшення додаткової похибки від зміни зазору під час налаштування фазових вимірювань питомої електропровідності, проаналізований, запропонований здобувачем і запатентований новий спосіб зменшення додаткової похибки від впливу зміни зазору та приведена авторська схема лінеаризації у вихрострумових вимірювачах питомої електропровідності.

Окремі підрозділи роботи присвячені дослідженню і розробці вихрострумових структуроскопів для діагностики зварних конструкцій з алюмінієвих сплавів, а також розробленню засобів вихрострумової структуроскопії поверхневих шарів на підвищених робочих частотах.

В восьмому розділі "Метрологічне забезпечення засобів вихрострумової дефектоскопії" – розглянуті основні тенденції метрології засобів вихрострумової дефектоскопії.

Визначені класифікаційні ознаки і загальні вимоги до стандартних зразків дефектоскопії. Приведене загальне визначення стандартного зразка для неруйнівного контролю. Опрацьована класифікація стандартних зразків дефектоскопії. Проаналізовані причини розходження сигналів від штучних і природних дефектів. Запропоновано статистичний спосіб атестації стандартних зразків дефектоскопії.

В окремому підрозділі досліджені і запропоновані способи і засоби перевірки вихрострумових дефектоскопів з ВСП подвійного диференціювання за допомогою електронних імітаторів, які дозволяють проводити метрологію без застосування стандартних зразків.

Додатки містять акти впровадження результатів роботи і список основних публікацій здобувача.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їхня достовірність.

Ступінь обґрунтованості отриманих в дисертаційній роботі наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується правильністю постановки наукових задач, коректним застосуванням положень математично апарату теорії кіл, комп'ютерного електродинамічного моделювання, розрахунками методом об'ємних інтегральних рівнянь сигналів і параметрів ВСП за допомогою спеціалізованої програми VIC-3D, зіставленням результатів розрахункових та експериментальних досліджень, а також впровадженням результатів роботи.

Достовірність отриманих результатів обумовлена перевіркою розроблених ВСП експериментальними дослідженнями, узгодженістю отриманих результатів із раніше відомими з літературних джерел, а також апробацією основних положень і отриманих практичних результатів на науково-технічних конференціях.

5. До нових наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести:

1. Дослідження, розробка та впровадження нових вискоефективних засобів вихрострумового контролю різноманітних матеріалів і об'єктів. оцінки з їх допомогою дефектів і структурних змін в поверхневих шарах матеріалів та створенню відповідного метрологічного забезпечення.

2. Експериментальним шляхом, вперше виявлені особливості формування сигналів ВСП подвійного диференціювання від дефектів різного типу, а розрахунковим методом з наступною експериментальною верифікацією встановлено низку особливостей формування сигналу анаксіальними ВСП, які мають переваги перед ВСП іншого типу.

3. На основі дослідження закономірностей розподілу сигналу в параметричних ВСП, вперше досліджений і запропонований новий підхід, який стосується можливостей визначення довжини тріщини,

4. Вперше запропоновано конструкційний параметр – коефіцієнт вихрострумової ефективності обмотки ВСП, який дає оцінку зв'язку обмотки з вихровими струмами ОК не залежно від робочої частоти.

5. Вперше побудовано математичну модель впливу анізотропії питомої електропровідності на сигнал ВСП подвійного диференціювання, яка дала можливість визначити закономірності зміни сигналу під час обертання перетворювача.

6. Повнота викладу основних результатів дисертації

По результатам дисертаційного дослідження опубліковано 4 монографії (написані окремі розділи в 3-х монографіях і 1 монографія одноосібна), 42 статті у фахових виданнях, 43 роботи у матеріалах конференцій різного рівня. Серед опублікованих статей 7 входять до наукометричної бази Scopus. Крім цього новизна отриманих дисертантом наукових результатів підтверджена 26 авторськими свідоцтвами і патентами України, а апробація основних положень проведена на численних міжнародних і вітчизняних конференціях. Внесок дисертанта в práci з співавторами є вирішальним.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Оформлення дисертації відповідає вимогам ДАК України, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, п.п. 9,10,13,14 положення про "Порядок присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" ДАК України. Об'єм викладених матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

8. Практичне значення одержаних результатів.

Отримані автором наукові результати створюють базу для розробки нових типів ВСП і покращення методів розрахунку параметрів і характеристик ВСП, дозволяють їх використати для реалізації ВСП різного функціонального призначення, в тому числі для діагностики вихрострумовим методом інженерних об'єктів в русі.

Розроблені та запатентовані схемні рішення і нові ВСП відрізняються простотою технічної реалізації при забезпечення необхідних технічних параметрів. Вони впроваджені на цілому ряді важливих державних підприємств.

Розроблені ВСП подвійного диференціювання використано для створення автоматизованих систем НК. Особливо, слід відзначити розробку і впровадження вихрострумових структуроскопів, з допомогою яких вперше реалізовано методи моніторингу експлуатаційної деградації алюмінієвих сплавів авіаційних конструкцій.

Основні наукові результати дисертації використані при виконанні низки НДР і кількох госпдоговорів у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України.

9. По роботі можна зробити наступні зауваження:

1. У вступі до роботи треба було би більш чітко підкреслити актуальність проведеного дослідження і особливо місце методів вихрострумового контролю серед інших методів НК, не показана "географія" застосування ВСП для контролю не тільки статичних, але і динамічних ОК.

2. Перший і другий пункти наукової новизни занадто конкретизовані, дуже довгі і відразу важко зрозуміти, що саме хоче виділити дисертант в якості основного тезису новизни.

3. В дисертації сформульовано 18 висновків, причому частина з них дуже дрібні і їх можна було би об'єднати. Особливо це стосується висновків №10-17, в яких відзначені результати впровадження. Висновки №1-9 можна було би викласти більш концентровано та лаконічно, виділивши в кожному з них: що зроблено, що нового в зробленому і що зроблене дало кількісно і якісно

4. В 1-му розділі на стор.63 сказано, що "вдосконалення кількісної оцінки дефектоскопії". Можливе шляхом використання нейронних мереж. Не зрозуміло, що очікує отримати

здобувач в перспективі при застосуванні нейронних мереж?

5. В 2 розділі роботи "Розрахункові моделі дефектів і ВСП" проведено розрахунки деяких параметрів ВСП з допомогою спеціалізованої програми VIC-3D. Під розрахунковими моделями дисертант розуміє представлені в роботі зображення дефекту прямокутної форми і зображення 3-х простих накладних ВСП (Рис.2.1 і 2.2). Фактично, в роботі дисертант не привів запропоновані ним математичної моделі дефекту і ВСП, на основі якої можна було би вирішити задачу розрахунку сигналу на виході ВСП при заданих умовах.

6. В 4 розділі роботи для оцінки ефективності роботи ВСП введено поняття коефіцієнта ζ . При цьому не зрозуміло, що розуміє дисертант під поняттям ефективності ВСП? З тексту дисертації випливає, що автором цього важливого поняття є дисертант (*є багато посилань на роботи здобувача*), хоча з автореферату цього не видно, де поряд приведена залежність для коефіцієнта ξ двох іноземних авторів.

7. В цьому ж розділі при аналізі коефіцієнта ефективності ВСП ξ стверджується, що коефіцієнт розмагнічування феритового осердя N впливає при розміщенні котушки ВСП на кінці осердя. Насправді, коефіцієнт розмагнічування феритового осердя N не залежить ні від розміщення котушки, ні від кількості витків, а залежить тільки від форми осердя.

8 З проведеного аналізу коефіцієнту вихрострумової ефективності ξ видно його залежність від параметрів обмотки ВСП і параметрів феритового осердя, але при цьому не можна зробити висновок про просторове розрішення ВСП з феритовим осердям і без нього. Цей висновок був би дуже доречним, бо не дивлячись на збільшення чутливості ВСП з феритовим осердям, він сильно спотворює вихрове магнітне поле безпосередньо над дефектом і, очевидно, погіршує просторове розрішення

До дрібних зауважень можна віднести наступне:

1. Назву розділу 3 варто було назвати не "РОЗРОБЛІННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ...", а навпаки.

2. На думку опонента треба було би в дисертаційній роботі і авторефераті писати, що певні результати опубліковані не в одноособових публікаціях, а в одноосібних.

3. В авторефераті, при описі змісту розділу, не подані назви розділу, що дещо затруднює розуміння загального змісту і послідовності викладення матеріалу дисертаційної роботи.

4. В роботі присутні "русизми": наприклад, сварка замість – зварювання; (стор.33 в дисертаційній роботі і стор. 6 - в авторефераті), витрати замість - втрати; і.т.д.

Вказані недоліки не впливають на науковий рівень та на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота Учаніна В.М. на тему «Розробка методів і засобів вихрострумового контролю матеріалів та конструкцій», є завершеною науковою працею. Отримані результати є новими і науково обґрунтованими. Можна стверджувати, що в роботі розв'язана важлива науково-прикладна проблема – *дослідження, розробка та впровадження нових високоефективних засобів вихрострумового контролю, оцінки з їх допомогою дефектів і структурних змін в поверхневих шарах матеріалів та створенню відповідного метрологічного забезпечення в умовах росту інтенсивності завод в реальних умовах існуючих форм контрольованих виробів, зокрема феромагнітних деталей з великою неоднорідністю магнітних властивостей.*

Актуальність теми дисертації, її обсяг, рівень виконаних досліджень, повнота розв'язання поставлених наукових та практичних задач, практичні висновки та рекомендації відповідають вимогам ВАК України щодо "Порядку присудження наукових

ступенів", затверджених постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р., зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України №656 від 19 серпня 2015 р., а її автор, *Учанін Валентин Миколайович*, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – "Прилади і методи контролю та визначення складу речовин".

Офіційний опонент

професор кафедри "Радіоелектронні пристрої та системи"
Національного університету "Львівська політехніка",
д.т.н., професор

В.О. Нічога

« ___ » _____ 2017 р.

Підпис проф. кафедри "Радіоелектронні пристрої та системи"
д.т.н., проф.В.О. Нічоги засвідчую

Вчений секретар
Національного університету "Львівська політехніка",
к.т.н., доцент

Р.Б. Брилинський