

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертацію Учаніна Валентина Миколайовича «Розроблення методів і засобів вихрострумowego контролю матеріалів та конструкцій», представлену на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Високі темпи розвитку сучасного виробництва, особливо таких галузей як машинобудування, авіаційна та енергетична промисловість потребують розроблення нових ефективних методів та пристроїв, а також удосконалення існуючих засобів неруйнівного контролю, що дозволяє підвищити надійність конструкцій тривалої експлуатації, працюючих в умовах значних динамічних навантажень, високого тиску, значних змін температури, дії агресивних середовищ. Провідну роль в виявленні поверхневих тріщин і тріщин, що виникають в глибині металевих виробів, визначенні якості зварних з'єднань, змін структури матеріалу під впливом експлуатаційних чинників відіграє вихрострумний метод контролю.

Наряду з постійно діючими вимогами щодо підвищення чутливості дефектоскопії та структуроскопії, точності визначення геометричних параметрів тріщин і глибини їх розташування, є необхідним підвищувати завадостійкість контролю, тобто здійснювати контроль в умовах зростаючої дії заважальних факторів та високоінтенсивних завад. Це відноситься до контролю деталей зі змінним радіусом кривизни, заклепкових з'єднань в багат шарових авіаційних вузлах, дефектів під шаром захисного діелектричного покриття, литви з шорсткою поверхнею, деталей з неоднорідною структурою, наприклад зварних швів, тощо.

Дисертаційна робота Учаніна В.М., присвячена розробленню методів і засобів підвищеної чутливості для вихрострумowego контролю об'єктів, що характеризуються високим рівнем завад, є актуальною.

Дисертація виконана у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України відповідно до плану його науково-дослідних робіт. Як відповідальний виконавець автор брав участь у виконанні шести

держбюджетних тем, що виконувались з 2003 по 2017 роки. Автор був керівником чотирьох держбюджетних тем загальноакадемічної програми «Ресурс» (2007 – 2017 роки).

У першому розділі проаналізовано роботи, в яких розглядаються питання реальної глибини контролю. Представлено різні підходи при визначенні глибини проникання вихрових струмів. Автор аргументовано показує, що вона тільки у першому наближенні визначається формулою для глибини проникнення плоскої хвилі, а також залежить від геометричних параметрів обмотки вихрострумowego перетворювача і відстані до поверхні матеріалу. Показано, що серед факторів, що обмежують глибину контролю, одним з вирішальних є рівень завад. Запропоновано метод визначення глибини контролю по відстані від поверхні матеріалу, дефекти на якій можуть бути виявленими в умовах дії визначених завад. Такий підхід пов'язує задачу збільшення глибини контролю не тільки з конструкцією вихрострумowego перетворювача, але і з ефективністю корекції існуючих завад. Проаналізовано джерела завад і запропоновано їх класифікацію.

Проведено огляд робіт по математичному вирішенню задач вихрострумової дефектоскопії. Показано, що аналітичного рішення, яке задовольняє практичні потреби дефектоскопії поверхневих і підповерхневих тріщин у провідних матеріалах, на теперішній час не існує, внаслідок складності задач. Детально розглянуто перспективний метод математичного моделювання, оснований на використанні об'ємних інтегральних рівнянь, який розвинуто в роботах Д. Боулера і Х. Саббаха та інших авторів. Інтегральні рівняння будують за допомогою тензорної функції Гріна. Апроксимують отримані інтегральні рівняння системою лінійних алгебраїчних рівнянь, розв'язок яких отримують чисельно. Отримані результати використовують для моделювання імпедансу, внесеного тривимірним дефектом в електропровідному об'єкті контролю.

Проведено порівняльний аналіз і запропоновано класифікацію накладних вихрострумowych перетворювачів. Виділено конструкції анаксіальних перетворювачів з зовнішніми вимірювальними обмотками.

Проведено аналіз схем автогенераторних вихрострумових дефектоскопів і запропоновано їх класифікацію. Визначені основні можливості і характеристики вихрострумових дефектоскопів універсального типу.

Проаналізовано методи і засоби вихрострумової структуроскопії немагнітних матеріалів, побудовані на вимірюванні питомої електричної провідності матеріалів, визначені найбільш перспективні засоби корегування впливу коливань зазору між вихрострумовим перетворювачем і поверхнею матеріалу.

Другий розділ присвячено дослідженню сигналів параметричних і анаксіальних накладних вихрострумових перетворювачів. Представлено методику розрахунків сигналів перетворювачів при їх взаємодії з електропровідним бездефектним та дефектним об'єктом з використанням програми моделювання VIC-3D, яка реалізує метод об'ємних інтегральних рівнянь. Проведено оцінку похибок моделювання шляхом зіставлення розрахункових результатів та експериментальних даних, яка підтвердила достатньо високу точність моделювання.

Проведено дослідження особливостей просторового розподілу сигналу параметричного вихрострумового перетворювача, одержаного від тріщин різної довжини. Відмічено особливості розподілу сигналу залежно від співвідношення діаметру перетворювача і довжини тріщини, зокрема існування особливих точок модуляційного імпульсу, що корелюють з координатами кінців тріщини. Показана можливість визначення кінців тріщини по мінімумах другої похідної залежності сигналу параметричного перетворювача від координати у напрямку поширення тріщини.

Докладно теоретично і експериментально проведені дослідження сигналів анаксіальних вихрострумових перетворювачів, які дозволили автору встановити основні особливості формування їх сигналів:

1) Анаксіальні перетворювачі характеризуються направленою чутливістю до видовжених тріщини. Сигнали від тріщини в алюмінієвих сплавах за їх паралельної орієнтації відносно перетворювача більші за амплітудою, ніж сигнали за перпендикулярної орієнтації. При цьому співвідношення амплітуд цих сигналів залежить від довжини тріщини і збільшується з її зменшенням.

2) Сигнали анаксіальних перетворювачів від тріщини за паралельної і перпендикулярної орієнтацій мають різні, приблизно протилежні, напрямки годографів. Це спостерігається як у випадку немагнітних, так і феромагнітних сталей. Відповідно складові сигналів на дефектограмах із часовою розгорткою мають різний знак. Відмічені особливості пояснюються автором різним впливом розподілу вихрових струмів в означених випадках.

3) Форма модуляційних імпульсів від тріщин різних орієнтацій залежить від їх довжини. Анаксіальний і класичний коаксіальний вихроструміві перетворювачі мають принципово різний характер модуляційних імпульсів від короткої тріщини.

4) Сигнали анаксіальних і коаксіальних перетворювачів від тріщин в алюмінієвому сплаві по різному загасають зі збільшенням зазору між перетворювачем і поверхнею матеріалу. При цьому найменше загасає сигнал анаксіального перетворювача із перпендикулярною орієнтацією, що робить такий режим контролю перспективним для виявлення дефектів через шар діелектричного покриття. Залежність чутливості анаксіальних перетворювачів від орієнтації тріщини найбільше проявляється за невеликих зазорів.

5) Встановлено закономірності формування сигналів анаксіальних перетворювачів для тріщин різної довжини в феромагнітних сталях.

6) Анаксіальний перетворювач з паралельною орієнтацією відносно тріщини має найбільше співвідношення рівня сигналу від дефектів до рівня завади, пов'язаної зі зміною зазору. Менше співвідношення сигнал/завада зафіксовано для анаксіального перетворювача з перпендикулярною орієнтацією. Найменше – для коаксіального.

7) Годографи класичних коаксіальних перетворювачів завжди лежать у четвертому квадранті комплексної площини. З підвищенням робочої частоти годограф переміщується за годинниковою стрілкою, проте не виходить за межі четвертого квадранта. В анаксіального перетворювача із підвищенням робочої частоти і відстані між обмотками годографи переміщуються за годинниковою стрілкою і переходять у третій квадрант. При цьому значення питомої електричної провідності, за якого годограф перетинає вісь реактивної складової імпедансу, є тим меншим, чим меншою є віддаль між обмотками. Значні

особливості мають і годографи сигналів анаксіальних перетворювачів зі збільшенням зазору у порівнянні з класичними коаксіальними перетворювачами.

Одержані автором результати змінюють відомі уявлення про направлену чутливість анаксіальних вихрострумівих перетворювачів. Така чутливість спостерігається тільки для невеликих значень зазору між перетворювачем і поверхнею об'єкту контролю.

Дослідження сигналів анаксіальних перетворювачів від тріщин у феромагнітних сталях показали, що такі сигнали за паралельної орієнтації теж є більшими за амплітудою, ніж сигнали за перпендикулярної орієнтації. Це справедливо тільки для відносно короткої тріщини, довжина якої приблизно дорівнює відстані між обмотками перетворювача. Для набагато довших тріщин спостерігається протилежне – сигнал для перпендикулярної орієнтації перетворювача набагато більший, ніж для паралельної.

Третій розділ дисертації присвячено розробленню і дослідженню властивостей вихрострумівих перетворювачів нового класу, в яких вихідний сигнал є різницею двох просторово сформованих диференційних сигналів. Згідно зі запропонованою автором класифікацією такі перетворювачі відносяться до класу перетворювачів подвійного диференціювання з зовнішнім розташуванням вимірювальних обмоток відносно обмоток збудження. Вони мають відмінну від усіх відомих вихрострумівих перетворювачів структуру первинного поля. Конструкції таких перетворювачів є комбінацією анаксіальних перетворювачів. Тому на них поширюються закономірності функціонування анаксіальних перетворювачів, установлені автором і представлені у попередньому розділі дисертації.

Розроблено і досліджено ВСП подвійного диференціювання діаметром від 4 до 33 мм для роботи в різних частотних діапазонах. Встановлено закономірності формування сигналів вихрострумівих перетворювачів подвійного диференціювання, зокрема:

1) Годограф і розподіл сигналів перетворювача подвійного диференціювання під час сканування зони тріщини мають максимум безпосередньо над дефектом.

2) Годографи сигналів для тріщин різної орієнтації відносно перетворювача мають різний напрямок, що дає можливість ідентифікувати виявлені тріщини за орієнтацією.

3) Годографи і розподіли сигналів від локальних дефектів різняться залежно від траєкторії сканування у зоні дефекту і можуть бути з одним або двома максимумами різного знаку або бути подібними на сигнал диференційного перетворювача.

Автором запропоновано фізичну модель «квазінескінченної тріщини», за допомогою якої визначено граничні значення глибини залягання тріщин, що можуть бути виявленими перетворювачем подвійного диференціювання.

Доказано, що площа контуру, яка охоплює годограф сигналу від тріщини у комплексній площині, залежить від її нахилу, що дало можливість запропонувати новий спосіб визначення параметрів нахилених тріщин.

Досліджено чутливість перетворювача подвійного диференціювання при виявленні дефектів через діелектричний шар захисного покриття. Досліджено роботу перетворювача у складі томографічної установки вихорострумowego контролю з реконструкцією вертикального перерізу розподілу сигналів в зоні підповерхневих дефектів.

Побудовано математичну модель щодо впливу анізотропії електричної провідності на сигнал перетворювача подвійного диференціювання, визначено залежності зміни сигналів під час обертання перетворювача над анізотропним матеріалом. Визначено чутливість перетворювача до напружень у феромагнітних сталях. Досліджено годографи зміни сигналу під дією напружень розтягу і стиску. Залежності змін амплітуди сигналу вихорострумowego перетворювача для циклів «навантаження - розвантаження» розтягу і стиску демонструють існування ефекту магнітопружного гістерезису, який є наслідком двох процесів: механічного гістерезису (пружна післядія) і магнітного гістерезису.

Просторовий розподіл поля вихорострумowego перетворювача подвійного диференціювання обумовлює складний характер сигналу від локального дефекту. Форма сигналу залежатиме від зон чутливості, які взаємодіють з дефектом. Це підтверджено експериментальними дослідженнями сигналів у

комплексній площині і їх вертикальної складової в режимі часової розгортки для різних траєкторій сканування. В роботі докладно розглянуті особливості форми сигналів від локального дефекту, важливі для правильної інтерпретації сигналів. Для тріщини сигнал такого перетворювача має направлену чутливість, що проявляється в залежності амплітуди сигналу від взаємної орієнтації перетворювача і тріщини.

У четвертому розділі для оцінки ефективності обмоток вихрострумowego перетворювача незалежно від абсолютного значення їх індуктивності запропоновано новий параметр ξ , який названо коефіцієнтом вихрострумової ефективності. Параметр ξ визначається автором як співвідношення внесеної індуктивності обмотки перетворювача при встановленні його на поверхню неферромагнітного об'єкту при умові, коли добуток питомої електричної провідності цього об'єкту на частоту зондуючого поля дорівнює нескінченості, до індуктивності обмотки перетворювача у вільному просторі. Використовуючи модель обмотки перетворювача прямокутного перерізу, розташованого над електропровідним півпростором, отримано вираз для ξ ; показано його інваріантність відносно кількості витків, що заповнюють заданий переріз обмотки, а також розмірів обмотки за умови збереження співвідношення її геометричних параметрів.

Інваріантні властивості параметра ξ підтверджено шляхом проведення розрахунків методом об'ємних інтегральних рівнянь. Досліджено ефективність обмоток, встановлених на феритових осердях. Показано вплив різних конструктивних параметрів обмоток на феритовому осерді, зокрема довжини осердя і відступу обмотки від його кінця, на ефективність обмотки перетворювача. Представлені дослідження допомогли розробити технологічні процедури, які забезпечили ідентичність обмоток.

Для аргументованого вибору параметрів обмоток вихрострумowych перетворювачів і частоти зондування розраховано можливу похибку оцінки параметра ξ для реальних умов дослідження.

Параметр ξ використано для аналізу впливу висоти і ширини обмотки перетворювача на його ефективність на прикладі циліндричної і спіральної обмоток. Показано протилежний вплив висоти і ширини обмотки на

ефективність перетворювача. Зі збільшенням кількості витків і ширини спіральної обмотки ξ суттєво збільшується. Збільшення кількості витків і, відповідно, довжини циліндричних обмоток призводить до суттєвого зменшення ξ .

На чутливість вихрострумowego перетворювача з феритовим осердям найбільш суттєво впливають довжина, діаметр осердя і магнітна проникність його матеріалу μ . В значній мірі впливає також геометрія обмотки та її розташування на осерді. Отримані експериментальні залежності свідчать, що ефективність одношарової обмотки на феритовому осерді збільшується у декілька разів при належному виборі кількості витків і, відповідно, довжини обмотки. Залежності ξ для $\mu = 100$ і $\mu = 600$ достатньо близькі. Залежності ξ для $\mu = 600$; 1200 і 2000 фактично співпадають. Це можна пояснити впливом розмагнічувального чинника, який особливо сильний за розміщення обмоток на кінці осердя. Представлені результати показують, що використання феритових осердь з високими (понад 600) значеннями μ не дає переваг. Досліджено також залежності параметра ξ від довжини феритового осердя діаметром 1,2 мм для обмотки, що має 25 витків, намотаних в один шар проводом діаметром 0,06 мм, розміщеної безпосередньо на його кінці, а також для обмотки, встановленої з відступом 0,5 мм від торця осердя. Показано, що довжину осердя доцільно вибирати у діапазоні від 6,0 до 10,0 мм. Для осердь такої довжини розташування обмотки з відступом 0,5 мм не дає такого суттєвого зменшення ефективності, як для коротких осердь довжиною до 2,0 мм. Так для осердя довжиною 10,0 мм збільшення відстані обмотки від робочого кінця осердя на 0,5 мм зменшує параметр ξ у 1,45 рази. Такі втрати можна вважати припустимими, оскільки навіть у цьому випадку ефективність перетворювача з феритовим осердям набагато більша, ніж у перетворювача без осердя.

П'ятий розділ дисертації присвячено дослідженню принципів і розробці типових схем автогенераторного високочастотного дефектоскопа з параметричним вихрострумowym перетворювачем. Сформульовано основні вимоги до автогенераторних дефектоскопів. Розроблено методику визначення чутливості дефектоскопа, що працює в режимі переривчастої генерації, згідно якої визначають зміну частоти слідування імпульсів за паралельного

підключення до обмотки перетворювача резистора, параметри якого імітують вплив порогового дефекту.

Розроблено і досліджено нові схеми структурних елементів автогенераторного дефектоскопу, які захищено патентами України: схему двоконтурного автогенератора на польовому транзисторі з ізольованим затвором, схему управління робочою частотою автогенератора і схему регенерації коливань. При цьому рекомендується перетворювач включати у коло керуючого електрода активного елемента, а частоту робочого контуру вибирати меншою за частоту опорного контуру.

Дефектоскопи комплектують “олівцевими” і Г-подібними вихорострумівими перетворювачами, а також перетворювачами спеціальної форми для контролю зенкувань, різьбових з’єднань, кромek лопаток і важкодоступних місць, зокрема, для виявлення дефектів на бічних поверхнях отворів.

Шостий розділ роботи присвячено створенню засобів і технологій вихорострумівого контролю виробів, що характеризуються високим рівнем завад, з використанням перетворювачів подвійного диференціювання.

В програмне забезпечення дефектоскопів додатково до традиційних введено алгоритм диференційного сумування, який використовують для зменшення рівня завад під час контролю виробів з шорсткою поверхнею і структурними неоднорідностями. Проаналізовані різні технології контролю зварних з’єднань. Доказано ефективність використання перетворювачів подвійного диференціювання для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів різного типу в умовах дії завад, пов’язаних з порушеннями геометрії виробу і зміною електричної провідності в зоні зварних швів, виконаних із алюмінієвих сплавів. Подано варіант реалізації багатоканальної системи виявлення тріщин у кутових зварних швах конструкцій із феромагнітних матеріалів через шар захисного покриття.

Запропоновано технології виявлення прихованих дефектів авіаційних багат шарових конструкцій з використанням перетворювачів подвійного диференціювання і методу інтерпретації сигналів у комплексній площині з розділенням сигналів від дефектів і впливу заважальних факторів. Розглянуто

різні варіанти технологій виявлення дефектів в зоні заклепкових з'єднань багатошарових авіаційних конструкцій. Представлено технології виявлення дефектів литви з шорсткою поверхнею.

Розроблено автоматизовані системи контролю на основі перетворювачів подвійного диференціювання, що використовуються на різних підприємствах України. З використанням розробленого автором дисертації перетворювача німецька фірма «Тест Maschinen Technik» розробила восьмиканальну систему виявлення тріщин у зварних швах конструкцій з феромагнітних матеріалів через шар захисного покриття товщиною до 3 мм.

Розглянуто різні варіанти технологій виявлення дефектів у зоні заклепкових з'єднань багатошарових авіаційних конструкцій. Однією з найскладніших проблем є виявлення внутрішніх тріщин, що розвиваються від заклепкових отворів у третьому і четвертому шарах п'ятишарового вузла літака Боїнг 737 без демонтажу цього вузла. За завданням авіакомпанії «Міжнародні авіалінії України» для розв'язання цієї задачі розроблено перетворювач типу SPF-2346, який працює у діапазоні частот 0,2...4,0 кГц. Найкращу чутливість під час контролю зони заклепок показали методики, побудовані на обертанні перетворювача навколо заклепки.

У сьомому розділі дисертації описано комплекс досліджень, пов'язаних із створенням засобів вихрострумової структуроскопії. Запропоновано узагальнену схему фазового вимірювача питомої електричної провідності з автоматичною корекцією впливу зазору, яка здійснюється зміщенням початку координат у комплексній площині імпедансу шляхом сумування вихідного сигналу вихрострумового перетворювача із сигналом компенсації зазору. Запропоновано вдосконалену схему вимірювання фази сигналу перетворювача на логічних схемах, в якій для запобігання впливу паразитної осциляції в компаратори введено додатковий гістерезис, що забезпечується введенням додатного зворотного зв'язку.

Запропоновано новий спосіб вимірювання питомої електричної провідності матеріалу фазовим методом, який дозволяє розширити ступінь і діапазон відлаштування від впливу зазору під час вимірювань. Проведені дослідження і нові технічні рішення використано для створення вихрострумових

структуроскопів для алюмінієвих сплавів типу ВЕП-21, ВЕП-22 і ВЕПР-31. Експериментально доказано ефективність використання таких приладів з локальним перетворювачем діаметром 0,75 мм для визначення розподілу електричної провідності в зоні зварного шва конструкцій із алюмінієвих сплавів. Розроблені структуроскопи успішно використано для дослідження структурної деградації алюмінієвих сплавів авіаційних конструкцій, що виникає при довготривалій експлуатації, без видалення лакофарбових покриттів. Розроблено і досліджено винесені автогенераторні пристрої, які працюють на підвищених частотах понад 100 МГц, для контролю змін структури у поверхневих шарах. Експериментально доказана можливість контролю товщини газонасиченого шару і його питомої електричної провідності, запропоновано новий спосіб кількісного контролю цих параметрів. Розроблено структуроскопи типу АЛЬФА, ДЕЛЬТА і ВС-11ВЧ (АЛЬФА М) для роботи на робочих частотах 100, 200 і 400 МГц.

У восьмому розділі роботи розглянуто питання метрологічного забезпечення засобів вихрострумової дефектоскопії. Запропоновано класифікацію стандартних зразків дефектоскопії. Запропоновані конструкції стандартних зразків для імітації реальних дефектів різних типів. Проаналізовано причини розходження сигналів від штучних і реальних дефектів.

Шляхом розрахунків методом об'ємних інтегральних рівнянь за методикою, викладеною у розділі 2, розраховано вплив розкриття дефектів на сигнал параметричного вихрострумового перетворювача. Дослідження виконані в діапазоні, що відповідає розкриттю природних дефектів. Отримані залежності показують, що амплітуда сигналу перетворювача суттєво залежить від розкриття тріщини. Зі збільшенням приведенного до середнього діаметра перетворювача розкриття від 0,01 до 0,3 амплітуда зростає від 0,0026 до 0,083, а фаза сигналу змінюється від 62 до 82°.

Запропоновано статистичний спосіб атестації стандартних зразків дефектоскопії.

Створено імітатор сигналів вихрострумowego контролю для повірки дефектоскопів з перетворювачами подвійного диференціювання. Розроблена відповідна методика атестації.

Результати дисертаційної роботи Учаніна В.М. у вигляді розроблених приладів широко впроваджені у виробництво. В додатку дисертації приведено 22 акта впровадження, які одержані автором за період з 2001 по 2014 рік.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, є обґрунтованими. Вони перевірені і установлені автором при виконанні великої кількості експериментальних досліджень, проведених як в лабораторних так і в виробничих умовах на ряді підприємств України та за її межами, і мають, внаслідок цього, високу достовірність. Їх новизна підтверджується значною кількістю публікацій, у тому числі одноосібною монографією і розділами в 3 монографіях, 42 статтями в наукових фахових виданнях, 26 авторськими свідоцтвами і патентами, доповідями на ряді європейських та світових конференціях з неруйнівного контролю. Основні результати наукових досліджень, методики їх проведення, розроблені засоби і прилади достатньо повно викладені в опублікованих працях.

Зміст автореферату відображує основні положення дисертації. Дисертація відповідає спеціальності 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин і є завершеною науковою роботою.

До недоліків дисертації слід віднести наступне.

1. В першому розділі дисертації при аналізі питань щодо глибини контролю доцільно було б розглянути статтю Локшиної Н.Н., Шкарлета Ю.М. «Приближенная методика расчета накладных вихретоковых датчиков» (Дефектоскопия, 1970, №1), де глибина скін – шару визначається з урахуванням середнього діаметру накладного датчика.
2. В підрозділі 2.1.1 дисертації розглянуті різні методи балансування вихрострумowych перетворювачів, які використовуються програмою моделювання VIC – 3D. Проте при моделюванні слід враховувати помилку, що виникає при використанні диференціального методу корекції сигналу перетворювача, який розташований над дефектом, за рахунок сигналу

ідентичного перетворювача, який розташований над бездефектною поверхнею матеріалу. Ця помилка виникає внаслідок того, що електрична провідність матеріалу в околі тріщини змінюється під впливом деформаційних процесів, виникаючих при утворенні дефекту (що, зокрема, відмічається в дисертації).

3. При визначенні довжини тріщини за координатами особливих точок модуляційного імпульсу (підрозділ 2.2.2) використовуються перша і друга похідні змінення модулю імпедансу вихрострумowego перетворювача вздовж траєкторії сканування. Тут слід враховувати, що диференціювання сигналу характеризується значною нестійкістю, тому необхідно забезпечити постійну швидкість сканування і виключити коливання зазору, що перевищують діапазон його корегування.

4. При визначенні впливу анізотропії електричної провідності матеріалу на сигнал вихрострумowego перетворювача подвійного диференціювання (підрозділ 3.8) використовувалась пластина із алюмінієвого сплаву після вальцювання. Проте не наведені значення електричної провідності вздовж головних напрямків анізотропії, що допомогло б оцінити відповідну чутливість перетворювача.

5. При визначенні характеристик високочастотних автогенераторних дефектоскопів доцільно навести характеристики стабільності їх роботи, зокрема амплітудної і частотної.

6. В приладах, що працюють в діапазоні підвищених частот 100 – 400 МГц, важко добиватися значної добротності параметричного вихрострумowego перетворювача малого діаметра, включеного в коливальний контур. В таких схемах позитивний ефект дає використання елементів з від'ємним активним опором (як, наприклад, в роботі [176] із списку використаних джерел дисертації). Доцільно навести відомості з цього питання.

Указані недоліки не знижають суттєво цінність дисертаційної роботи.

В дисертаційній роботі Учаніна В.М. на основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розроблено методи і створено нові технічні засоби вихрострумowego неруйнівного контролю відповідальних конструкцій і виробів в умовах підвищеної дії заважальних факторів і завад. Це дозволило суттєво підвищити метрологічні характеристики вихрострумовой

дефектоскопії, дефектометрії та структуроскопії, розширити сферу застосування вихрострумowego методу на виявлення дефектів у багатошарових авіаційних вузлах, деталях зі значною кривизною поверхні, під головкою заклепки, у виробах з високою неоднорідністю і анізотропією структури, змінами магнітних властивостей, шорсткою поверхнею.

Отримані автором дисертації нові, науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати в сукупності є значним досягненням для розвитку вихрострумowego неруйнівного контролю матеріалів і виробів.

Тому вважаю, що дисертаційна робота Учаніна В.М. «Розроблення методів і засобів вихрострумowego контролю матеріалів та конструкцій», відповідає вимогам, встановленим до докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри електронних обчислювальних

машин Дніпровського (Дніпропетровського)

національного університету імені Олеся Гончара

Хандецький В.С.

Підпис професора Хандецького В.С. засвідчую.

Вчений секретар Дніпропетровського національного

ніверситету імені Олеся Гончара

Ходанен Т.В.