

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ДЕСЯТНІЧЕНКО ОЛЕКСІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 620.179.16

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИЙ ТОВЩИНОМІР
ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕТАЛОВИРОБІВ
З ДІЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сучков Григорій Михайлович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри приладів і методів
неруйнівного контролю

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тараненко Юрій Карлович,
Дніпропетровський університет
імені Альфреда Нобеля,
м. Дніпропетровськ,
професор кафедри прикладної лінгвістики

кандидат технічних наук, доцент
Тітова Наталія Володимирівна,
Національний транспортний університет,
м. Київ,
доцент кафедри інформаційних систем і технологій

Захист відбудеться «8» жовтня 2015 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 при Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Автореферат розісланий «7» вересня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. М. Глоба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Методи неруйнівного контролю широко використовуються для контролю товщини металовиробів під час виробництва та подальшої експлуатації. Серед них, найбільшого поширення набув ультразвуковий метод, для якого актуальною є задача забезпечення можливості безконтактного вимірювання, що дозволить контролювати товщину виробів за наявності на їх поверхні шару захисного покриття або іржі, без необхідності їх видалення. Такі задачі, як правило, вирішуються за допомогою використання електромагнітно-акустичного (ЕМА) методу збудження та прийому акустичних хвиль, інтенсивний розвиток якого спостерігається в останні роки. Але, нажаль, пристрої, що реалізують цей метод мають значно гірші характеристики, ніж п'єзоелектричні аналоги. В першу чергу це пов'язано з тим, що вони базуються на рішеннях та засадах, які були реалізовані для пристроїв з п'єзоелектричними перетворювачами, що не дозволяє в повному обсязі реалізувати усі переваги ЕМА методу. Подальший розвиток ЕМА методу необхідно здійснювати з обов'язковим врахуванням його особливостей, які мають бути відображені під час проектування електронних вузлів, конструюванні перетворювачів та розробці методів обробки отриманих даних. Це дозволить значно підвищити чутливість, метрологічні та експлуатаційні показники, що в свою чергу дасть змогу проводити точні вимірювання в умовах наявності великого зазору або товстого покриття.

При практичному використанні ЕМА товщиномірів в умовах наявності товстого шару покриття (зазору) між датчиком та об'єктом контролю (ОК), важливим параметром є значення співвідношення сигнал/шум. Враховуючи досить низький рівень сигналу, що надходить з приймаючої котушки ЕМА перетворювача, на цю характеристику значно впливають електромагнітні завади, втрати у з'єднуючому кабелі, характеристики аналогових схем підсилення та вимірювання. Тому задача підвищення співвідношення сигнал/шум в умовах вимірювання металовиробів з великим шаром покриття є актуальною науково-практичною задачею, яка визначає напрям дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю НТУ «ХП» у складі держбюджетних НДР МОН України: «Дослідження можливості створення прототипів приладів неруйнівного контролю нового покоління з використанням енерго- та ресурсозберігаючих технологій» (ДР№ 0111U002280), «Розробка методів і макетів приладів для неруйнівного контролю якості виробів зі зменшеними витратами енергії і матеріалів» (ДР№ 0113U000444); госпдоговірних тем: «Розробка сучасних методів і засобів ультразвукового, вихорострумового і магнітного контролю» (ПП «ДДП», м. Миколаїв), «Провести налагодження, випробовування та передачу двох блоків генератора зондуєчих імпульсів» (ВАТ «Компанія «Статус Практика», м. Харків); пошукової теми кафедри: «Розробка середньочастотного формувача прямокутних імпульсів ТТЛ рівня з регулюванням в діапазоні

0,1...6 МГц з електронним керуванням» (план НДР НТУ «ХП»), в яких здобувач був відповідальним виконавцем або виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – розробити теоретичні і практичні засади для забезпечення контролю товщини металовиробів електромагнітно-акустичним методом при наявності діелектричних покриттів (зазорів) товщиною до 10 мм

Для досягнення мети поставлені задачі:

- виконати аналіз існуючих розробок в області товщинометрії металовиробів, визначити їх недоліки та шляхи вдосконалення;

- провести теоретичне і експериментальне дослідження впливу факторів, що визначають чутливість вимірювання товщини виробів;

- розробити методи і засоби підвищення чутливості ЕМА товщиноміру при контролі виробів з товстими діелектричними покриттями (або повітряними зазорами) до 10 мм;

- розробити дослідний зразок ЕМА товщиноміру для контролю металовиробів з покриттям (зазором) товщиною до 10 мм;

- розробити метрологічне забезпечення ЕМА товщиноміру.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії магнітного, імпульсного електромагнітного та акустичного полів з електропровідним металовиробом.

Предмет досліджень – електромагнітно-акустичний товщиномір.

Методи досліджень. В теоретичних та експериментальних дослідженнях використані методи, що ґрунтуються на теорії розповсюдження ультразвукових хвиль в металах, визначенні характеристик ультразвукових хвиль, що збуджуються ЕМА методом. Використані тіньові та дзеркально-тіньові методи ультразвукового контролю товщини металовиробів. Застосовані методи для оцінювання факторів, що впливають на точність контролю товщини металу. Для розробки ЕМА товщиноміру використані принципи побудови електронних приладів, алгоритми підвищення чутливості, програмування, методи обробки інформації, зменшення «мертвої» зони, зниження завад електромагнітного та акустичного типів. Враховані особливості метрологічного забезпечення ЕМА товщиноміру.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено метод електромагнітно-акустичного контролю металовиробів, суть якого полягає в збудженні з заданою тривалістю і потужністю ультразвукового імпульсу зондування при урахуванні діаграми спрямованості акустичного поля, що дозволяє забезпечити товщинометрію виробів з діелектричними покриттями (зазорами) до 10 мм;

- вперше розроблено та реалізовано в електромагнітно-акустичній товщинометрії метод, суть якого полягає в збудженні пакетного імпульсу заданої частоти і тривалості, прийомі донних імпульсів і подальшому послідовному зсуві та підсумовуванні з різними знаками, що дозволяє збільшити співвідношення сигнал/шум в 3 рази;

- удосконалено метод зменшення часового інтервалу після випромінювання послідовності зондування, під час якого неможлива реєстрація

донних сигналів, за рахунок керованої релаксації енергії, накопиченої при проходженні імпульсів струму в індуктивних та ємнісних елементах електромагнітно-акустичного перетворювача.

Практичне значення одержаних результатів для приладобудування полягає в наступному:

– розроблено та виготовлено модифікацію ЕМА перетворювача для збудження та приймання ультразвукових хвиль за наявності діелектричних покриттів (зазорів) товщиною до 10 мм;

– розроблено та впроваджено потужний генератор сигналу зондування для живлення ЕМА перетворювача, який використано для модернізації ЕМА установки контролю рейок у ПАТ «МК «Азовсталь» (м. Маріуполь);

– розроблено та виготовлено стійкий до ударного впливу імпульсу зондування підсилювач з половою 1...3 МГц та низьким рівнем власних шумів, що не перевищують 30 мкВ;

– розроблено та виготовлено дослідний взірець ЕМА товщиноміру (патент України №74673, МПК G 01 B 17/02 (2006.01), який дозволяє проводити вимірювання товщини металовиробів з покриттями (зазорами) товщиною до 10 мм;

– розроблено та виготовлено контрольний взірець для налаштування та калібрування ЕМА товщиноміру.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати роботи отримані здобувачем самостійно, Серед них: здійснене теоретичне обґрунтування шляхів забезпечення товщинометрії виробів з діелектричними покриттями (зазорами) до 10 мм; створено та досліджено електромагнітно-акустичний перетворювач; розроблено генератор та підсилювач імпульсів зондування для живлення перетворювача з можливістю цифрового регулювання параметрів; розроблено підсилювач прийнятого сигналу, який здатен витримувати великі перенавантаження та має малий час відновлення; створено блок активного зменшення вільних коливань перетворювача; проведені експериментальні дослідження розроблених блоків; експериментально підтверджена ефективність запропонованих шляхів підвищення максимальної товщини діелектричного покриття (зазору); розроблено і виготовлено діючий дослідний зразок ЕМА товщиноміру; запропоновано метод швидкої обробки вимірюваних даних; створено контрольний взірець для калібрування товщиноміру.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і були схвалені на: VI и VII Міжнародній виставці і конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика в промисловості» (Москва, 2007, 2008 pp.); VI, VIII, XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи» (Київ, 2008, 2010, 2015 pp.); XVI, XVII, XVIII, XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2008, 2009, 2010, 2014 pp.); IX Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатики і моделювання»

(Харків, 2009 р.); XVIII Міжнародній конференції «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики» (Ялта, 2010 р.); III Науково-практичній конференції студентів і молодих вчених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (Івано-Франківськ, 2011 р.); I Міжгалузевій науково-практичній конференції молодих вчених і фахівців в області проектування підприємств гірничо-металургічного комплексу, енерго- та ресурсозбереження, захисту навколишнього природного середовища «Інноваційні шляхи модернізації базових галузей промисловості, енерго- і ресурсозбереження, охорона навколишнього природного середовища» (Харків, 2012 р.); VII Національній науково-технічній конференції і виставці «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (Київ, 2012 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 26 наукових працях, серед яких: 9 статей у наукових фахових виданнях України, 2 статті у закордонних періодичних фахових виданнях (наукометрична база Scopus), 1 патент України, 14 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 172 сторінки, з них: 55 рисунків до тексту, 11 рисунків на 11 сторінках, 3 таблиці до тексту, 122 найменування використаних джерел на 15 сторінках, 3 додатки на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету та основні задачі дисертаційної роботи, наведено дані про її зв'язок з науковими програмами, викладено наукову новизну і практичне значення досліджень, особистий внесок здобувача, вказано відомості щодо апробації результатів дисертації, їх публікації та впровадження.

У **першому розділі** виконано аналіз методів і засобів акустичного контролю металовиробів. Використано накопичений у даному напрямку науки і техніки світовий досвід, в який зробили свій внесок наукові школи під керівництвом: Боброва В. Т., Буденкова Г. А., Карпаша О. М., Кисіля І. С., Ключова В. В., Комарова В. А., Королева М. В., Малинки А. В., Мужичького В. Ф., Нікіфоренко Ж. Г., Петрищева О. Н., Радько В. П., Ремезова В. Б., Рокшто Б. И., Сучкова Г. М., Тараненко Ю. К., Троїцького В. О. Чабанова В. Е., Шкарлета Ю. М., Шубаєва С. Н., dr. Förster та багатьох інших та вчених.

Проаналізовано розповсюджений п'єзоелектричний метод збудження та прийому акустичних хвиль. Відзначено, що метод потребує прямого контакту з поверхнею металовиробу для передачі механічної енергії акустичних коливань, які збуджуються в п'єзоперетворювачі, і не може бути використаний, коли неможливо забезпечити прямий механічний контакт датчика та металовиробу.

Проаналізовані інші відомі акустичні методи та пристрої для вимірювання товщини металовиробів, розглянуті основні їх переваги та недоліки. Показано, що за наявності діелектричного покриття або зазору, доцільно використовувати ЕМА метод збудження та прийому акустичних хвиль, що не потребує

механічного контакту з об'єктом контролю та дозволяє збуджувати акустичні імпульси безпосередньо в поверхневому шарі металу. При збудженні акустичних коливань цим методом (пряме ЕМА перетворення), під час проходження змінного струму (рис. 1) в котушці 2, яка розташовується паралельно об'єкту контролю 3 в постійному магнітному полі 4 індукцією B_0 , що формується

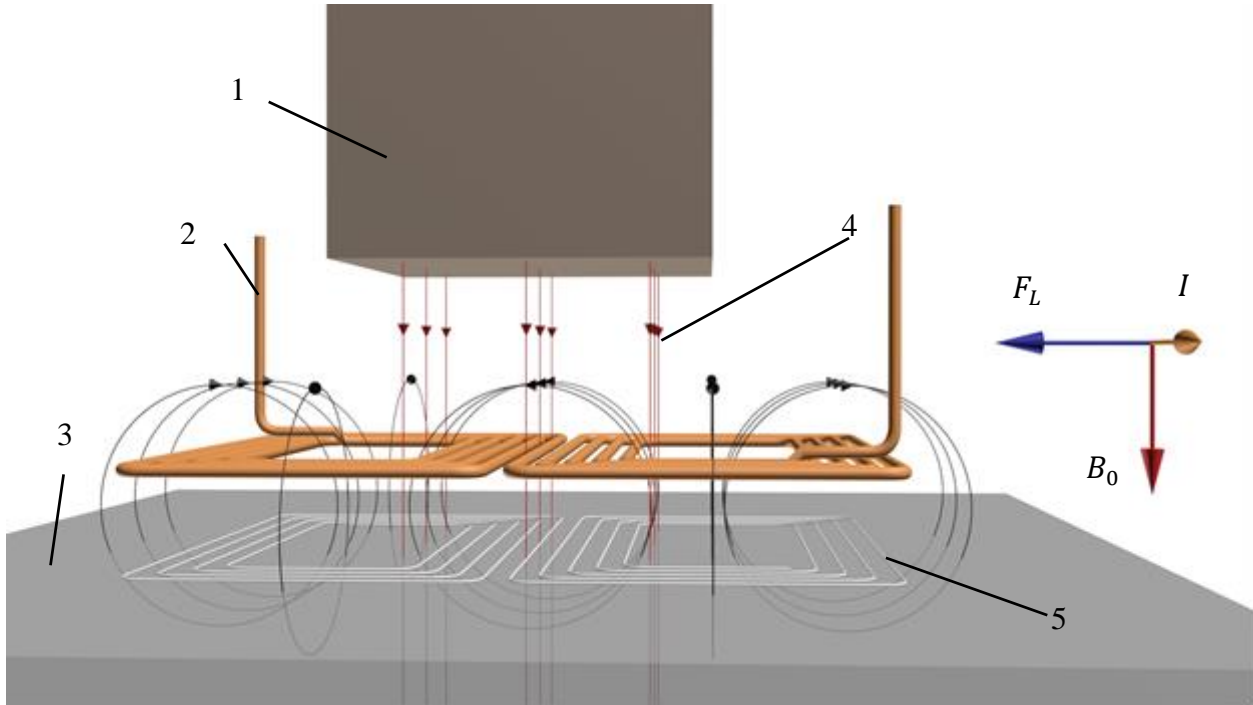


Рисунок 1 – Принцип електромагнітно-акустичного перетворення

магнітом 1, на верхньому шарі поверхні металовиробу формуються вихрові струми 5, які будуть направлені паралельно виткам цієї котушки у напрямі, протилежному направленню струму. При взаємодії вихрових струмів з постійним магнітним полем виникають мікрозміщення верхнього шару металу, в результаті чого збуджується поперечна хвиля. При прийомі (зворотне ЕМА перетворення), в металі, що знаходиться в постійному магнітному полі, акустичні коливання викликають механічні мікрозміщення та збуджують вихрові струми, які індують змінний струм в котушці, що в цьому випадку виступає у якості приймача.

При збільшенні відстані до ОК, значно зменшуються індукція B_0 постійного магнітного поля та інтенсивність вихрових струмів в верхніх шарах виробу. Це призводить до зниження амплітуди акустичної хвилі, що збуджується при генеруванні, та до зменшення амплітуди електричного сигналу при прийомі. В переважній більшості відомих приладів значення максимальної відстані від датчика до ОК не перевищує 2 мм, що в багатьох випадках недостатньо для проведення контролю, тому задача підвищення цього значення є актуальною.

У **другому розділі** наведено результати теоретичних досліджень особливостей генерування та прийому акустичного сигналу ЕМА методом (а саме розповсюдження акустичних хвиль в об'єкті контролю та електричних процесів в аналоговому тракті товщиноміру), для виявлення шляхів підвищення чутливості цього методу.

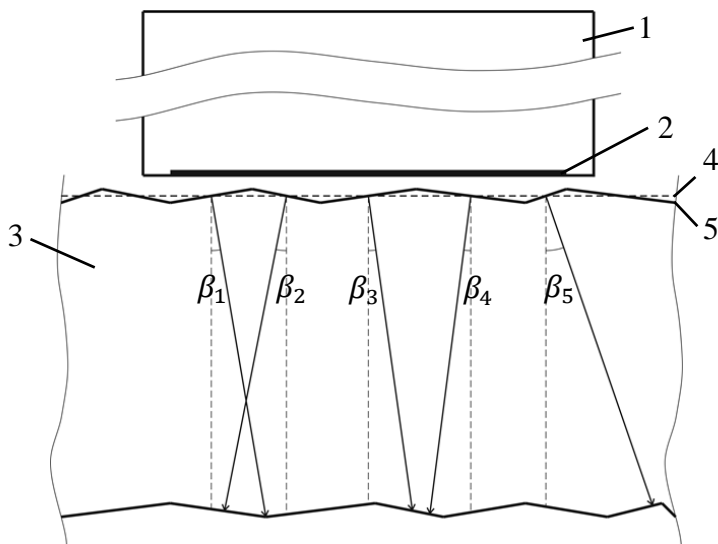


Рисунок 2 – Збудження акустичних коливань на ОК з нерівною поверхнею

Проаналізовано процес збудження акустичних коливань в ОК з поверхнею, що має нерівності (рис. 2). Акустична хвиля формується в верхньому шарі ОК 3, який знаходиться під робочою зоною 2 ЕМА перетворювача (ЕМАП) 1. Якщо поверхня 5 має нерівності, її можна розділити на відповідні прямі ділянки і розглядати кожен ділянку окремо. На окремому відрізку такі ділянки утворюють усереднену

поверхню 4. Випромінення акустичної хвилі буде відбуватися у напрямі, перпендикулярному площині кожної ділянки 5, і мати кут відхилення від нормалі β_i . Звичайно, для ідеально гладких поверхонь таке відхилення буде дорівнювати 0° , а із підвищенням ступеня нерівності воно зростатиме. Для спрощення розрахунків, далі кожна така ділянка розглядається окремо.

Як правило, до виробу можливий доступ тільки з однієї сторони, тому найчастіше, при вимірюванні товщини використовується дзеркально-тіньова схема контролю (схема отримання первинної інформації), яка зображена на рис. 3. Сигнал з формувача сигналу зондування (ФСЗ) подається на підсилювач сигналу зондування (ПСЗ) та надходить до випромінюючого ЕМАП (ВЕМАП). Акустична хвиля формується площадкою 1 під робочою зоною ВЕМАП (пряме ЕМА перетворення) з відхиленням від нормалі на кут β . Після відбиття від донної поверхні, акустична хвиля повертається до верхньої сторони виробу та потрапляючи до площадки 2 під робочою зоною приймального ЕМАП (ПЕМАП), формує донний сигнал (зворотне ЕМА перетворення), який надходить до підсилювача прийнятого сигналу (ППС). Відбиття акустичної хвилі відбувається і від верхньої поверхні, тому після повторного відбиття від донної поверхні вона знову може реєструватися ПЕМАП. Замість двох датчиків може використовуватися поєднаний ЕМА перетворювач, який працює і на передачу, і на приймання.

Кількість донних сигналів, що можуть бути зареєстровані, залежить від товщини металовиробу, рівня згасання акустичних хвиль в матеріалі, якості поверхні, товщини

діелектричного покриття (повітряного зазору) та характеристик аналогового тракту товщиноміру. Вимірювання товщини при такій схемі полягає в вимірюванні часового проміжку між сигналом зондування та першим донним

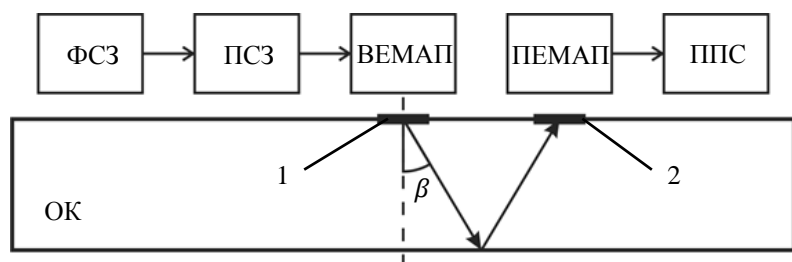


Рисунок 3 – Дзеркально-тіньова схема контролю

сигналом (або між двома сусідніми донними сигналами) та обчисленні товщини по відомій швидкості розповсюдження акустичних хвиль в матеріалі виробу. В такому разі, задача підвищення чутливості товщинометрії полягає у поліпшенні характеристик функціональних блоків аналогового тракту та виборі оптимального сигналу зондування з урахуванням особливостей ЕМА методу.

Для вибору оптимальної довжини сигналу зондування в роботі розглянуто геометричну схему розповсюдження акустичної хвилі (рис. 4). Акустична хвиля, що має кут розкриття $\Delta\beta$, проходячи по виробу товщиною h долає відстань l . Поверхня акустичного поля в перетині нормально акустичній осі представляє собою коло з діаметром $\Delta\alpha$, яка на донній поверхні перетворюється на еліпс з радіусами a та b .

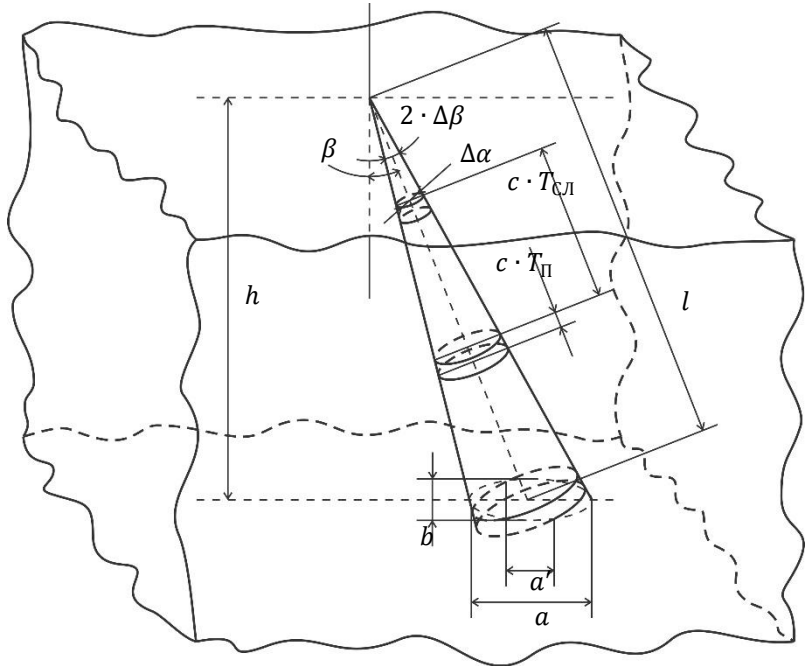


Рисунок 4 – Схема розповсюдження акустичної хвилі

Імпульс зондування, що має тривалість T_{Π} та розповсюджується зі швидкістю c , має в просторі металовиробу довжину $c \cdot T_{\Pi}$. Мала довжина цього імпульсу буде призводити до неповного покриття площі відбиття (на рис. 4 ділянка реального покриття обмежена відстанню a'), та до зменшення енергії, відбиваної від донної поверхні. Для максимізації цієї енергії необхідне виконання умови $a = a'$. Мінімальна довжина імпульсу зондування у просторі металовиробу, яка необхідна для повного покриття площі відбиття, може бути обчислена як

$$\tau_a = h \cos(\Delta\beta) \cdot \left(\frac{1}{\cos(\beta + \Delta\beta)} - \frac{1}{\cos(\beta - \Delta\beta)} \right).$$

Якщо в якості сигналу зондування використовується пакетний імпульс з високою частотою заповнення f_1 , то мінімальна кількість періодів заповнення обчислюється за формулою при округленні до більшого цілого

$$n = \left\lceil \frac{f_1 h \cos(\Delta\beta) \cdot \left(\frac{1}{\cos(\beta + \Delta\beta)} - \frac{1}{\cos(\beta - \Delta\beta)} \right)}{c} \right\rceil.$$

Генеруюча та приймаюча котушки ЕМАП мають резонансні особливості, котрі повинні обов'язково враховуватися під час проектування електронних

вузлів та виборі оптимального сигналу зондування. Еквівалентна схема генеруючого тракту ЕМА товщиноміру показана на рис. 5.

Робота вихідного каскаду підсилювача сигналу зондування описана за допомогою джерела змінної напруги E_1 з частотою, відповідною частоті заповнення f_1 пакетного імпульсу зондування та ключа S_1 , час включеного стану якого

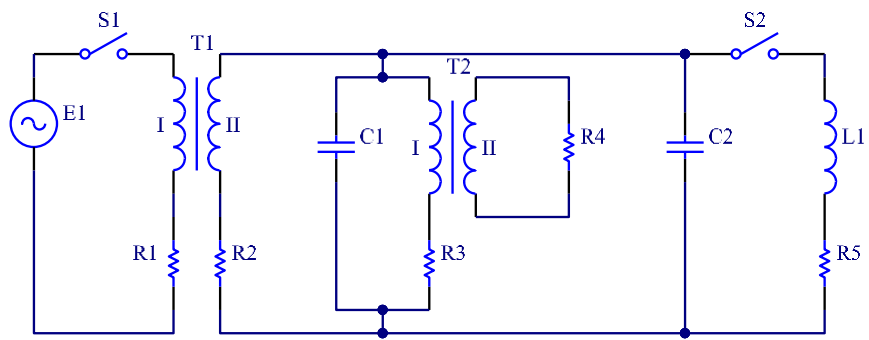


Рисунок 5 – Еквівалентна схема генеруючого тракту ЕМА товщиноміру

співпадає з часом тривалості послідовності зондування. Як правило, для живлення вихідних транзисторів такого підсилювача використовується напруга до 100 В. Це обмеження викликано максимально допустимою напругою високочастотних польових транзисторів. Для підвищення цієї напруги використовується високочастотний трансформатор T_1 , вторинна обмотка якого підключається до генеруючої котушки ЕМАП. Опір транзисторів у відкритому стані і опір первинної обмотки вихідного трансформатора T_1 , а також опір провідників що їх з'єднують, представлено за допомогою резистору R_1 , а опір вторинної обмотки трансформатору – за допомогою R_2 . Генеруюча котушка ЕМАП представлена у вигляді первинної обмотки трансформатора T_2 , а її опір – у вигляді R_3 . Наявність опорів $R_1...R_3$ разом з великою індуктивністю генеруючої котушки ЕМАП не дозволяють досягти сигналу достатньої амплітуди. Це змушує використовувати резонансні схеми, які дозволяють накопичувати енергію, необхідну для досягнення високих рівнів акустичного сигналу. У свою чергу, наявність резонансних властивостей має значний вплив на швидкість наростання амплітуди сигналу зондування, а також на час вільних коливань, після закінчення послідовності зондування. Все це викликає подовження послідовності зондування. Також використання резонансного контуру обмежує використання частот сигналу зондування значеннями, близькими до резонансної частоти.

Вторинна обмотка трансформатора T_1 підключена до резонансного контуру, який складається з генеруючої обмотки ЕМАП і конденсатора C_1 . Так як на практиці вихідний трансформатор виготовляється на феритовому осерді і має більше 10 витків вторинної обмотки, індуктивність цієї обмотки на кілька порядків перевищує індуктивність генеруючої котушки датчика і не робить істотного впливу на його резонансну частоту.

Для зменшення часу вільних коливань використовується блок подавлення, який складається з ключа S_2 , що замикається безпосередньо після закінчення послідовності зондування. Практично, в якості керованого комутуючого елемента, використовується напівпровідниковий елемент (наприклад тиристор) або їх група, які у відкритому стані мають індуктивність L_1 та опір R_5 . Ємність елементів блоку C_2 більшою мірою пов'язана з ємністю переходів

напівпровідників, що складає одиниці пікофарад, а це на кілька порядків менше ємності конденсатора С1, і тому може не враховуватися.

Значення індуктивності L1 значно менше індуктивності генеруючої котушки датчика, тому при замиканні ключа S2 ці дві індуктивності з'єднуються паралельно, в результаті чого, еквівалентна індуктивність LC-контуру датчика значно знижується, що призводить до зміни резонансної частоти в бік більш високих частот. Таким чином, при використанні фільтрації прийнятого сигналу, можна буде позбутися впливу вільних коливань на результати вимірювань

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень, направлених на перевірку теоретичних обґрунтувань, викладених у розділі 2, щодо особливостей генерування та прийому акустичного сигналу ЕМА методом, для виявлення шляхів підвищення чутливості.

Для виконання досліджень та відпрацювання практичних особливостей побудови функціональних блоків ЕМА товщиноміру, створено експериментальний стенд (рис. 6). Розроблено макет високочутливого ЕМАП,

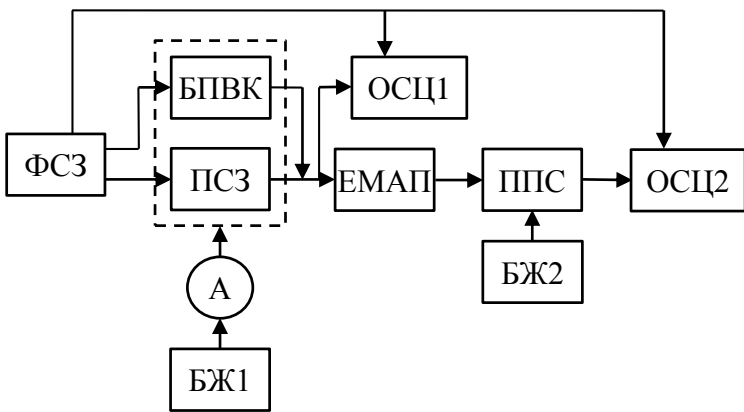


Рисунок 6 – Блок-схема стенду для досліджень

включеного по роздільно суміщеній схемі, який дозволив проводити вимірювання при наявності зазору до 10 мм. Для формування пакетів сигналу зондування, із можливістю налаштування їх параметрів, розроблено спеціальний цифровий формувач сигналу зондування (ФСЗ). Для живлення ЕМА перетворювача розроблено макет потужного

підсилювача сигналу зондування (ПЗС), який здатен забезпечувати амплітуду сигналу на обмотці датчика до ± 2000 В. Розроблено блок продавлення вільних коливань (БПВК) шляхом релаксації енергії, що накопичується в ЕМАП. Створено макет підсилювача прийнятого сигналу (ППС), стійкого до короткочасних ударних перевантажень, що має малий час відновлення та низький рівень власного шуму. Для контролю амплітуди сигналу зондування використаний осцилограф 1 (ОСЦ1). Контроль амплітуди прийнятого сигналу проводиться на осцилографі 2 (ОСЦ2). Для живлення підсилювача сигналу зондування використовується блок живлення 1 (БЖ1), з підключеним амперметром (А) для контролю рівня споживання. Живлення підсилювача прийнятого сигналу здійснюється блоком 2 (БЖ2).

Експериментально підтверджено висновки теоретичних досліджень про необхідність врахування параметрів потужності ЕМАП та його живлення у вигляді пакетного імпульсу з раціональної тривалістю. Показано, що для отримання достатнього рівня співвідношення сигнал/шум прийнятого з виробу сигналу, при наявності діелектричних покриттів товщиною до 10 мм, доцільно використовувати послідовність з 5...7 періодів заповнення амплітудою $\pm 1000...2000$ В (рис. 7). Для всіх зазорів значний приріст величини

співвідношення сигнал/шум відбувається до 6-го періоду заповнення. Подальше зростання продовжується до 8-9-го періодів, але воно незначне (рис. 8).

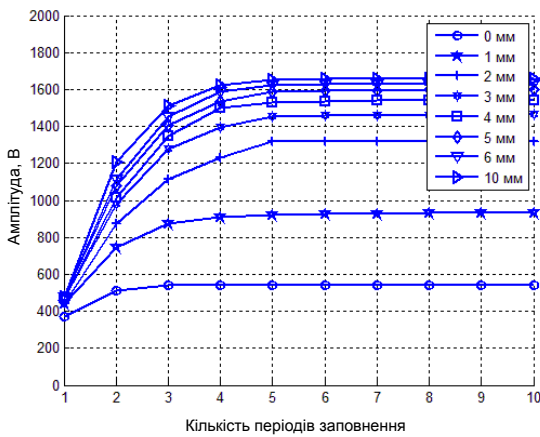


Рисунок 7 – Залежність напруги на генеруючій котушці ЕМАП від зазору для різної кількості періодів заповнення

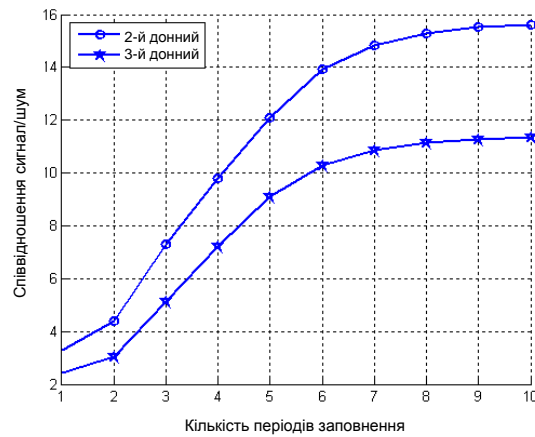


Рисунок 8 – Залежність відношення сигнал/шум другого та третього донних імпульсів від кількості періодів заповнення

Максимальні значення співвідношення сигнал/шум для різних зазорів різні: для зазорів 0, 1 і 5 мм ця величина сягає 8...12, чого достатньо для вимірювань без необхідності застосування додаткових засобів цифрової обробки сигналів. Для зазору 10 мм співвідношення сигнал/шум сягає значень 14...15, що може потребувати додаткової фільтрації для забезпечення ефективної роботи ЕМА перетворювача і проведення контролю. На зазорах, близьких до 10 мм тривалість імпульсу зондування має становити не менше 5...6 періодів заповнення. Використання періодичного сигналу в пакеті зондування, з оптимальною кількістю періодів заповнення, дозволило отримати досить високе співвідношення сигнал/шум на зазорі 10 м (рис. 9).

Експериментально підтверджено, що при збільшенні зазору між ЕМАП і металом збільшується добротність котушок ЕМАП в режимі прийому і випромінювання, що призводить до зміщення резонансної частоти (рис. 10). Товщина покриттів реальних об'єктів може змінюватися під дією кліматичних або механічних впливів чи взагалі може бути невідома або варіюватися. При виборі частоти сигналу зондування не можна однозначно покладатися на товщину діелектричного шару покриття. Найбільш раціональним є вибір такого номінального значення частоти сигналу зондування, при якому зниження ефективності датчика буде неістотним при зміні зазору, а отже частота повинна обиратися зі значень для найбільшого зазору.

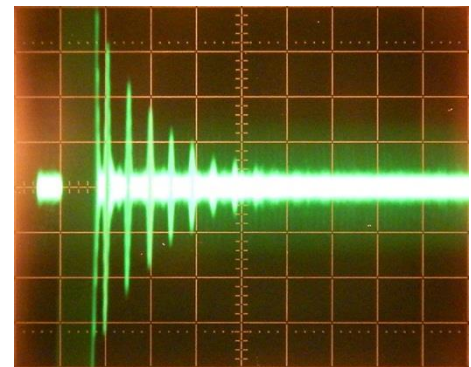


Рисунок 9 – Принятий сигнал для зазору 10 мм

Підтверджено, що із збільшенням зазору відбувається збільшення амплітуди імпульсів на генеруючій обмотці (рис. 11). Максимальне зростання спостерігається на зміні зазору з 0 до 2 мм, далі зменшується і після зазору 5 мм зростання практично відсутнє.

Співвідношення сигнал/шум другого донного сигналу зі збільшенням зазору зростає на малих значеннях відстані (рис. 12). Зі збільшенням зазору з 0 до 2 мм спостерігається значне зростання амплітуди донних імпульсів. Зі збільшенням зазору збільшуються втрати при передачі енергії в об'єкт контролю, проте вони компенсуються за рахунок зростання амплітуди на генеруючій обмотці. Зі збільшенням зазору з 3 мм і вище, зростання втрат при передачі енергії починає перевищувати зростання амплітуди на генеруючій обмотці, що в результаті викликає падіння амплітуди донних імпульсів.

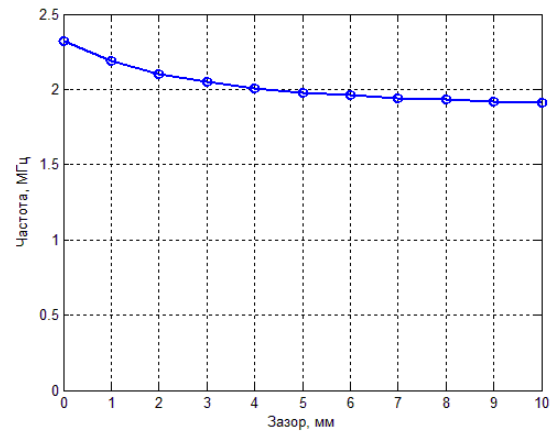


Рисунок 10 – Залежність резонансної частоти ЕМАП від величини зазору

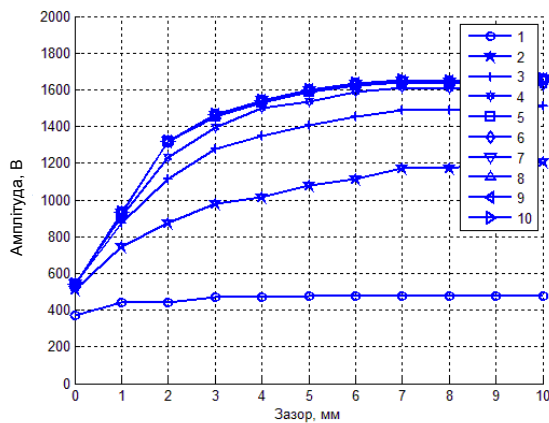


Рисунок 11 – Залежність амплітуди на генеруючій котушці ЕМАП від зазору для різної кількості періодів заповнення

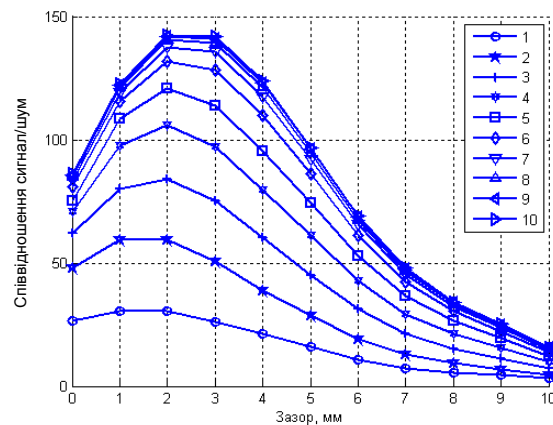


Рисунок 12 – Залежність відношення сигнал/шум другого донного сигналу від кількості періодів заповнення

Підтверджено, що підвищення зазору призводить до збільшення часу вільних коливань (рис. 13). Для його зменшення застосовано блок подавлення вільних коливань, показана висока ефективність його використання (рис. 14).

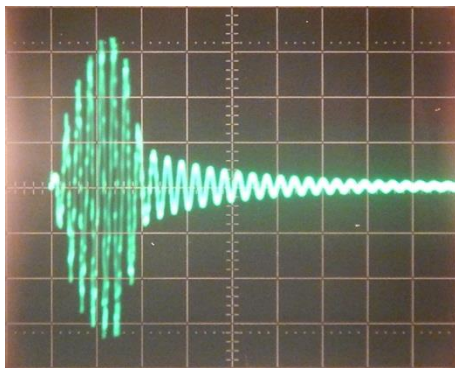


Рисунок 13 – Сигнал на ЕМАП на зазорі 10 мм без використання БПВК

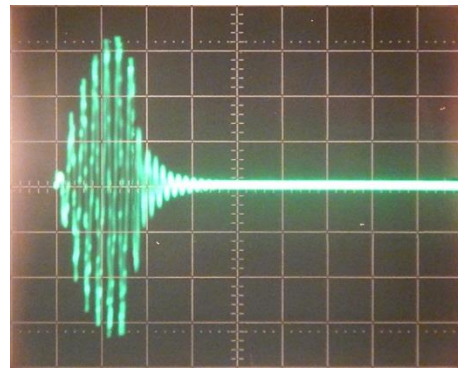


Рисунок 14 – Сигнал на ЕМАП на зазорі 10 мм з використанням БПВК

Експериментально доведено, що використання блоку активного подавлення дзвону дозволяє зменшити тривалість «мертвої» зони у 2 рази.

У **четвертому розділі** наведено результати розробки дослідних зразків датчика та ЕМА товщиноміру, оцінено метрологічні характеристики розробленого приладу.

Для збільшення співвідношення сигнал/шум прийнятого сигналу, яке досить мале на великих зазорах (рис. 15) розроблено спеціальний метод, який враховує особливості застосування в задачах ЕМА товщинометрії, а саме використання пакетного імпульсу з постійною частотою заповнення. Завдяки декільком простим операціям сумування прийнятого сигналу зі зсувом, вдалося збільшити співвідношення сигнал/шум більш ніж в 3 рази. На рис.16 наведено результат роботи цього методу для послідовності зондування довжиною в 6 періодів заповнення.

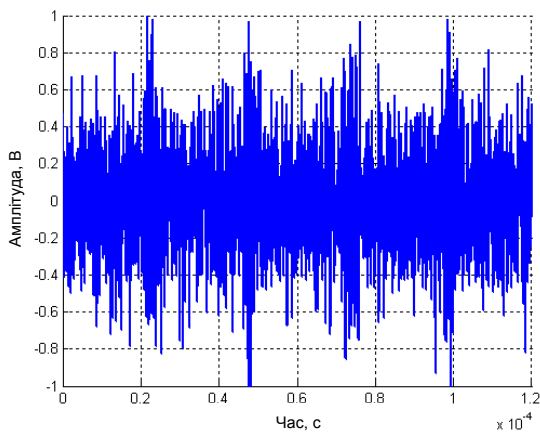


Рисунок 15 – Принятий сигнал на великому зазорі

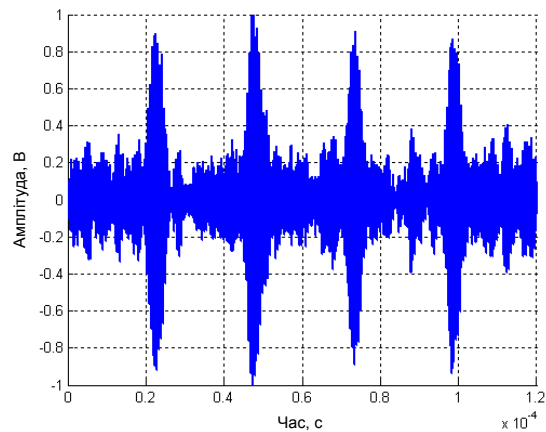


Рисунок 16 – Принятий сигнал на великому зазорі після обробки

На основі теоретичних і експериментальних досліджень, проведених розділах 2 і 3, розроблено ЕМА товщиномір (рис. 17). В основі розробленого приладу покладений процесор ARM архітектури, який виконує функції керування та обробки інформації. Для відображення інформації використовуються кольоровий дисплей. Прилад має ударостійкий корпус та захист від потрапляння вологи.

Проведене метрологічне тестування розробленого приладу шляхом серії багаторазових вимірювань на стандартних зразках товщиною 10 мм, 20 мм, 40 мм и 100 мм. Найбільше відхилення спостерігалось для товщини 100 мм при зазорі більше 5 мм. Це пов'язано зі зниженням співвідношення сигнал/шум, викликаного загасанням акустичної хвилі, а також зі зниженням ККД ЕМА перетворення при збільшенні зазору. Максимальна отримана похибка не перевищувала $\pm 0,1 \pm 0,001h$ мм (де h – товщина вимірюваного виробу), що відповідає рівню провідних вітчизняних та іноземних аналогів. За максимальним допустимим рівнем зазору розроблений прилад аналогів не має.

Для перевірки працездатності та настройки приладу, під час проведення контролю газових труб що мають



Рисунок 17 – Зовнішній вигляд розробленого товщиноміру

захисні покриття, розроблено та виготовлено контрольний зразок циліндричної форми зі сталі 45 з товщинами стінки 3, 4, 5, 6, 7 та 8 мм.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена науково-практична задача, яка полягає у забезпеченні ультразвукового контролю товщини металовиробів електромагнітно-акустичним методом при наявності діелектричних покриттів (зазорів) товщиною до 10 мм.

При цьому отримано такі основні результати:

1. На основі аналізу інформаційних джерел показано, що для проведення контролю товщини металовиробів з діелектричними покриттями необхідне вдосконалення існуючих підходів до конструювання, а також формування і обробки сигналів ЕМА товщиномірів.

2. Встановлено основні фактори, які визначають чутливість контролю товщини об'єктів при товщині діелектричних покриттів (зазорів) до 10 мм. Доведено, що вказані раціональні величини характеристик імпульсів живлення електромагнітно-акустичного перетворювача повинні бути наступними: тривалість послідовності зондування: 5...7 періодів, амплітуда: $\pm 1000 \dots 2000$ В.

3. Розроблено метод контролю товщини металовиробів ЕМА методом, суть якого полягає в збудженні з заданою тривалістю і потужністю ультразвукового імпульсу зондування при урахуванні діаграми спрямованості акустичного поля, що дозволяє забезпечити товщинометрію виробів з діелектричними покриттями (зазорами) до 10 мм. Розроблено та реалізовано метод, суть якого полягає в збудженні пакетного імпульсу заданої частоти і тривалості, прийомі донних імпульсів і подальшому послідовному зсуві і підсумовуванні з різними знаками, що дозволяє збільшити співвідношення сигнал/шум в 3 рази. Удосконалено метод зменшення часового інтервалу після випромінювання послідовності зондування, під час якого неможлива реєстрація донних сигналів, за рахунок керованої релаксації енергії, накопиченої при проходженні послідовності імпульсів струму в індуктивних та ємнісних елементах електромагнітно-акустичного перетворювача.

4. Розроблено зразок ультразвукового товщиноміру, який використовує електромагнітно-акустичний метод збудження і прийому пакетних ультразвукових імпульсів, та дозволяє проводити контроль виробів через діелектричні покриття або повітряні зазори товщиною до 10 мм. Розроблений товщиномір в порівнянні з відомими приладами має переваги по максимальному зазору між датчиком і об'єктом контролю. Показано, що новий ЕМА товщиномір при значних товщинах діелектричних покриттів (повітряних зазорів) за характеристиками точності вимірювань не поступається відомим розробкам і має точність $\pm 0,1 \pm 0,001h$ мм (де h – товщина вимірюваного виробу).

5. Розроблено та виготовлено контрольний циліндричний зразок з товщиною стінки 3, 4, 5, 6, 7 і 8 мм для налаштування та калібрування ЕМА товщиноміру.

б. Основні результати дисертаційної роботи впроваджено у технологічній інструкції з контролю товщини обладнання, що знаходиться в експлуатації у ТОВ «СП «Промнагляд». Розроблені блоки і пристрої використані при модернізації ЕМА установки контролю рейок у ПАТ «МК «Азовсталь». Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальному процесі на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю НТУ «ХПІ» в курсах «Вступ до спеціальності» та «Прилади і методи акустичного контролю», а також при виконанні дипломних робіт бакалаврів, спеціалістів та магістрів.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Десятниченко А. В. Мощные генераторы импульсов для питания ЭМА преобразователей / Г. М. Сучков, Е. Л. Ноздрачева, А. В. Донченко, А. В. Десятниченко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2006. – № 34. – С. 73 – 78.

Здобувачем розроблено генератор високовольтних імпульсів.

2. Десятниченко А. В. Бесконтактный ультразвуковой измеритель толщины тонких материалов и изделий / Г. М. Сучков, А. В. Донченко, А. В. Десятниченко // Зб. наукових праць ДонНТУ. – Донецьк: РВВ. – 2007. – № 13. – С. 208 – 212.

Здобувачем розроблено генератор імпульсів на базі IGBT транзисторів.

3. Десятниченко А. В. Разработка аналоговой части ЭМА толщиномера для контроля тонких изделий / Г. М. Сучков, А. В. Донченко, А. В. Десятниченко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2007. – № 35. – С. 25 – 28.

Здобувачем розроблено та впроваджено схеми генераторів імпульсів зондування, доведена можливість вимірювання ЕМА методом металовиробів з товщиною від 0,6 мм.

4. Desyatnichenko A. V. Increasing the Sensitivity of EMA Devices / G. M. Suchkov, A. V. Donchenko, A. V. Desyatnichenko, A. A. Kelin, and E. L. Nozdracheva // Russian Journal of Nondestructive Testing – New York. – 2008. – Vol. 44, No. 2 – PP. 86 – 90.

Здобувачем запропонований потужний генератор імпульсів зондування нового типу, проведено випробовування запропонованого генератору.

5. Десятніченко О. В. Моделирование электромагнитно-акустического перетворювача / Г. М. Сучков, О. В. Десятніченко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2008. – № 48. – С. 110 – 115.

Здобувачем проведені дослідження діаграми спрямованості ЕМАП, запропонована модель перетворювача у вигляді поверхні незалежних випромінювачів.

6. Десятниченко А. В. Энергетические аспекты при толщинометрии ЭМА способом / Г. М. Сучков, А. В. Десятниченко // Методи та прилади контролю якості – Івано-Франківськ. – 2008. – № 21. – С. 63 – 69.

Здобувачем теоретично обґрунтовано метод підвищення ефективності контролю товщини виробу по заданому відношенню сигнал/шум і граничному значенні контрольованої товщини.

7. Десятніченко О. В. ЕМА товщинометрія. (Огляд) / Г. М. Сучков, О. М. Петрищев, О. В. Десятніченко, Н. М. Юданова // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2010. – № 12. – С. 110 – 121.

Здобувачем проведено аналіз інформаційних джерел за методами, приладами і установками товщинометрії, що використовують ЕМА спосіб збудження і прийому ультразвукових імпульсів.

8. Десятніченко А. В. Портативный ЭМА толщиномер для контроля металлоизделий / Г. М. Сучков, А. В. Десятніченко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2011. – № 19. – С. 106 – 110.

Здобувачем розроблено портативний ЕМА товщиномір.

9. Desyatnichenko A. V. Generator of Probing Pulses for EMA Flaw Detectors. / G. M. Suchkov, O. N. Petrishchev, I. V. Cherednichenko, V. V. Fedorov, A. V. Desyatnichenko, S. V. Khashchina, M. S. Maslova // Russian Journal of Nondestructive Testing. – New York – 2012. – Vol. 48, No. 9. – PP. 537 – 540.

Здобувачем розглянуті питання генерації сигналів великої потужності для ЕМА методу, розроблено та використано в промисловості потужний генератор імпульсів зондування з цифровим управлінням

10. Десятніченко О. В. Приймаючий аналоговий тракт зі смуговою характеристикою для засобу неруйнівного контролю ультразвукового приладу / О. В. Десятніченко, Г. М. Сучков, К. О. Рекало // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2013. – № 34. – С. 163 – 173.

Здобувачем розроблений приймальний аналоговий тракт зі смуговою характеристикою для проведення досліджень.

11. Десятніченко О. В. Побудова приймаючого аналогового тракту на базі біквдратного фільтру для використання у електромагнітно-акустичній товщинометрії та дефектоскопії / О. В. Десятніченко, Г. М. Сучков, С. В. Хаціна, Ле Чі Хиеу, А. А. Синельникова, Г. Г. Горбашова // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – Харьков. – 2013. – № 8 (114), Т 1. – С. 146 – 150.

Здобувачем розроблено приймальний аналоговий тракт з резонансною характеристикою для застосування в ЕМА товщиномірах і дефектоскопах.

12. Патент України №74673, МПК G 01 B 17/02 (2006.01). Пристрій для вимірювання товщини металовиробів. / Г. М. Сучков, О. В. Десятніченко. – № и 2012 03968 ; заяв. 02.04.2012; надрук. 12.11.2012, Бюл. №21.

Здобувачем розроблена цифрова частина портативного товщиноміру.

13. Десятніченко А. В. Возможности аналоговой части ЭМА-приборов / Г. М. Сучков, А. В. Донченко, Е. Л. Ноздрачева, А. В. Десятніченко, Е. Н. Горбачева // Материалы VI Международной выставки и конференции: «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности». – Москва. – 2007. – С. 89 – 91.

Здобувачем розроблено ЕМАП для контролю виробів без необхідності обробки поверхні, отримані результати випробувань створеного перетворювача.

14. Десятніченко А. В. Новые возможности ЭМА метода неразрушающего контроля / Г. М. Сучков, А. В. Донченко, А. В. Десятніченко, А. А. Келин,

Е. Л. Ноздрачева // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції: «Приладобудування: стан і перспективи». – Київ. – 2008. – С. 215 – 216.

Здобувачем проведено дослідження генераторів для портативних дефектоскопів і товщиномірів, виконаний аналіз отриманих результатів.

15. Десятниченко А. В. Работы НТУ «Харьковский Политехнический Институт» в области НК / Г. М. Сучков, Б. М. Горкунов, И. В. Тюпа, А. А. Авраменко, А. В. Десятниченко, А. А. Келин, Е. Л. Ноздрачева, Ю. В. Хомяк, В. В. Скопенко, Л. В. Глебова, И. Нестерова, А. А. Тищенко // Материалы VII Международной конференции: «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности». – Москва. – 2008. – С. 191 – 193.

Здобувачем проведено дослідження в напрямку підвищення характеристик генеруючих аналогових трактів для ЕМА товщинометрії і дефектоскопії.

16. Десятниченко А. В. Многоканальный формирователь сигнала сложной формы для ультразвукового толщиномера / Г. М. Сучков, А. В. Десятниченко // Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції: «Інформаційні технології, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – У 2-х частинах. – Ч. 1 – Харків – 2008. – С. 443.

Здобувачем розглянуті проблеми генерування сигналу зондування складної форми, розроблений багатоканальний цифровий формувач сигналу складної форми з можливістю табличного завдання сигналів для кожного каналу окремо.

17. Десятниченко А. В. Блок ввода аналоговых данных для электромагнитно-акустического толщиномера / Г. М. Сучков, А. В. Десятниченко // Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції: «Інформаційні технології, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – У 2-х частинах. – Ч. 1 – Харків – 2009. – С. 487.

Здобувачем розроблений блок введення аналогових даних для перетворення аналогового сигналу в двійковий код з можливістю програмної настройки параметрів роботи.

18. Десятниченко А. В. Визуализация измеряемых данных для электромагнитно-акустического толщиномера / Г. М. Сучков, А. В. Десятниченко // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції: «Проблеми інформатики і моделювання». – Харків. – 2009. – С. 11.

Здобувачем розглянуті питання подання інформації про вимірювані дані в умовах необхідності відображення великої кількості інформації із збереженням простоти і швидкості зчитування даних.

19. Десятниченко А. В. Макет электромагнитно-акустического толщиномера / Г. М. Сучков, А. В. Десятниченко // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції: «Приладобудування: стан і перспективи». – Київ. – 2010. – С. 211 – 212.

Здобувачем розроблений макет ЕМА товщиноміру.

20. Десятниченко О. В. Экспрес-обработка данных в электромагнитно-акустическом толщиномере / Г. М. Сучков, О. В. Десятниченко // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції: «Інформаційні технології, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків. – 2010. – С. 161.

Здобувачем розглянуті питання обробки даних в ЕМА товщинометрії, запропонований спосіб швидкої обробки, показана його ефективність.

21. Десятниченко А. В. О работах кафедры «Приборы и методы неразрушающего контроля» НТУ «ХПИ» в сотрудничестве с НТУ «КПИ» в области НК / Г. М. Сучков, С. Н. Глоба, А. В. Десятниченко, Е. Л. Ноздрачева, Ю. В. Хомяк, С. В. Хащина, О. Н. Петрищев // Материалы XVIII Международной конференции: «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». – Ялта. – 2010. – С. 267 – 273.

Здобувачем розроблена установка для проведення досліджень прямим ЕМАП, отримані експериментальні дані для прямого ЕМАП.

22. Десятниченко А. В. Повышение чувствительности электромагнитно-акустического толщиномера за счет настройки резонансной частоты преобразователя / А. В. Десятниченко, К. А. Рекало, А. А. Синельникова // Матеріали III науково-практичної конференції студентів і молодих учених: «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання». – Івано-Франківськ. – 2011. – С. 57 – 58

Здобувачем розглянуті параметри, що впливають на зниження амплітуди прийнятого сигналу, запропонований метод підвищення чутливості за рахунок підстроювання підсилювача під резонансну частоту датчика.

23. Десятниченко А. В. Экологичные методы и средства неразрушающего контроля / С. В. Хащина, Ю. В. Хомяк, А. В. Десятниченко, Е. Л. Ноздрачева, Г. М. Сучков // Материалы I межотраслевой научно-практической конференции молодых учёных и специалистов в области проектирования предприятий горно-металлургического комплекса, энерго- и ресурсосбережения, защиты окружающей природной среды: «Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережении, охрана окружающей природной среды». – Харьков. – 2012. – С. 157 – 163.

Здобувачем розроблені ключові блоки для ЕМА товщиномірів і дефектоскопів.

24. Десятниченко А. В. Выбор питания преобразователей импульсных ультразвуковых средств контроля / Г. М. Сучков, М. Е. Познякова, А. В. Десятниченко, Е. Л. Ноздрачева // Матеріали VII Національної науково-технічної конференції і виставки: «Неруйнівний контроль та технічна діагностика». – Київ. – 2012. – С. 123 – 128.

Здобувачем експериментально доведено доцільність застосування для живлення п'єзоелектричних і ЕМА перетворювачів імпульсів зондування у вигляді пакетів з заповненням в кілька періодів робочої частоти.

25. Десятниченко О. В. Розробка макету для проведення досліджень товщинометрії та дефектоскопії ЕМА способом / О. В. Десятниченко, Г. М. Сучков, К. Л. Ноздрачева, М. Р. Бочарников, К. О. Рекало, А. А. Синельникова // Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції: «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – У 4-х частинах. – Ч. 2 – Харків. – 2014. – С. 163

Здобувачем розроблений макет для проведення досліджень в області ЕМА товщинометрії.

26. Десятниченко А. В. Снижение влияния мертвой зоны при контроле металлоизделий с толстыми диэлектрическими покрытиями ЭМА методом / Г. М. Сучков, А. В. Десятниченко // Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції: «Приладобудування: стан і перспективи». – Київ. – 2015. – С. 172 – 173.

Здобувачем запропонований блок активного зменшення вільних коливань, доведено його ефективність.

АНОТАЦІЇ

Десятниченко О.В. Електромагнітно-акустичний товщиномір для контролю металовиробів з діелектричними покриттями. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2015.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі, яка полягає у забезпеченні ультразвукового контролю товщини металовиробів електромагнітно-акустичним методом при наявності діелектричних покриттів (зазорів) товщиною до 10 мм.

У роботі виконано аналіз існуючих акустичних методів і пристроїв для вимірювання товщини, розглянуті основні їх переваги та недоліки. За результатами аналізу недоліків наведених методів, виділений найбільш перспективний – ЕМА метод.

Розглянуто питання вибору оптимального сигналу для збудження акустичних коливань ЕМА методом. Наведено розрахунки прийнятої енергії. Дано аналіз доцільності використання різних варіантів сигналу зондування. Розглянуто електричну модель вихідного каскаду підсилювача сигналу зондування і датчика, описано особливості її роботи.

Наведено результати експериментальних досліджень і розробок спрямованих на підвищення якості та продуктивності контролю товщини. Представлена конструкція макета ЕМА перетворювача для контролю металовиробів при наявності зазору між датчиком і об'єктом. Розглянуто питання побудови передавального і приймального аналогових трактів, наведені конструктивні рішення. Досліджено залежність амплітуди сигналу на генеруючій обмотці ЕМАП від напруги живлення підсилювача. Проведено дослідження залежності рівня корисного сигналу від напруги на передавальній обмотці датчика. Досліджено впливу зазору на рівень корисного сигналу. Наведено результати залежності тривалості «мертвої» зони від зазору і способи її зниження. Визначено фактори, що впливають на точність контролю.

Розроблено ЕМА товщиномір, розглянуті особливості побудови та питання схемотехніки його складових частин. Розглянуто алгоритми цифрової обробки прийнятого сигналу. Наведено опис виготовленого контрольного зразка для метрологічного забезпечення товщиномера.

Ключові слова: прилади неруйнівного контролю, вимірювання, контроль, ультразвук, акустична хвиля, електромагнітно-акустичний метод, товщиномір.

Десятниченко А.В. Электромагнитно-акустический толщиномер для контроля металлоизделий с диэлектрическими покрытиями. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2015.

Диссертация посвящена решению важной научно-практической задачи обеспечения ультразвукового контроля толщины металлоизделий электромагнитно-акустическим методом при наличии диэлектрических покрытий (зазоров) толщиной до 10 мм.

В работе выполнен анализ существующих акустических методов и устройств для измерения толщины, которые широко используются в отечественной и зарубежной промышленности, рассмотрены основные их преимущества и недостатки. Методы разделяются по типу контакта датчика с объектом контроля на два основных класса: контактные и бесконтактные. Бесконтактные на сегодняшний день являются наиболее перспективными. К ним относятся методы, основанные на: воздушно акустической связи, термо- и оптико-акустическом эффектах, а также на эффектах электрического и электромагнитного полей. По результатам анализа недостатков приведенных методов, выделен наиболее перспективный – ЭМА метод.

Рассмотрены вопросы выбора оптимального сигнала для возбуждения акустических колебаний ЭМА методом. Приведены расчеты принимаемой энергии для общего случая при зеркальной схеме контроля, когда передающий и приемный датчики не располагаются соосно по высоте изделия. Рассмотрены модели расчетов для зеркально теневой схемы контроля, отдельно для режимов излучения ЭМАП в виде длинных и коротких импульсов. Дан анализ целесообразности использования вариантов зондирующего сигнала с различными соотношениями длины импульсов и расстояний между ними. Рассмотрена электрическая модель выходного каскада усилителя зондирующего сигнала и датчика, описаны особенности ее работы.

Приведены результаты экспериментальных исследований и разработок, направленных на повышение качества и производительности контроля толщины с использованием ЭМА метод возбуждения и приема акустических колебаний. Представлена конструкция макета ЭМА преобразователя для контроля металлоизделий при наличии зазора между датчиком и изделием. Рассмотрены вопросы построения передающего и приемного аналоговых трактов, приведены схемотехнические и конструктивные решения. Приведены результаты исследований зависимости амплитуды сигнала на генерирующей обмотке ЭМАП от напряжения питания усилителя. Проведены исследования зависимости уровня полезного сигнала от напряжения на передающей обмотке датчика. Исследовано влияния зазора на уровень полезного сигнала. Приведены

результаты зависимости длительности «мертвой» зоны от зазора и способы ее снижения. Определены факторы, влияющие на точность контроля.

Разработан толщиномер основанный на электромагнитно акустическом методе возбуждения и приема акустических волн, приведены результаты этой разработки. Рассмотрены особенности построения его составных частей. Рассмотрены алгоритмы цифровой обработки принятого сигнала. Проведена оценка метрологических характеристик разработанного прибора, изготовлен контрольный образец для метрологического обеспечения толщиномера. Приведено сравнение нового прибора с существующими аналогами.

Ключевые слова: приборы неразрушающего контроля, измерение, контроль, ультразвук, акустическая волна, электромагнитно-акустический метод, толщиномер.

O.V. Desyatnichenko. Electromagnetic-acoustic thickness gauge for testing metal products with dielectric coating. – A manuscript.

Thesis for granting the Degree of Candidate of Technical sciences in speciality 05.11.13 – Devices and methods of testing and materials structure determination. – National technical university “Kharkiv Politechnical Institute”, Kharkiv, 2015.

Thesis is devoted to solution of important theoretical and practical task to ensure ultrasound control of the metal products thickness by using electromagnetic-acoustical method in cases of dielectric coatings (gaps) with thickness up to 10 mm.

Work includes analysis of existing acoustic methods and devices for thickness measurement, their main advantages and disadvantages are reviewed. Based on the results of analysis of the given disadvantages, the most advanced ways was set off - electromagnetic-acoustical (EMA) method.

The problems of selection of the optimal signal agitate sonorous vibrations by EMA method were reviewed. Calculations of the taken energy are given for the analysis of the practicability to use variants of probing signal. Electric model of amplifier output stage of probing signal and sensor is reviewed, peculiarities of its operation are described.

Results of researches and developments dedicated to increase thickness measurement quality and efficiency are given. Matters to build of the transmitting and receiving analog tracts are reviewed. The signal level dependence on voltage research on sensor's transmitting winding are conducted. Impact of a gap on the signal level was examined. Results of the dependence of dead spot length on a gap and methods to its reduction are given. Factors affecting accuracy of control are determined. EMA thickness gauge was designed. The main factors of design are examined. The digital processing algorithm of the received data was reviewed. Metrological characteristics of the developed device were made.

Key words: devices of non-destructive testing, measurement, control, ultrasound, acoustic wave, electromagnetic-acoustic method, thickness gage.

Підписано до друку 01.09.2015р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 18

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
М. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua