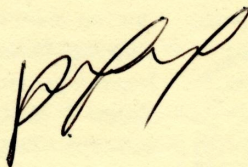


620.179.1
Р49

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Рибіцький Ігор Володимирович



УДК 620.179

**УДОСКОНАЛЕННЯ АКУСТИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ
ТОВЩИНИ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією з рукопис

Робота виконана на кафедрі «Технічної діагностики та моніторингу» в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Карпаш Олег Михайлович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри «Технічної діагностики та моніторингу»

доктор технічних наук, професор

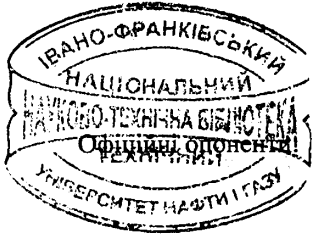
Семенцов Георгій Никифорович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри «Автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології»

доктор технічних наук, професор

Масвський Станіслав Михайлович

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», кафедра «Прилади і системи неруйнівного контролю»



Захист відбудеться 24 жовтня 2008 р. о 10⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою:

76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий 19 вересня 2008 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, професор

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M.M. Dranchuk', written in a cursive style.

Дранчук М.М.



an1400

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз технічного стану обладнання та машин у вітчизняній промисловості, проведений Радою національної безпеки і оборони України, показав, що його спрацювання перевищує 60%. Більшість нафтогазопроводів в Україні експлуатуються у важких умовах понад 30 років без суттєвого оновлення.

Забезпечення технологічної безпеки обладнання та машин є одним із пріоритетних завдань промисловості.

Застосування методів технічної діагностики та неруйнівного контролю є одним з найефективніших методів попередження відмов металоконструкцій.

Базовим параметром, що характеризує технічний стан металоконструкцій, є товщина його відповідальних елементів. Операція контролю товщини є найпоширенішою у технічному діагностуванні і входить практично в усі розрахункові вирази для визначення несучої здатності конструкції. Серед існуючих методів неруйнівного контролю товщини елементів металоконструкцій найбільш ефективним є акустичний.

Проте, необхідність забезпечення якісного акустичного контакту між п'єзоперетворювачем та поверхнею об'єкта контролю (ОК) за допомогою контактних рідин значно обмежує його застосування.

Принципове вирішення даного завдання може бути знайдене шляхом використання безконтактних акустичних методів, що можуть базуватися на ефектах термоакустичного, електричного та електромагнітного полів, а також на використанні повітряного акустичного зв'язку. Проте всі вказані методи мають технічні, технологічні та вартісні обмеження у застосуванні.

Таким чином, питання удосконалення акустичних методів та засобів контролю залишкової товщини, ерозійного та корозійного пошкодження металоконструкцій є актуальним, а його вирішення дасть можливість одержати достовірну інформацію, необхідну для визначення фактичного технічного стану, підвищити продуктивність контролю та знизити його вартість.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася у рамках Державної науково-технічної програми «Ресурс» (затвердженої постановою КМУ від 8.10.2004, № 1331), галузевої науково-технічної програми НАК «Нафтогаз України на 2002 – 2007 рр. «Створення, освоєння випуску та впровадження у виробництво комплексу технічних засобів і технологій неруйнівного контролю та технічної діагностики трубних колон, бурового та нафтогазпромислового обладнання й інструменту в процесі розроблення нафтових родовищ. Організаційне, технічне, методичне та кадрове забезпечення» та науково-дослідної роботи «Розробка, виготовлення та впровадження приладу для вимірювання корозійного зносу трубних виробів» (договір № 53НДР/2004 НВФ «Зонд» із ДК «Укртрансгаз»). Ці роботи виконувалися за безпосередньою участю автора.

Мета роботи полягає у вирішенні науково-практичної задачі в галузі приладів та методів неруйнівного контролю матеріалів та виробів - удосконаленні акустичного методу безконтактного контролю товщини стінки металокопункцій та розробці експериментального взірця приладу для його реалізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати сучасний стан досліджень у галузі акустичних методів і засобів неруйнівного контролю матеріалів та копункцій;
- удосконалити метод безконтактного акустичного контролю товщини металокопункцій;
- провести математичне моделювання процесу поширення ультразвукових коливаний від перетворювача до ОК, у тілі ОК та здійснити розрахунок втрат енергії акустичних коливаний з метою визначення характеристик узгоджувачого шару безконтактних перетворювачів;
- розробити новий метод оброблення дефектоскопічної інформації для підвищення чутливості безконтактного акустичного способу вимірювання товщини металокопункцій;
- розробити, виготовити та здійснити промислову апробацію експериментального зразка пристрою для контролю товщини стінки металокопункцій та методики його застосування.

Об'єктом дослідження є технічний стан металокопункцій довготривалої експлуатації.

Предметом дослідження є методи і засоби акустичного контролю металокопункцій.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі задач використовувались методи неруйнівного контролю, математичного моделювання, кореляційного аналізу та сучасні методи статистичного оброблення експериментальних даних (штучні нейронні мережі). Методи планування експерименту та теорії ймовірності використовувались у ході виконання експериментальних досліджень. Для розроблення технічного способу використовувались методи схемо- та системотехніки. Для розроблення програмного забезпечення для оброблення вимірювальної інформації використовувались методи алгоритмізації та програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше запропоновано зменшення втрат енергії акустичних коливаний здійснювати одночасно шляхом застосування узгоджувачих шарів та сучасного методу оброблення дефектоскопічної інформації на базі штучних нейронних мереж, що дало змогу підвищити чутливість методу порівняно зі стандартним на 32 дБ;
- вперше розроблено новий інтелектуальний спосіб оброблення дефектоскопічної інформації, що передбачає використання штучних нейронних мереж, який, порівняно з традиційним взаємкореляційним методом, дав змогу збільшити діапазон вимірювання товщини стінки металокопункцій на 37,5% та на 4,6% зменшити приведену до діапазону (8,98мм) похибку вимірювань;

- удосконалено математичну модель для розрахунку характеристик узгоджуючого шару безконтактного ультразвукового перетворювача шляхом врахування втрат енергії акустичних коливань на межі розподілу п'єзоелемент/повітря, у повітрі, на межі розподілу повітря/ОК та в матеріалі ОК, що дало змогу здійснити вибір матеріалу узгоджуючого шару за умов відомих характеристик об'єкта контролю та теоретично обґрунтувати можливість проведення контролю;

- знайшов подальший розвиток метод безконтактного акустичного контролю, який полягає у використанні повітря як середовища для створення акустичного контакту між перетворювачем та ОК, що дало змогу розробити конструкцію ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП) для безконтактного вимірювання товщини.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні технічного засобу, який дає можливість проводити акустичний контроль металоконструкцій без використання контактної рідини, що розширює можливості застосування методу в тому числі і за від'ємних температур (пройшов успішну дослідно-виробничу апробацію на виробничих об'єктах ДК «Укртрансгаз», акт промислової апробації від 4.06.2008р.), а також проекту методики його застосування. Розроблений метод, завдяки використанню нової конструкції п'єзоперетворювача, є корисним інструментом для швидкого одержання точних значень товщини металоконструкцій різного призначення. Даний матеріал впроваджено в навчальний процес на кафедрі технічної діагностики та моніторингу (акт впровадження від 22.07.2008р.)

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Зокрема, в опублікованих у співавторстві роботах, автором особисто:

- запропоновано новий підхід до удосконалення безконтактного акустичного методу контролю товщини металоконструкцій, який передбачає комплексне використання розроблених методів зменшення втрат енергії акустичних коливань за допомогою узгоджуючих шарів та сучасних методів оброблення дефектоскопічної інформації на базі штучних нейронних мереж [1-3, 6, 8], а також запропоновано шляхи реалізації удосконаленого методу контролю товщини стінки металоконструкцій у вигляді експериментальної установки [5, 7];

- розроблено методику та проведено комплекс експериментальних досліджень з метою перевірки адекватності математичної моделі [4, 11], що дало змогу вибрати матеріал для виготовлення узгоджуючих шарів, а також визначено дійсні характеристики розробленого безконтактного перетворювача та методу контролю загалом;

- розроблено конструкцію безконтактного ультразвукового перетворювача та функціональні схеми експериментальної установки [13, 14], а також розроблено алгоритм її роботи;

- виконано метрологічну оцінку результатів вимірювань, отриманих за допомогою експериментальної установки [15].

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 10-ій міжнародній конференції-виставці «Неруйнівний контроль-2008» (м. Київ, 2008р.), на 9-ій міжнародній конференції виставці «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів «Корозія-2008» (м. Львів, 2008р.), на 8-ій міжнародній науково-практичній конференції «Нафта і газ України-2004» (м. Київ, 2004р.), на міжнародних конференціях «Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів «Леотест-2007» та «Леотест-2008» (м. Славське, Львівської області), на міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці» «ІФНТУНГ-40» (м. Івано-Франківськ, 2007р.), на 4-ій науково-технічній конференції і виставці «Сучасні прилади і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 2005р.), на міжнародній науково-технічній конференції молодих учених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії» (м. Івано-Франківськ, 2008р.) та на семінарах кафедри «Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) у 2006-2008 р.р.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 15 друкованих праць, з них 8 – статей у фахових наукових виданнях, затверджених ВАК України, в тому числі 1 – одноособова, 7 - тези доповідей на конференціях.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, списку використаних джерел та додатків. Дисертація викладена на 125 сторінках. Крім того робота проілюстрована 57 рисунками, включає 7 таблиць, список використаних джерел із 108 найменувань та 8 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику дисертаційної роботи. Розкрито суть та стан науково-технічної проблеми контролю товщини стінки металоконструкцій акустичними методами. Обґрунтовано актуальність теми, що дало можливість сформулювати мету та основні задачі дослідження. Розкрито наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз методів та засобів акустичного контролю товщини металоконструкцій. Наведено переваги та недоліки кожного з методів та сфери їх застосування. Дослідження з контролю товщини металоконструкції акустичними методами проводили багато зарубіжних та вітчизняних вчених – Маєвський С.М., Малайчук В.П., Криничний П.Я., Карпаш О.М., Вісков О.В., Коллакот Р., Клюєв Ф.Р., Соснин В.Н., Чуйков С.П., Філінов В.Н., Єгоров Н.Н., Т. Е. Gómez, F. Montero, Aindow A.M., Dewhurst R.J., Palmer S.B., Scruby, C.B., Junho Song, D. E. Chimenti та інші. Однак вони в основному зосереджувалися на розробці контактних або імерсійних методів контролю з використанням класичних підходів до оброблення вимірювальної інформації, що значно звужує сферу їх використання, ускладнює розробку систем сканування та зменшує достовірність контролю.

Аналіз існуючих методів та засобів показав, що на даний час для контролю товщини стінки металоконструкцій в основному використовуються контактні акустичні методи з використанням рідин для створення акустичного контакту, що ускладнює застосування методу на металоконструкціях зі складною геометрією, на тих об'єктах, де не допустимий контакт перетворювача з контрольованим об'єктом та унеможливає проведення контролю за мінусових температур. Використання безконтактних методів передачі акустичних коливань у поєднанні з традиційними п'єзоматеріалами дає можливість вирішити дані проблеми та не накладатиме додаткові вимоги до генераторно-приймальних трактів ультразвукової апаратури.

Доведено необхідність удосконалення існуючих методів та розроблення нових підходів і технічних засобів контролю товщини металоконструкцій. Запропоновано використати ультразвуковий безконтактний метод контролю. Сформульовано завдання, що потребують вирішення та обрано напрямки подальших досліджень.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням щодо нових підходів і методів визначення товщини стінки металоконструкцій та способів оброблення інформаційних сигналів.

Було побудовано описову фізичну модель процесу безконтактного акустичного контролю товщини елементів металоконструкцій (рис. 1).

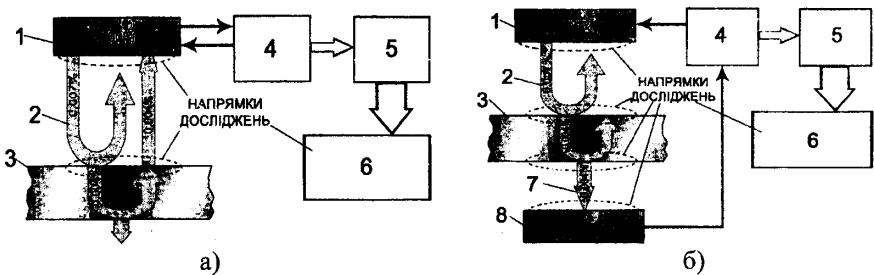


Рис.1. Фізична модель методу вимірювання товщини металоконструкцій за одностороннього а) та двостороннього б) доступу до поверхонь ОК:

1, 8 – ПЕП, 2 – акустичні коливання, 3 – ОК, 4 – генераторно-приймальний тракт, 5 – аналого-цифровий перетворювач, 6 – блок оброблення та візуалізації результатів контролю, 7 – акустичні коливання, що пройшли через ОК.

Основними завадами під час передачі ультразвукової енергії через повітря в досліджуваній матеріал є значне неузгодження акустичних опорів п'єзопластину, повітря та досліджуваного матеріалу, а також високе значення коефіцієнта затухання ультразвукових коливань у повітрі. Дані завади призводять до зменшення величини енергії акустичних коливань на виході перетворювача (на кожній межі розподілу п'єзоелемент/повітря та повітря/об'єкт контролю втрачається до 99,99% енергії акустичних коливань), співвідношення сигнал-шум, чутливості та унеможливають використання традиційних методів оброблення дефектоскопічної інформації.

Шляхом проведеного аналізу фізичної моделі визначено напрямки удосконалення акустичного методу контролю товщини:

- необхідність використання узгоджуючого шару (чи шарів), визначення його характеристик залежно від матеріалу об'єкта контролю та характеристик п'єзоелемента перетворювача, що дасть можливість зменшити втрати енергії акустичних коливань на межі розподілу п'єзоелемент/повітря;

- компенсація втрат енергії акустичних коливань на межі розподілу повітря/об'єкт контролю шляхом використання технологій штучних нейронних мереж для оброблення вимірювальної інформації, що дасть можливість підвищення чутливості методу.

З метою визначення параметрів узгоджуючого шару безконтактного п'єзоперетворювача було проведено математичне моделювання процесу поширення акустичних коливань від перетворювача до об'єкта контролю. Розроблена математична модель узгоджуючого шару п'єзоперетворювача дала можливість розрахувати його геометричні (товщина) та фізичні (акустичний опір) характеристики і провести розрахунок втрат енергії акустичних коливань за безконтактного способу вимірювання товщини контрольованого матеріалу.

За відомих значень акустичних опорів п'єзоматеріалу ($25 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с}$ для титанату барію ТБК-3) та повітря ($0,00043 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с}$) було обчислено значення акустичного опору узгоджуючого шару, що становить $0,104 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с}$. За визначеного значення акустичного опору узгоджуючого шару та його товщини, кратній чверті довжини хвилі акустичних коливань у даному матеріалі, коефіцієнт проходження стає рівним 1 і енергія ультразвукових коливань передається без втрат від п'єзокераміки до повітря (рис. 2).

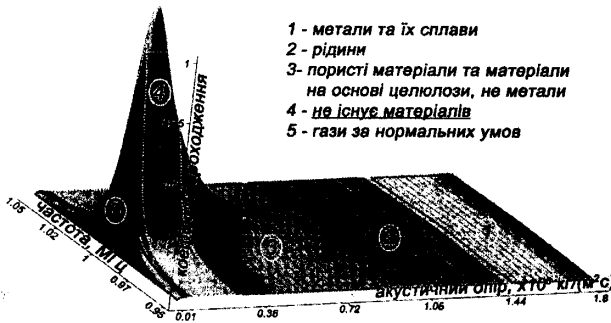


Рис. 2. Залежність коефіцієнта проходження від частоти та акустичного опору узгоджуючого шару для п'єзоелемента, виготовленого з титанату барію ТБК-3

Аналіз довідкових даних показав, що не існує матеріалу з таким значенням акустичного опору (рис. 2, позиція 4), тому для вибору матеріалу узгоджуючого шару перетворювача було побудовано залежності коефіцієнта проходження інтенсивності акустичних коливань від частоти для узгоджуючих шарів,

виготовлених з матеріалів, значення акустичних опорів яких є найбільш близькими до розрахованого (рис. 3). Товщина узгоджувачих шарів рівна чверті довжини хвилі акустичних коливань у відповідному матеріалі. Також було визначено, що коефіцієнт проходження енергії акустичних коливань на межі розподілу п'єзоелемент/повітря для перетворювача без узгоджувачого шару рівний $6,88 \cdot 10^{-5}$. Для акустичних перетворювачів з узгоджувачими шарами, як бачимо на рис. 3, коефіцієнт проходження енергії акустичних коливань збільшується в 508 раз, із використанням для виготовлення узгоджувачого шару вулканізованої гуми, та в 8150 раз із використанням целюлози.

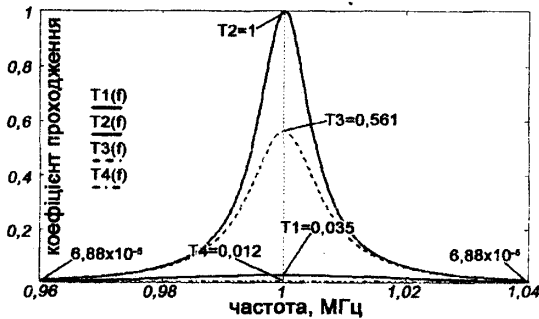


Рис. 3. Залежність коефіцієнта проходження від частоти для вказаних матеріалів узгоджувачих шарів:

$T1(f)$ - вулканізована гума; $T2(f)$ - узгоджувачий шар з розрахованим значенням акустичного опору; $T3(f)$ – целюлоза (вторинне перероблення); $T4(f)$ – епоксидна смола.

Розроблена математична модель підтвердила можливість удосконалення безконтактного акустичного методу контролю шляхом використання узгоджувачих шарів і дала можливість вибрати типи матеріалу для виготовлення узгоджувачого шару – целюлоза вторинного перероблення.

Під час використання безконтактних методів контролю необхідно враховувати величину втрат енергії акустичних коливань у повітрі та на межі розподілу повітря/досліджуваній матеріал. Тому було проведено розрахунок величини енергетичних втрат ультразвукових коливань під час безконтактного методу вимірювання товщини сталевієї пластини (рис. 4).

Результати таких розрахунків повинні дати змогу визначити значення відношення сигнал/шум, що важливо для розроблення способу підвищення чутливості методу.

Для проведення розрахунку як збуджуючий елемент було вибрано п'єзопластину виготовлену з титанату барію ТБК-3, резонансна частота якої складає $f = 1 \text{ МГц}$. Як матеріал для узгоджувачого шару було використано попередньо вибрану целюлозу вторинного перероблення, товщиною $h_{\text{цел}} = 0,85 \cdot 10^{-4} \text{ м}$. Відстань від

перетворювача до об'єкта контролю (рис. 4) становить $h=0,16\text{м}$, товщина сталльної пластини – $d=0,01\text{м}$.

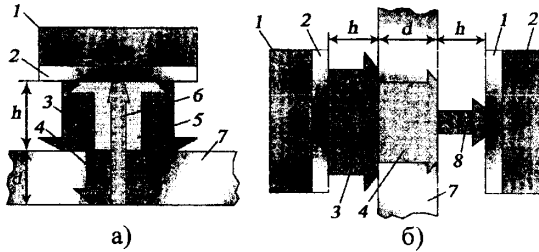


Рис. 4. Ультразвуковий безконтактний спосіб вимірювання товщини матеріалів за одностороннього а) та двостороннього б) доступу до поверхні об'єкта контролю:

1 – п'єзоелектрична пластина, 2 – узгоджувачий шар, 3 – падаюча хвиля, 4 – пройшовша хвиля, 5 – хвиля, відбита від зовнішньої поверхні, 6 – хвиля, відбита від внутрішньої поверхні, 7 – дослідний зразок (сталеві пластина), 8 – пройшовша через ОК хвиля, h – відстань від перетворювача до ОК, d – товщина пластини.

Величину втрат енергії акустичних коливань, відбитих від зовнішньої поверхні ОК (рис. 4, а) $N_{1|_{де}}$, можна визначити за формулою:

$$N_{1|_{де}} = 2 \left[10 \lg \frac{4Z_1^{-1} \cdot Z_3}{\left(\frac{Z_3}{Z_1} + 1 \right)^2 - \left(\frac{Z_3}{Z_2} \right)^2 - 1} \cdot \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^2 - 1 \right) \sin^2 \left(\frac{2\pi f}{c} h_{ys} \right) - 8,686 \delta_{нов} h \right] + 10 \lg \left(\frac{Z_3 - Z_4}{Z_3 + Z_4} \right)^2, \quad (1)$$

де $\delta_{нов}$ – коефіцієнт затухання ультразвуку в повітрі, $Z_1, Z_2 = 0,38 \cdot 10^6 \text{кг/м}^2\text{с}$, Z_3, Z_4 – акустичний опір п'єзоелемента, узгоджувачого шару, повітря та матеріалу ОК відповідно, $c = 340 \text{м/с}$ – швидкість поширення акустичних коливань в матеріалі узгоджувачого шару.

Величину втрат енергії акустичних коливань, відбитих від внутрішньої поверхні ОК $N_{2|_{де}}$, можна обчислити за формулою:

$$N_{2|_{де}} = N_{1|_{де}} + 2 \left(8,686 \delta_{ок} d + 10 \lg \frac{4Z_3 Z_4}{(Z_3 + Z_4)^2} \right), \quad (2)$$

де $\delta_{ок}$ – коефіцієнт затухання ультразвуку в матеріалі ОК.

Величину втрат енергії акустичних коливань, що пройшли через ОК $N_{3|_{де}}$ (рис. 4, б), можна записати наступним чином:

$$N_{3|_{де}} = 2 \left[10 \lg \frac{4Z_1^{-1} Z_3}{\left(\frac{Z_3}{Z_1} + 1 \right)^2 - \left(\frac{Z_3}{Z_2} \right)^2 - 1} \cdot \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^2 - 1 \right) \sin^2 \left(\frac{2\pi f}{c} h_{ys} \right) - 8,686 \delta_{нов} h \right] + 8,686 \delta_{ок} d + 20 \lg \frac{4Z_3 Z_4}{(Z_3 + Z_4)^2}. \quad (3)$$

Після проведення розрахунків згідно з формулами (1) - (3) одержано наступні значення величин втрат енергії акустичних коливань для п'єзоперетворювача з узгоджуючим шаром, виготовленим з целюлози: $N_{1|_{дБ}} = -58,9 дБ$, $N_{2|_{дБ}} = -148,3 дБ$, $N_{3|_{дБ}} = -147,5 дБ$.

Для порівняння розрахуємо величини втрат енергії акустичних коливань із використанням п'єзоперетворювача без узгоджуючого шару: $N_{1|_{дБ}} = -135,7 дБ$, $N_{2|_{дБ}} = -225,1 дБ$, $N_{3|_{дБ}} = -224,4 дБ$. Отже, із використанням узгоджуючого шару, виготовленого з вибраного матеріалу, втрати енергії акустичних коливань зменшуються більше, ніж на 76 дБ. Зрозуміло, що за такого значення втрат амплітуда інформаційних сигналів буде нижчою від рівня власних шумів перетворювача та підсилювача акустичних коливань. Проведені розрахунки показують, що очікуване значення відношення сигнал/шум буде в діапазоні від -2 дБ до -9 дБ за товщини ОК до 10 мм.

У третьому розділі наведено теоретичні дослідження щодо розроблення нового методу оброблення інформаційних сигналів.

Внаслідок присутності значних втрат енергії акустичних коливань на межах розподілу (повітря/метал та метал/повітря), які було оцінено попередньо, виявити ехо-імпульси, відбиті від зовнішньої та внутрішньої поверхонь ОК, та чітко їх локалізувати, як правило, неможливо. Інформаційний сигнал у такому випадку маскується шумом (рис. 5).

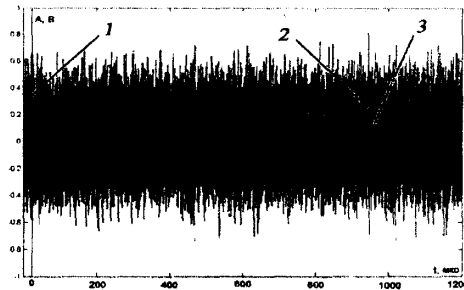


Рис. 5. Зашумлений та ідеальний сигнал:

1 - збуджуючий імпульс, 2, 3 - ехо-імпульси, відбиті від зовнішньої та внутрішньої поверхонь.

Корисний сигнал (рис. 5, позиція 2) для наочності виділено додатково. У дійсності візуально виділити його практично неможливо, оскільки рівень шуму більший за рівень поверхневого та донного ехо-імпульсів.

Суть нового методу, розробленого на базі штучних нейронних мереж, полягає в наступному. По вибірці із сигналами (рис. 5) реалізується так званий метод „плаваючого вікна”. Тобто аналізується весь сигнал частинами, розмір яких відповідає розміру виконання корисного сигналу, який необхідно виявити.

Плаваюче вікно пересувається вздовж усього сигналу з кроком квантування одиниця. У такому випадку, задача зводиться до аналізу вибірки із сигналу, яка може містити корисний сигнал або шум. Іншими словами, необхідно розпізнати в зашумленому сигналі корисний. Для цього було побудовано і проведено тренування низки нейронних мереж типу із оберненим поширенням помилки.

Структура нейромережі була наступною: один прихований шар із кількістю нейронів, рівною 100; на виході один нейрон, що видає результати роботи мережі в межах $[-1 \dots +1]$ (рис. 6). Мережа тренувалась таким чином, щоб під час подавання на її вхід зашумленого корисного сигналу на виході показувала „+1”, або близьке до нього значення, і „-1” – під час подавання на вхід шуму.

Для тренування нейромережі на її вхід подавались зашумлені з різним рівнем шуму корисні сигнали та шуми. Під час подавання на вхід нейромережі зашумленого корисного сигналу на вихід подавалось значення +1, а під час подавання на вхід нейромережі шуму, на вихід подавалось значення -1. Оскільки задача такої класифікації не є лінійною, то в нейронах як функцію перетворення було використано функцію *tansig*.

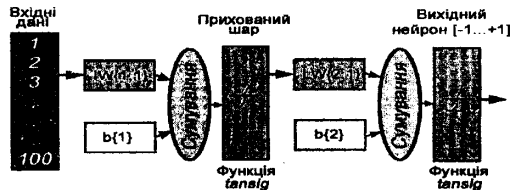


Рис.6. Структура нейромережі:

$W\{1,1\}$ – вагові коефіцієнти першого шару нейронів – матриця 100×1 ; $b\{1\}$ – затримки першого шару – матриця 100×1 ; $W\{2,1\}$ – вагові коефіцієнти другого шару нейронів – матриця 100×1 ; $b\{2\}$ – затримки другого шару – матриця 100×1 .

Тестування нейромережі здійснювалось на вибірці із 500 зашумлених корисних сигналів та 500 відрізків шуму. Класифікація вхідних сигналів здійснювалась наступним чином: вихід нейромережі в діапазоні $0 \dots +1$ символізував про наявність у вибірці корисного сигналу; на виході нейромережі в діапазоні $0 \dots -1$ результат інтерпретувався як відсутність корисного сигналу у даній вибірці.

Результати досліджень були наступними: під час розпізнавання шуму в нейромережі практично не виникає труднощів, проте під час розпізнавання корисних сигналів траплялися помилки, рівень яких складав – 4,2% (21 із 500 вибірок, що містили корисний сигнал, на виході нейромережі дали результат у діапазоні $0 \dots -1$). Таким чином, точність розпізнавання зашумлених сигналів склала 95,8%. При цьому для 500 вибірок сигналів шуму вихід нейромережі знаходився в діапазоні $-0,85 \dots -1$.

З метою підвищення інформативності запропонованого методу (результати якого вже порівнювані із результатами застосування взаємкореляційного підходу), було запропоновано використовувати перед подаванням тестових сигналів на вхід

неймережі процедуру згладжування по 11 точках методом фільтрації Савіцького-Голея. Згладжувальні фільтри Савіцького-Голея, які є також поліноміальними згладжувальними фільтрами або згладжувальними фільтрами з мінімальною квадратичною помилкою, як правило, використовують для „згладжування” зашумлених сигналів із широким спектром. У даному випадку згладжувальні фільтри Савіцького-Голея працюють набагато краще, ніж звичайні усереднювальні не рекурсивні фільтри, які мають тенденцію разом із шумом видаляти значну частку високочастотних складових.

Результати застосування процедури згладжування дали змогу підвищити точність розпізнання, яка склала 99,8 %, у відношенні сигнал/шум вхідного сигналу $-6,1\text{дБ}$ (1 із 500 сигналів був невірно класифікований).

Зі зменшенням відношення сигнал/шум на вході до значень близьких -8дБ , точність розпізнання зашумлених сигналів склала 95%, а при відношенні сигнал/шум $-8,5\text{дБ}$ – близько 82%. За такого рівня завад взаємокореляційний метод вже не давав можливості виявляти корисні сигнали.

У четвертому розділі наведено методику та результати експериментальних досліджень з метою перевірки удосконаленого безконтактного акустичного методу контролю металоконструкцій і розробленого методу оброблення вимірювальної інформації.

Було розроблено експериментальну установку (рис. 7) для вимірювання товщини металоконструкцій акустичним методом.

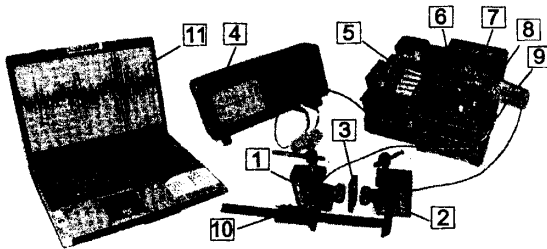


Рис. 7. Загальний вигляд експериментальної установки:

1, 2 – випромінюючий та приймаючий безконтактний ультразвуковий перетворювач відповідно, 3 – об’єкт контролю, 4 – цифровий осцилограф, 5 – блок живлення, 6 – високовольтний перетворювач, 7 – генератор ультразвукових коливань, 8 – синхронізатор, 9 – попередній підсилювач, 10 – штангенциркуль, 11 – персональний комп’ютер.

Розроблена експериментальна установка складається з акустичного блока, генераторно-приймального тракту та блока візуалізації, оцифрування та оброблення акустичних сигналів. До акустичного блока входять два безконтактні ультразвукові перетворювачі: випромінюючий, приймаючий та штангенциркуль. До складу генераторно-приймального тракту входять: блок живлення, високовольтний генератор, генератор ультразвукових коливань, синхронізатор та попередній

підсилювач. Блок візуалізації оцифрування та оброблення акустичних сигналів містить цифровий осцилограф Tektronix TDS1012 та персональний комп'ютер.

Проведені експериментальні випробування за допомогою даної експериментальної установки із використанням безконтактного ультразвукового перетворювача з одношаровим узгоджувачим шаром довели можливість вимірювання товщини безконтактним акустичним методом. Проте конструкція перетворювача забезпечувала зменшення втрат енергії акустичних коливань на 26дБ на межі розподілу п'єзоелемент/повітря, що ускладнювало можливість одержання ехо-імпульсів через ОК, виготовлених зі сталі. Крім того, значна тривалість (близько 10 мкс) ехо-імпульсу, відбитого від зовнішньої поверхні, робила неможливим виявлення ехо-імпульсу, відбитого від внутрішньої поверхні та проведення вимірювань за умови одностороннього доступу до поверхні ОК.

Тому здійснивши математичне моделювання багатошарового узгоджувачого шару, було запропоновано наступну конструкцію безконтактного ультразвукового перетворювача (рис. 8). Конструктивно ультразвуковий перетворювач складається з корпусу 1, демпфера 2, корпусу резонатора 3, п'єзоелектричної пластини 4, виготовленої з титанату барію ТБК-3 діаметром 20мм, резонансна частота якої складає 1МГц, багатошарового узгоджувачого шару 5 та фіксуючого кільця 6. Демпфер, п'єзоелектрична та узгоджувачий шар склеюються між собою за допомогою епоксидної смоли і утворюють резонатор, що розміщується в корпусі резонатора. Резонатор кріпиться в корпусі перетворювача за допомогою фіксуючого кільця.

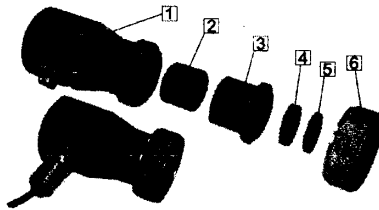


Рис. 8. Конструкція багатошарового безконтактного ультразвукового перетворювача:

1 – корпус перетворювача, 2 – демпфер, 3 – корпус резонатора, 4 – п'єзоелемент, 5 – узгоджувачий шар, 6 – фіксуюче кільце.

Багатошаровий узгоджувачий шар складається з трьох пластин дископодібної форми діаметром, рівним діаметру п'єзоелектричної пластини. Перша пластина узгоджувачого шару, що кріпиться безпосередньо до п'єзопластини, виготовлена з алюмінію і має товщину 0,78 мм. Друга - виготовлена з поліетилену, товщиною 0,65 мм. Остання - виготовлена з целюлози вторинного перероблення і має товщину 0,085 мм. Пластини узгоджувачого шару кріпляться між собою і до п'єзоелемента за допомогою епоксидної смоли. Експериментально було визначено, що така конструкція перетворювача забезпечує зменшення втрат енергії акустичних коливань на межі розподілу п'єзоелемент/повітря на 32дБ.

Для проведення експериментальних випробувань було відібрано 12 сталених зразків товщиною від 0,55мм до 9,53мм. Перед початком випробувань товщину кожного зразка було визначено за допомогою мікрометра.

Випробування проводились згідно з наступною методикою. Безконтактні ультразвукові перетворювачі розміщуються один навпроти одного. Вмикається експериментальна установка та проводиться оцифрування, запис осцилограми та реєстрація часу проходження ехо-імпульсу. З оцифрованої вибірки виділяється пройшовший ехо-імпульс, який в подальшому використовується для тренування нейромережі. Після цього між перетворювачами розміщується досліджуваний зразок, як було описано вище, та проводиться оцифрування і запис пройшовшого ехо-імпульсу. Загалом таких досліджень було проведено 120, по 10 на кожному зразку.

З метою виявлення ехо-імпульсів, пройшовших через ОК, та експериментального підтвердження розробленого методу оброблення вимірювальної інформації, для кожної оцифрованої осцилограми пройшовшого через досліджувані зразки ехо-імпульсу, було одержано виходи нейромережі (рис. 9). Вони дали можливість локалізувати пройшовші ехо-імпульси та визначити товщини досліджуваних зразків (таблиця 1).

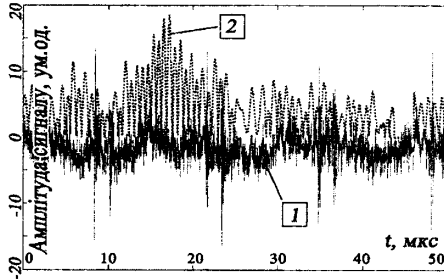


Рис. 9. Вихід нейромережі (позиція 2) типового ехо-імпульсу (позиція 1), одержаного через досліджуваний зразок (товщина – 5,94 мм)

Таблиця 1

Результати експериментальних вимірювань.

№ вимірювання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дійсне значення товщини зразків, мм	0,55	0,82	1,27	1,5	1,98	2,96	3,8	3,93	5,01	5,94	6,93	9,53
Розраховані значення товщини, мм	0,47	0,71	1,33	1,66	1,75	2,58	3,61	3,89	4,89	4,94	6,56	9,17

Середня абсолютна похибка вимірювань становила $\pm 0,38$ мм.

Таким чином у четвертому розділі дисертаційної роботи експериментально доведено можливість вимірювання товщини металоконструкцій за допомогою удосконаленого безконтактного акустичного методу. Проведені експериментальні випробування показали доцільність використання нейромережевого методу для

оброблення вимірювальної інформації та повністю підтвердили проведені теоретичні дослідження.

Проведені в ході експериментальних досліджень багатократні вимірювання товщини дали можливість провести метрологічну оцінку результатів вимірювання удосконаленим акустичним методом. Метрологічний аналіз результатів 10-ти кратних вимірювань товщини на кожному зразку було виконано згідно зі стандартною методикою.

У результаті виконаного оброблення результатів експериментальних досліджень встановлено, що приведена до діапазону (6,57мм) похибка вимірювань за допомогою удосконаленого безконтактного методу не перевищує 5,5%.

П'ятий розділ присвячений розробці, виготовленню та апробації дослідного зразка установки, а також розробленню методики промислових випробувань.

Для перевірки акустичного безконтактного способу вимірювання товщини стінки металоконструкцій в промислових умовах було розроблено та виготовлено дослідно-експериментальний зразок установки для безконтактного ультразвукового вимірювання товщини БКТУ-2.

Загальний вигляд дослідної установки БКТУ-2, призначеної для вимірювання товщини металоконструкцій згідно з удосконаленим безконтактним акустичним методом контролю, зображено на рис. 10.

Дослідна установка БКТУ-2 являє собою ручний переносний прилад у металевому корпусі з класом захисту IP65, до якого приєднуються акустичні перетворювачі та автоматичний сканер. Зв'язок БКТУ-2 з персональним комп'ютером здійснюється через інтерфейс USB. Живлення розробленої дослідної установки здійснюється від внутрішньої акумуляторної батареї, а також можливе живлення від промислової мережі змінного струму 220 В $\pm 10\%$ з частотою (50 $\pm 0,5$) Гц за допомогою блока живлення.

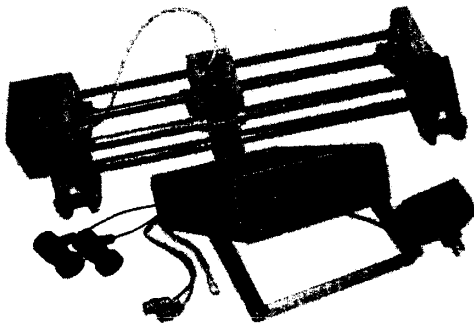


Рис. 10. Дослідна установка БКТУ-2

Для забезпечення достовірності результатів контролю розроблено методику використання дослідно-експериментальної установки в промислових умовах.

Промислову апробацію установки було виконано в умовах лабораторій НВФ «Зонд» та промислу Богородчанського ЛВУМГ.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-практична задача в галузі методів та приладів неруйнівного контролю – удосконалено акустичний метод безконтактного контролю товщини металоконструкцій, розроблено експериментальний взірць приладу та здійснено його апробацію і одержано такі основні результати:

1. Проведений аналіз відомих методів та засобів контролю товщини металоконструкцій показав, що на даний час найбільш поширеним є акустичний метод з використанням контактних рідин, недоліком якого є необхідність забезпечення якісного акустичного контакту п'єзоперетворювача з об'єктом контролю, що звужує сферу використання та зменшує продуктивність даного методу. **Обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих методів контролю та розроблення нового методу акустичного контролю товщини.**

2. Удосконалено прохідний метод безконтактного акустичного контролю товщини стінки металоконструкції шляхом використання узгоджувачів шарів для зменшення втрат енергії акустичних коливань на межі розподілу п'єзоелемент/повітря та нового інтелектуального способу оброблення дефектоскопічної інформації, який порівняно з традиційним взаємкореляційним методом, дав змогу збільшити діапазон вимірювання товщини стінки металоконструкцій на 37,5% та на 4,6% зменшити приведену до діапазону (8,98мм) похибку вимірювань.

3. Удосконалено математичну модель узгоджувача шару безконтактного ультразвукового перетворювача, шляхом врахування акустичних характеристик повітря та матеріалу об'єкта контролю, а також розроблено методичку розрахунку втрат енергії акустичних коливань під час безконтактного вимірювання товщини металоконструкцій, що дало змогу визначити характеристики матеріалу та товщину узгоджувачів шарів перетворювача та теоретично обґрунтувати можливість проведення контролю.

4. Розроблено новий метод оброблення дефектоскопічної інформації на базі штучних нейронних мереж, що дало змогу покращити відношення сигнал/шум для безконтактного акустичного способу вимірювання товщини стінки металоконструкцій у порівняно з взаємкореляційним методом оброблення на 2,5дБ.

5. За результатами експериментальних досліджень було доведено адекватність розробленої математичної моделі, визначено дійсні межі використання запропонованого методу безконтактного ультразвукового контролю товщини сталевих виробів, що становлять 0,55 - 9,53 мм. Оцінено приведену до діапазону (6,57мм) похибку вимірювань товщини елементів металоконструкцій удосконаленого методу, що не перевищує 5,5%. Абсолютна похибка вимірювань у вказаному діапазоні товщин становить $\pm 0,38$ мм.

6. Розроблено та виготовлено дослідно-експериментальний зразок установки для безконтактного акустичного контролю товщини стінки металоконструкцій. Проведено промислово апробацію установки в умовах лабораторій НВФ «Зонд» та промислу Богородчанського ЛВУМГ, яка показала можливість та доцільність

розроблення систем безконтактного контролю товщини металоконструкцій. Розроблено проект методики визначення товщини стінки металоконструкцій за допомогою розробленої установки. Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованого приладу становить 97 000 грн.

СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Криничний П. Я. Контроль корозійних втрат металу неруйнівними методами / П. Я. Криничний, І. В. Рибіцький // *Методи та прилади контролю якості*. – 2005. – №15. – С. 80 – 84.

2. Карпаш О. М. . Огляд методів та засобів контролю корозійних пошкоджень трубопроводів / О. М. Карпаш, П. Я. Криничний, М. О. Карпаш, І. В. Рибіцький // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал*. – 2005. – вип. 2(15). – С. 91-97.

3. Рибіцький І.В. Аналіз безконтактних методів ультразвукового контролю матеріалів і виробів / І. В. Рибіцький, О. М. Карпаш, М. О. Карпаш // *Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів (серія), випуск 12: Неруйнівний контроль та технічна діагностика матеріалів і конструкцій: зб. наук. праць*. – Львів, 2007. – С. 111 – 116.

4. Рибіцький І. В. Математична модель узгоджуючого шару п'єзоперетворювача та розрахунок втрат енергії акустичних коливань при безконтактному способі вимірювання товщини / І. В. Рибіцький // *Методи та прилади контролю якості*. – 2007. - № 18. – С. 40-45.

5. Карпаш О. М. Експериментальна перевірка можливості використання взаємкореляційного та нейромережевого підходів для підвищення чутливості безконтактного ультразвукового способу контролю товщини матеріалів / О. М. Карпаш , І. В. Рибіцький , М. О. Карпаш // *Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів (серія), випуск 13: Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій: зб. наук. праць*. – Львів, 2008. – С. 152 – 160.

6. Карпаш О. М. Удосконалення засобів вимірювання глибини корозійних пошкоджень та товщини стінки металоконструкцій / О. М. Карпаш, І. В. Рибіцький // *Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів: В 2-х т. / Спецвипуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів»*. - №7. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2008 – Т. 2. – С. 721-723.

7. Карпаш О. М. Експериментальна установка для вимірювання товщини металоконструкцій безконтактним акустичним методом / О. М. Карпаш, І. В. Рибіцький, М. О. Карпаш // *Методи та прилади контролю якості*. – 2008. – № 20. – С. 7 – 12.

8. Карпаш О. М. Обґрунтування можливості використання кодів Баркера для підвищення чутливості ультразвукового безконтактного способу вимірювання товщини / О.М. Карпаш , І.В. Рибіцький , М.О. Карпаш // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2008. – № 2. – С. 31 – 35.

9. Методи та засоби визначення ступеня корозійного зносу нафтогазового обладнання та інструменту : матеріали 8-ї Міжнародної науково-практичної

конференції [“Нафта і газ України 2004”], (Судак, 29 вересня-1 жовтня 2004 р.) / Українська нафтогазова академія. - Л.: «Центр Європи, 2004». Том 2. – С. 210-211.

10. Удосконалення засобів контролю корозійного пошкодження металоконструкцій тривалої експлуатації : зб. праць 4-ої науково-практичної конференції [“Організація неруйнівного контролю якості продукції в промисловості”], (м. Кемер, Туреччина, 7-15 травня 2006 р.) / Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики, ДП «Тест» [та ін.], 2006. – С. 42 – 43.

11. Безконтактний ультразвук: труднощі та рішення : зб. праць 5-ої науково-практичної конференції [“Організація неруйнівного контролю якості продукції в промисловості”], (м. Шарм ель Шейх, Єгипет, 22-29 квітня 2007 р.) / Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики, ДП «Тест» [та ін.], 2007. - 15 с.

12. Експериментальна перевірка способу безконтактного вимірювання глибини корозійних пошкоджень : анотації доповідей Міжнародної науково-технічної конференції [“Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці. «ІФНТУНГ-40”]. (Івано-Франківськ, 16-20 квітня 2007р.) / Міністерство освіти і науки України, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу [та ін.], Івано-Франківськ.: Факел. 2007. - 118 с.

13. Вимірювання товщини за допомогою безконтактних ультразвукових перетворювачів : зб. праць 6-ої науково-практичної конференції [“Організація неруйнівного контролю якості продукції в промисловості”], (м. Таба, Єгипет, 18-25 квітня 2008 р.) / Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики, ДП «Тест» [та ін.], 2008. - 5 с.

14. Безконтактний ультразвуковий перетворювач для вимірювання глибини корозійного пошкодження та товщини : тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції [“Міцність та надійність магістральних трубопроводів “МТ-2008”], (Київ, 5 - 7 червня 2008р.) / Національна академія наук України, Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка, 2008. - С. 49 - 51.

15. Метрологічна оцінка безконтактного акустичного методу контролю товщини металоконструкцій : анотації доповідей міжнародної науково-технічної конференції молодих учених [“Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії”], (м. Івано-Франківськ, 16-20 вересні 2008р.) / Міністерство освіти і науки України, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу [та ін.], Івано-Франківськ.: Факел. 2008. - 57 с.

АНОТАЦІЯ

Грибіцький І.В. Удосконалення акустичного методу контролю товщини металоконструкцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого звання кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2008.

Дисертація присвячена питанню безконтактного контролю металоконструкцій акустичним методом.

Досліджено та обґрунтовано можливість і доцільність використання безконтактних ультразвукових перетворювачів для контролю товщини стінки металоконструкцій. Удосконалено метод безконтактного акустичного контролю товщини, що полягає у використанні узгоджуючого шару для зменшення втрат енергії ультразвукових коливань та нейромерж для оброблення і локалізації зашумлених ехо-імпульсів. Розроблено математичну модель процесу поширення ультразвукових коливань та розраховано величини втрат енергії акустичних коливань під час безконтактного вимірювання товщини. Розраховано фізичні (акустичний опір) та геометричні (товщина) характеристики узгоджуючого шару безконтактного п'єзоперетворювача та розраховано його характеристики. За результатами розрахунків розроблено конструкцію ультразвукового перетворювача для контролю товщини металоконструкцій. Проведено експериментальні випробування експериментальної установки згідно з розробленою методикою, що дало змогу довести можливість контролю товщини стінки металоконструкцій удосконаленим безконтактним акустичним методом та підтвердити адекватність побудованої математичної моделі.

Розроблено та виготовлено дослідно-експериментальний зразок установки для контролю товщини стінки металоконструкцій. Розроблено проект методики безконтактного контролю товщини металоконструкцій акустичним методом за допомогою розробленої системи.

Ключові слова: ультразвук, п'єзоперетворювач, акустичний опір, металоконструкції, комплексний підхід, нейронні мережі.

АННОТАЦИЯ

Рибичкий И.В. Усовершенствование акустического метода контроля толщины металлоконструкций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2008.

Диссертация посвящена вопросу усовершенствования акустического метода измерения толщины стенки металлоконструкций.

В первом разделе проведен анализ методов и средств акустического контроля толщины металлоконструкций. Подано их преимущества и недостатки.

Анализ известных методов и средств контроля показал, что на сегодняшний день для контроля толщины стенки металлоконструкций в основном используются контактные акустические методы с использованием жидкостей для создания акустического контакта. Необходимость создания качественного акустического контакта преобразователя с объектом контроля значительно сужает область применения метода, уменьшает его производительность. Решение данной проблемы

может быть наедено путём использования бесконтактных акустических методов контроля совместно с современными методами обработки измерительной информации.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям новых подходов и методов измерения толщины стенки металлоконструкций и способов обработки измерительных сигналов. Анализ разработанной физической модели процесса бесконтактного акустического контроля толщины элементов металлоконструкций показал, что основными проблемами при передаче энергии ультразвуковых колебаний от преобразователя через воздух есть значительная разница акустических сопротивлений пьезопластины, воздуха и исследуемого материала и дал возможность определить пути усовершенствования акустического метода контроля, а именно: необходимость использования согласующих слоев, что позволит уменьшить потери энергии акустических колебаний на границе раздела пьезоэлемент/воздух; компенсация потерь энергии акустических колебаний на границе раздела воздух/объект контроля путём использования технологий искусственных нейронных сетей для обработки измерительной информации. Разработана математическая модель согласующего слоя преобразователя позволила определить его толщину и акустическое сопротивление, а также рассчитать потери энергии акустических колебаний при бесконтактном измерении толщины.

В третьем разделе приводятся теоретические исследования относительно разработки нового метода обработки измерительных сигналов. Значительные потери энергии акустических колебаний, которые возникают при бесконтактном акустическом контроле толщины элементов металлоконструкций, приводят к тому, что амплитуда акустических колебаний, которые прошли через объект контроля находится ниже уровня собственных шумов преобразователя. В таком случае использование традиционных методов обработки измерительных сигналов не даёт возможности определить толщину исследуемого объекта. Суть нового метода, который разработан на базе искусственных сетей, состоит в следующем. По выборке с измерительными сигналами реализуется так называемый метод «плавающего окна». Таким образом анализируется весь сигнал по частям. Окно передвигается с шагом единица. В таком случае задание состоит в анализе выборки. Проведены теоретические исследования показали, что для обработки измерительной информации, полученной при бесконтактном контроле толщины металлоконструкций, целесообразно использовать нейросетевой метод, который имеет лучшую чувствительность.

В четвёртом разделе приведено методика и результаты экспериментальных исследований с целью проверки бесконтактного акустического метода контроля толщины металлоконструкций и разработанного метода обработки измерительной информации. Проведено метрологическую оценку разработанного метода. Было разработано экспериментальную установку для контроля толщины элементов металлоконструкций. Описано её конструкцию и принцип работы. Экспериментальные исследования проводились на 12 плоских образцах, изготовленных из стали, толщиной от 0,55мм до 9,53мм с использованием нового

разработанного метода обработки измерительной информации. Проведены в процессе экспериментальных исследований многократные измерения толщины позволили провести метрологическую оценку. Относительная погрешность измерения толщины с использованием разработанного метода не превышает 5,5%.

Пятый раздел посвящен разработке, изготовлению и апробации испытательного образца установки в промышленных условиях. Проведены успешные лабораторные исследования и промышленная апробация установки в условиях НПФ «Зонд» и Богородчанского ЛПУМГ. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанной установки составляет 97тыс. грн.

Ключевые слова: ультразвук, пьезопреобразователь, акустический импеданс, металлоконструкции, комплексной подход, нейронные сети.

ABSTRACTS

Rybitsky I.V. Improvement of acoustic method of metallic constructions thickness control. – Manuscript.

Dissertation on competition of scientific degree of the candidate of engineering sciences at in speciality 05.11.13 – Instruments and methods of control and composition of material determination. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2008.

Dissertation is devoted to the problem of non-contact testing of metallic constructions using acoustic method.

The possibility and reasonability of non-contact ultrasonic transducers usage for thickness testing has been investigated and proved. Method of non-contact acoustic measurement of thickness has been improved based on usage of matching layer for elimination of ultrasonic wave energy and application of artificial neural networks for data processing and detection of highly noised signals. The mathematical model of ultrasonic wave propagation in the controlled media was developed and actual acoustic waves' energy losses have been calculated for the non-contact thickness measurement. The physical (acoustic impedance) and geometrical (thickness) parameters of matching layer of non-contact transducers have been calculated. The ultrasonic transducer for thickness measurement have been designed using results of simulation. Experimental investigations of experimental setup according to the developed methodology were conducted and the results proved the possibility of non-contact ultrasonic thickness measurement.

The experimental prototype of setup for control of thickness of metallic construction has been developed. The draft of guide for non-contact measurement of thickness of metallic construction using the developed technique has been proposed.

Key words: ultrasound, piezoelectric transducer, acoustical impedance, metallic constructions, complex approach, neural networks.