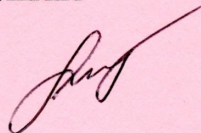


620.179.16(093)
П.58

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ПОПОВИЧ ОЛЬГА ВАСИЛІВНА



УДК 620.192

**УДОСКОНАЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ ТА
РОЗМІРІВ ДЕФЕКТІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Івано-Франківськ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі „Енергетичного менеджменту і технічної діагностики ” в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Карпаш Максим Олегович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, директор науково-дослідного інституту нафто-газової енергетики і екології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сучков Григорій Михайлович
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри приладів і методів неруйнівного контролю,
м. Харків

кандидат технічних наук, доцент
Вашишак Сергій Петрович
Карпатська філія Українського державного центру радіочастот, інженер,
м.Івано-Франківськ

Захист відбудеться "03" листопада 2016 р. о 10:00 годині 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 рукописом дисертації можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий "03" 10 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор

А.П. Олійник



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Рівень спрацювання металоконструкцій у базових галузях промисловості України складає понад 60%. Повна чи часткова заміна такого устаткування є складною в реалізації у зв'язку з технічними та економічними чинниками. Забезпечення подальшої експлуатації в безвідмовному режимі можливе за умови регулярного технічного діагностування, що регламентується чинними нормативними документами у цій сфері.

Серед основних нормативних параметрів, що характеризують технічний стан металоконструкцій, є наявність чи відсутність дефектів типу «порушення суцільності». Ступінь небезпеки виявлених дефектів характеризується їх типом – плоский (експлуатаційного походження) та об'ємний (виробничого походження), або реальними розмірами дефекту. Плоскі дефекти, як правило, представлені корозійно-втомними тріщинами, тоді як об'ємні – порами, включеннями та непроварами.

На сучасному етапі розвитку науки більша частина методів неруйнівного контролю дозволяє вирішити задачу виявлення дефектів. Актуальним і необхідним залишається підвищення інформативності та точності визначення типу і розмірів виявлених дефектів металоконструкцій, особливо, тривалої експлуатації.

Відповідно до існуючої практики та досвіду контролю важливих металоконструкцій, найбільш поширеним методом виявлення внутрішніх дефектів є ультразвуковий контроль, основним джерелом інформації якого є завадочутливий А-скан. Результати такого ультразвукового контролю є складними для розшифрування та вимагають значного практичного досвіду оператора для подальшого висновку типу та розмірів дефекту, оскільки дають лиш інформацію про місце і глибину залягання дефекту та його еквівалентну площу, чого часто недостатньо для точного визначення можливості подальшої експлуатації устаткування.

У зв'язку зі значним зносом металоконструкцій обсяги робіт з неруйнівного контролю зростають. Слід зауважити, що відповідно до постанови КМУ №687 від 26.05.2004 року, позачерговий технічний огляд устаткування, в якого закінчився граничний термін експлуатації, повинен проводитись із застосуванням видів робіт, що не використовувалися під час експертного обстеження.

Тому розроблення нових методів контролю для виявлення дефектів типу «порушення суцільності» та отримання вичерпної інформації про них є, на даний час, актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась за особистою участю автора на кафедрі енергетичного менеджменту і технічної діагностики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу відповідно до плану таких науково-дослідних робіт:

- держбюджетна Д-1-13-Ф «Розроблення наукових основ багатопараметрового контролю технічного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації за фактичними значеннями фізико-механічних характеристик їх матеріалу та типом і розмірами дефектів» Міністерства та науки України №0113U001099.

- грант Ф61/72-2015 «Розроблення технології ультразвукових фазованих решіток для ідентифікації та визначення типів і розмірів дефектів металоконструкцій» Міносвіти та науки України 0115U004844.

- госпдоговірна тема 78/2014 «Переглядання СОУ 60.3-31570412-027:2007 "Магістральні нафтопроводи. Нафтоперекачувальні станції, морські термінали. Технічний огляд, експертне обстеження технологічного обладнання і трубопроводів. Методи і методики» ПАТ «Укртранснафта» 0114U006345.

Метою дисертаційної роботи є вирішення актуальної науково-практичної задачі в галузі ультразвукових методів неруйнівного контролю – підвищення чутливості та інформативності ультразвукового контролю для визначення типу та розмірів виявлених дефектів металоконструкцій довготривалої експлуатації.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку методів та засобів ультразвукового контролю металоконструкцій для визначення їх фактичного технічного стану;

- провести теоретичні дослідження з метою розроблення методології вибору параметрів п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП) ультразвукових фазованих решіток (УЗФР) та оброблення дефектоскопічної інформації для ідентифікації типу та розмірів дефектів порушення суцільності металоконструкцій;

- виконати експериментальні дослідження розробленого методу визначення типу та розмірів дефектів металоконструкцій;

- провести порівняльні випробування розробленого та діючого стандартизованого методів ультразвукової дефектоскопії та виконати апробацію запропонованої технології.

Об'єктом досліджень є процес контролю технічного стану металоконструкцій тривалого експлуатування.

Предметом дослідження є методи і засоби ультразвукового контролю металоконструкцій за допомогою технології УЗФР.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач в дисертаційній роботі використано методи неруйнівного контролю, математичного аналізу та моделювання, теорії розповсюдження звукового поля та розпізнавання образів. Для підготовки та проведення досліджень використовувались методи моделювання експерименту, методи теорії вимірювань. Для обробки результатів контролю застосовувались сучасні методи обробки інформації, автоматизації та алгоритми програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Вперше було виконано графоаналітичне дослідження поля перетворювачів УЗФР шляхом досліджень зміни форми та розкриття основної вітки діаграми направленості при зміні параметрів УЗФР, що дало змогу встановити параметри УЗФР, які забезпечують надійне виявлення типу та вимірювання розмірів дефектів зварних з'єднань.

2. Вперше була отримана математична залежність для визначення часових затримок елементів перетворювача УЗФР для фокусування ультразвукової енергії

під певним кутом в процесі акустичного контролю, що дає можливість забезпечити максимальну направленість ультразвукового поля на місце очікуваного дефекту.

3. Удосконалено спосіб підбору оптимальних параметрів перетворювачів УЗФР залежно від типу очікуваних дефектів, геометричних параметрів об'єктів контролю та чутливості контролю, що дозволяє підвищити достовірність результатів контролю та мінімізувати витрати на його проведення.

4. Знайшло подальший розвиток застосування програмного пакету *Image J* для оброблення графічної дефектоскопічної інформації, що дозволяє достовірно розрізняти найбільш поширені типи дефектів зварних з'єднань та визначати їх геометричні розміри з відносною похибкою не вище 5%.

Положення, які захищаються:

1. Метод розрахунку параметрів перетворювача УЗФР для надійного виявлення типу та розмірів дефектів зварних з'єднань трубних виробів.

2. Метод ідентифікації типу та розмірів дефектів порушення суцільності металоконструкцій, виявлених за допомогою УЗФР з використанням профільного програмного забезпечення.

3. Спосіб вибору перетворювачів УЗФР в залежності від параметрів об'єкту контролю та типів виявлюваних дефектів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні достовірності та інформативності результатів ультразвукового методу контролю металоконструкцій тривалої експлуатації, а також можливості ідентифікації типу (виробничого чи експлуатаційного походження) виявленого дефекту при односторонньому доступі до поверхні контролю. Реалізація розробленої методики використовується за допомогою серійних дефектоскопів з УЗФР згідно з чинними нормативними документами.

Розроблено складову діючого нормативного документу (СОУ) для технічного огляду, експертного обстеження технологічного устаткування і трубопроводів запропонованим методом.

Результати досліджень, викладені у дисертаційній роботі, можуть бути використані при контролі складних промислових об'єктів (акти впровадження) та впроваджені у навчальний процес під час вивчення дисциплін «Методи і засоби неруйнівного контролю», «Контроль якості зварювання», «Технічна діагностика бурового та нафтопромислового обладнання».

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

- запропоновано новий підхід до удосконалення ультразвукових методів контролю металоконструкцій, який передбачає використання когерентної обробки інформації та сучасних технічних засобів контролю [1,2,8,12,13,15];

- запропоновано застосування УЗФР для визначення розташування, типу та розмірів дефектів типу «порушення суцільності» зварних з'єднань металоконструкцій тривалої експлуатації [4,5,9,10];

- розроблено спосіб вибору [7, 11] параметрів УЗФР відповідно до об'єкту контролю (розміри, кривизна поверхні, доступ);

- розроблено методику та проведено комплекс експериментальних досліджень з виявлення та визначення критичності дефектів зварних з'єднань елементів конструкцій важливих промислових об'єктів, що працюють понад нормативний ресурс [6, 17,19];

- запропоновано шляхи практичної реалізації та включено до чинного нормативного документу методику контролю металоконструкцій на наявність дефектів типу «порушення суцільності» в процесі експлуатації [3, 14,16,18].

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на вітчизняних і міжнародних конференціях, зокрема: 4-тій науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (Івано-Франківськ, листопад 2013р.); 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), жовтень 2014, Прага, Чехія; 7-ій Міжнародній науково-технічній конференції і виставці «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», листопад 2014, м. Івано-Франківськ; VIII міжнародній конференції молодих учених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології», травень 2015, смт. Ворзель, Київська обл.; 4-ій міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика», квітень 2015, м.Івано-Франківськ; 14-ій міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи», квітень 2015, м.Київ; «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування», вересень 2015, м. Тернопіль; 15-ій міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи», травень 2016, м.Київ.

Публікації результатів досліджень. За темою дисертаційної роботи опубліковано 19 друкованих праць, з них 5 – статті у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України, в тому числі 1 входить до міжнародних наукометричних баз, 3 – зарубіжні публікації, 11 – тези доповідей на конференціях, у тому числі 2 – міжнародні.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертація викладена на 128 сторінках, робота проілюстрована 52 рисунками, містить 11 таблиць, список використаних джерел із 101 найменування та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено загальну характеристику роботи, сформульовано її мету та основні задачі досліджень. Викладено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів досліджень, наведені відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертаційних досліджень.

У першому розділі виконано аналіз фактичного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації і проблем, що виникають в процесі їх експлуатації. Зокрема у ході регулярного оцінювання фактичного технічного стану необхідною є

інформація щодо наявності дефектів типу «порушення суцільності». Визначено, що найбільш точними методами виявлення дефектів типу «порушення суцільності» в металоконструкціях є ультразвукові методи контролю, які набули широкого поширення в промисловості. Проте, практика настання відмов устаткування, спричинена розвитком дефектів типу «тріщина», показала недосконалість існуючих ультразвукових методів оцінювання типів дефектів в процесі контролю, що часто зумовлений одностороннім доступом до поверхні контролю.

Аналіз ультразвукових методів неруйнівного контролю для виявлення та визначення розмірів внутрішніх дефектів металоконструкцій [1, 2] показав, що ультразвукові методи контролю з когерентною обробкою є найбільш інформативними, не потребують високої кваліфікації оператора, що проводить контроль, а також піддаються автоматизації, що є важливим за суттєвого зростання обсягів контрольних операцій.

Вагомий внесок у розвитку ультразвукових методів контролю внесли відомі вчені: Клюев В.В., Drinkwater B.W., Єрмолов И.Н., Вовилкин А.Х., Красковский А.П., Маєвський С.М., Лютак І.З., Карпаш О.М., Скальський В.Р., Криничний П.Я., Сучков Г.М. Їх увага зосереджувалась на математичному моделюванні та обґрунтуванні можливості розроблення, удосконалення технічних засобів когерентної обробки та визначення можливостей їх застосування для неруйнівного контролю загалом, але не була спрямована на раціональне використання цих засобів як перспективних засобів визначення технічного стану металоконструкцій тривалої експлуатації.

Тому для оцінки технічного стану металоконструкцій, виявлення дефектів типу «порушення суцільності» і визначення їх типу та розмірів, необхідно підвищити інформативність ультразвукового контролю шляхом впровадження використання сучасних технічних засобів, методу УЗФР та когерентної обробки результатів контролю.

На основі проведеного аналізу були сформульовані основні задачі, які необхідно вирішити в ході виконання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений дослідженню та управлінню параметрами перетворювачів УЗФР, які забезпечують високу чутливість, спрямованість ультразвукової енергії і підвищення продуктивності ультразвукового контролю [3, 4] об'єктів складної форми, в т.ч. трубних виробів.

Технологія фазованих решіток дозволяє електронно формувати промінь і забезпечити управління ним, при цьому достатньо всього одного перетворювача для створення великої кількості різних профілів променя.

Основними параметрами ПЕП УЗФР, що визначають напрям поширення ультразвукового променя є кількість п'єзоелементів (N) і відстань між ними (d). Комбінація цих параметрів визначає вигляд, напрям діаграми направленості, що дозволяє задати чутливість і продуктивність контролю, за рахунок можливості оперативної зміни форми діаграми направленості, фокусування ультразвукової енергії і застосування методів та засобів когерентного опрацювання луно-сигналів.

З метою вибору параметрів УЗФР, які б забезпечували найвищу концентрацію ультразвукової енергії, що генерується перетворювачем і поширюється в певному

напрямі було виконано графоаналітичне дослідження акустичного поля перетворювачів з УЗФР.

Для досягнення вищої роздільної здатності в процесі неруйнівного контролю при використанні УЗФР необхідно вибрати такі параметри перетворювача, які б забезпечували максимальне значення амплітуди випромінювання в напрямі фокусування, а в інших напрямках поширення фронту хвилі – мінімальне.

Для визначення характеру впливу зміни кількості п'єзоелементів УЗФР на розподіл ультразвукової енергії проводились побудова та дослідження діаграми направленості УЗФР. Рис. 1 схематично ілюструє зміну направленості звукового поля УЗФР при зміні кількості п'єзоелементів, представлену в полярних координатах. На куті рівному 0° , що був вибраний як кут фокусування, зафіксована поява основної вітки діаграми направленості і кількох бокових віток в напрямі відмінному від кута фокусування.

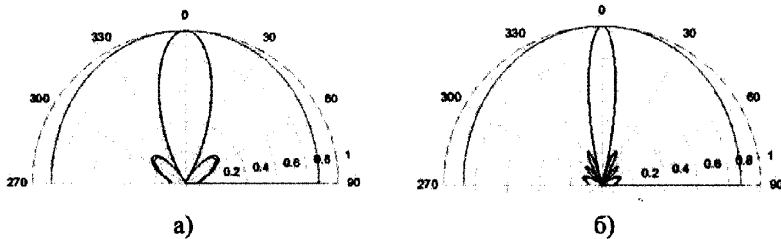


Рисунок 1 - Схематичне зображення направленості звукового поля при зміні кількості елементів: а) $N=4$, б) $N=8$

Спостерігається, що при збільшенні кількості п'єзоелементів кут розкриття основної вітки зменшується. Для визначення оптимального значення кількості п'єзоелементів, які забезпечують мінімальний кут розкриття та зменшення значення направленості бокових віток, необхідно дослідити діаграми направленості УЗФР при збільшенні кількості їх елементів. На рис. 2 подані діаграми спрямованості УЗФР при однакових параметрах ($\theta = 20^\circ$, $d = 0.5\lambda$) і $f = 5$ МГц, але з різною кількістю елементів $N = 8$, $N=16$, $N=32$ та $N=64$. Як видно, профіль основної вітки стає вужчим при збільшенні кількості елементів, що в результаті і є чинником підвищення точності фокусування ультразвукової енергії на кут поширення 20° . Спостерігається поява основної вітки направленості на куті фокусування і дві малих бічних. Бокові пелюстки виникають внаслідок взаємодії між елементами УЗФР. При $N=8$ ширина основної пелюстки (суцільна лінія) рівна 18.5° , що еквівалентно рівню, при якому значення амплітуди вище 0.5 (-6 dB). Кут розкриття основної вітки зменшується до 9.3° при $N = 16$, до 4.6° при $N = 32$ та до 2.1° при $N = 64$. Отже, кут розкриття основної вітки зменшується при збільшенні кількості елементів, але спостерігається наявність бокових віток, які свідчать про те, що значна частина акустичної енергії втрачається.

Для зменшення кута розкриття бокових віток необхідно зменшити взаємодію між елементами УЗФР шляхом зміни відстані між ними. Для цього необхідно

провести дослідження діаграми направленості при зміні відстані між елементами. Рис.3 демонструє вплив зміни міжелементної відстані на направленість акустичного поля. Значення міжелементної відстані d , вибирається в межах $0,2-1,2 \lambda$ за сталих параметрів $N = 32$, $r = 25$ мм, $\theta_s = 20^\circ$, $f = 5$ МГц. При збільшенні відстані між елементами кут розкриття основної вітки зменшується, але при збільшенні відстані до $0,8 \lambda$ і $1,2 \lambda$ спостерігається поява пелюсток на кутах -20° , -30° , що свідчить про появу небажаних дифракційних максимумів.

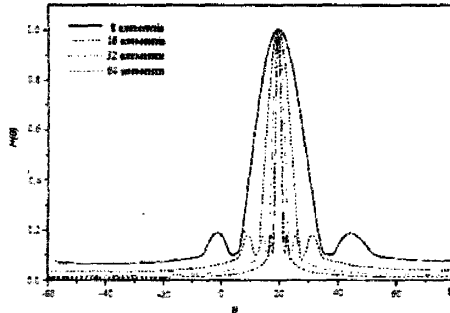


Рисунок 2 - Направленість ультразвукового променя залежно від зміни кількості елементів

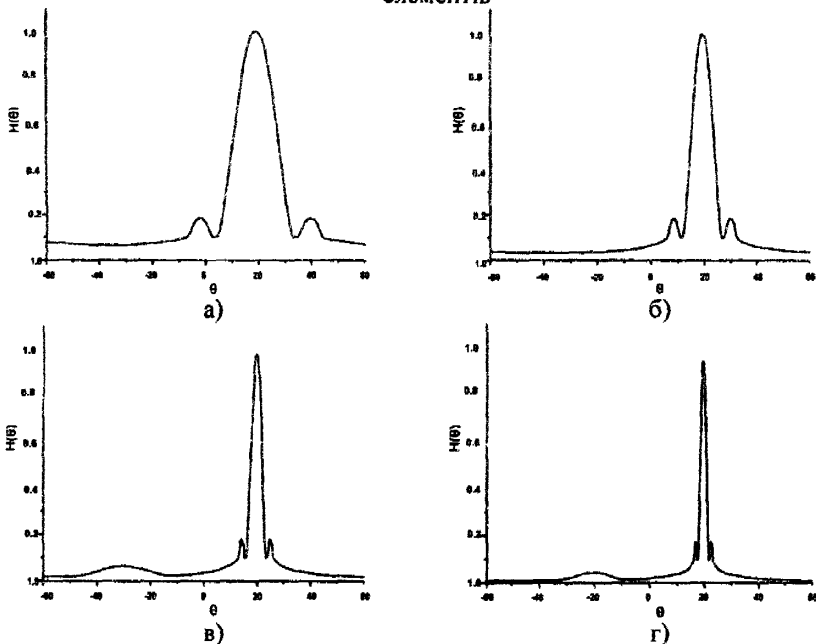


Рисунок 3 - Вплив зміни відстані між елементами перетворювача з УЗФР:
а) $d=0,2\lambda$; б) $d=0,5\lambda$; в) $d=0,8\lambda$; г) $d=1,2 \lambda$

Зменшення кута розкриття основної вітки, зменшення рівня бокових віток та віддалення від основної вітки бокових віток – умова забезпечення максимальної направленості ультразвукового поля, досягається при $d=0,5\lambda$. Тому, підвищення точності контролю з допомогою УЗФР досягається при збільшенні кількості елементів розташованих на відстані $0,5\lambda$.

Управління ультразвуковим променем УЗФР досягається завдяки послідовній пульсації решітки (рис. 4) з часовою затримкою [5]. Напрямок поширення акустичного пучка може бути переорієнтований на будь який кут лише шляхом зміни послідовності синхронізації імпульсів збудження. Всі окремі хвильові фронти сумуються для отримання максимального значення акустичної енергії у потрібному напрямку.

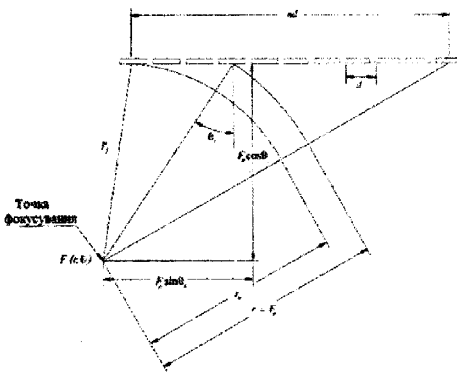


Рисунок 4 – Схема перетворювача УЗФР

Затримки фокусування для будь-якого числа елементів N можуть бути розраховані за формулою:

$$t_n = \frac{F_n}{c} \left[\left(1 + \frac{k^2 d^2 + 2kdF_n \cdot \sin \theta}{F_n^2} \right)^{1/2} - \left(1 + \frac{(n-k)^2 d^2 - 2F_n(n-k)d \cdot \sin \theta}{F_n^2} \right)^{1/2} \right], \quad (1)$$

де t_n – необхідний час затримки для елемента $n = 0, N - 1$, $k = (N-1)/2$, F_n – відстань від елемента до точки фокусування, м; c – швидкість поширення звуку в середовищі, м/с; d – відстань між елементами, м; θ – кут фокусування.

Ця узагальнена формула для розрахунку необхідної часової затримки з метою фокусування променю під певним кутом справедлива для будь-якого числа елементів масиву (парні чи непарні) для $0^\circ < \theta_S < 90^\circ$.

Для прикладу розглянемо графічний розв'язок рівняння (1) для УЗФР з параметрами, що забезпечують максимальну направленість ультразвукового поля на глибині 10 мм під кутом 0° , які були отримані вище (кількість елементів – 64, відстань між елементами $0,5\lambda$) (рис.5).

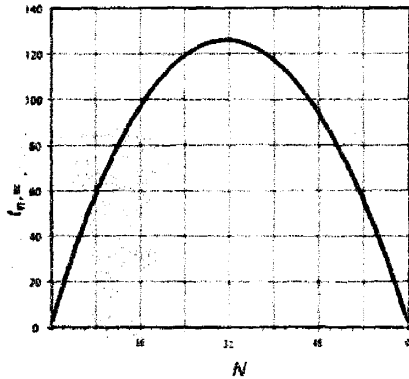


Рисунок 5 – Графічне зображення часових затримок елементів УЗФР

Результати проведених досліджень можна підсумувати наступним чином.

1) Збільшенні кількості п'єзоелементів сприяє підвищенню амплітуди звукового тиску в напрямку фокусування і зменшенню бічних пелюсток, що дозволяє спрямувати ультразвуковий промінь на необхідну глибину та кут поширення. Але при виборі УЗФР слід врахувати той факт, що збільшення кількості елементів призводить до збільшення його геометричних розмірів, що накладає технологічні обмеження. При виборі кількості п'єзоелементів УЗФР потрібно врахувати їх геометричні розміри так, щоб забезпечити ідеальне прилягання УЗФР до поверхні об'єкту контролю. Наприклад, для контролю трубопроводу діаметром 80 мм максимальна кількість п'єзоелементів УЗФР не повинна перевищувати 32, оскільки за кількості елементів 64 не забезпечується акустичний контакт між ПЕП і трубою, через те, що кривизна поверхні перевищує довжину перетворювача.

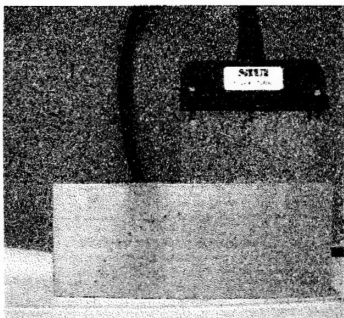
2) Направленість ультразвукового променя може бути підвищена завдяки збільшенню відстані між елементами. Однак існує верхня межа (або оптимальне значення), що забезпечує спрямованість променя без появи небажаних дифракційних максимумів - значення відстані між елементами не повинне перевищувати $\lambda/2$.

У третьому розділі проведено експериментальне підтвердження теоретичних досліджень підвищення чутливості та інформативності контролю за допомогою УЗФР. Розроблено та виготовлено зразок зварного з'єднання з імітаторами дефектів типу «порушення суцільності», проведено експериментальні дослідження та визначено діагностичні ознаки об'ємних та плоских дефектів. Розроблено методику визначення роздільної здатності та чутливості УЗФР [6-8].

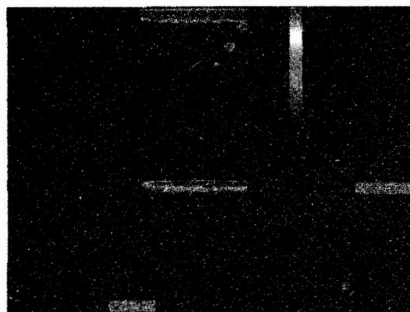
Важливими параметрами, що характеризують інформативність результатів контролю є чутливість та роздільна здатність УЗФР. Для визначення цих параметрів, а також оцінки можливості визначати дійсні розміри дефектів і відстані між ними, було розроблено та виготовлено експериментальні зразки:

- з циліндричними відбивачами діаметром 1 мм, які розташовані по радіусу 25 мм на відстані 3° один від одного та на одній прямій під кутом 35° (рис. 6,а)

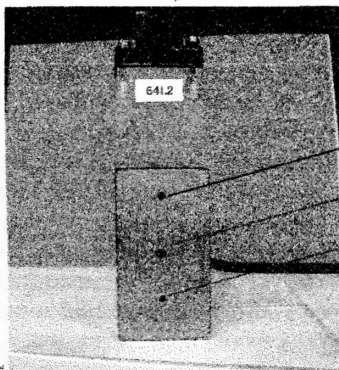
- з циліндричними відбивачами діаметром 2 мм різної довжини, які розташовані на глибині 10, 30 і 48 мм (рис. 6, б)



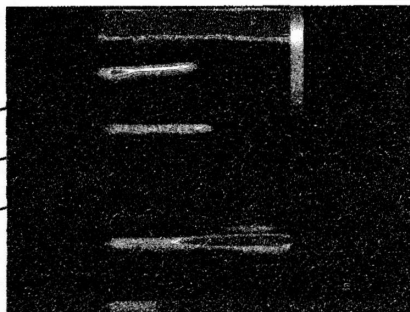
а)



в)



б)



г)

Рисунок 6 – Загальний вигляд зразків для визначення чутливості і роздільної здатності (а, б) та відповідні їм акустичні зображення внутрішньої будови (в, г)

Орієнтація та розташування імітаторів дефектів були зумовлені вимогами ДСТУ EN ISO 13588:2014 щодо чутливості неруйнівного контролю з використанням УЗФР. Найменший діаметр отвору вибраний 1 мм з огляду на бракувальні критерії ультразвукового неруйнівного контролю металоконструкцій.

Для визначення роздільної здатності дефектоскопа SIUI CTS 602 було отримано акустичні зображення поперечних перерізів досліджуваних зразків за допомогою перетворювача з УЗФР з прямою призмою, який містить 64 елементи, що розташовані на відстані 0,5 мм один від одного, частота – 5 МГц, кут сканування - 0°, активна апертура – 14 п'єзоелементів. Суть візуалізації дефектів з УЗФР, що використовується у дефектоскопії металоконструкцій, полягає у зборі інформації про відносну відбиваючу здатність точок внутрішнього об'єму досліджуваного об'єкта і подання на плоскому екрані зображення зрізу цього об'єму. Кожна точка зображення своєю яскравістю або кольором символізує відбиваючу здатність

відповідної їй за координатами точки матеріалу досліджуваного об'єкта. Якщо площина візуалізованого зрізу матеріалу об'єкта проходить через порушення суцільності матеріалу, наприклад тріщину, то межа розриву матеріалу, будучи сукупністю точок, що відображають УЗ хвилі, відобразиться на екрані у вигляді точок, більш яскравих або іншого кольору в порівнянні з сусідніми точками зображення. Для отримання зображення зрізу візуалізованої області об'єкту весь набір прийнятих УЗ сигналів піддають когерентній просторово-часовій обробці. Акустичне зображення є сумуванням відгуків (луно-сигналів різних ракурсів) від деякої точки простору всередині візуалізованої області і присвоєнням результату сумування певного кольору (яскравості). Цю операцію виконують для всіх точок простору, що знаходяться в площині візуалізованого зрізу.

Результати сканування виготовлених зразків (рис. 6) показують, що фокусні плями імітаторів дефектів діаметром 1 мм чітко відрізняються між собою, тому чутливість контролю з УЗФР є достатньою для проведення неруйнівного контролю дефектів розміром від 1 мм. Однак, на рис. 6, в зображення від циліндричного відбивача, який розміщений на глибині 48 мм довжина якого на 10 мм менша від відбивача, що розташований вище, майже не вирізняється. Цей факт свідчить про те, що дефекти, які розміщені один під одним в процесі контролю в режимі лінійного сканування (ПЕП з прямою призмою) не виявляються, потрібно проводити додатковий контроль в режимі секторного сканування з використанням похилих призм.

Для підвищення інформативності контролю металоконструкцій був запропонований новий підхід до ультразвукового контролю з використанням УЗФР, який передбачає проведення таких етапів: 1 - проведення пошукового контролю за допомогою методу відбиття; 2 - контроль з УЗФР з когерентною обробкою інформації.

Метою пошукового контролю за допомогою луно-імпульсного ультразвукового контролю є виявлення в зварних з'єднаннях несцільностей з еквівалентною площею, що перевищує бракувальні значення, визначення їх кількості, координат розташування, умовних розмірів. В результаті контролю створюється карта дефектних ділянок, контроль яких здійснюється уже за допомогою УЗФР.

Ціль контролю за допомогою УЗФР - провести оцінку допустимості виявлених несцільностей і встановити тип та дійсні розміри дефектів. Результатом контролю з УЗФР є набір зображень поперечного перерізу ділянок контролю, в яких було виявлено несцільності при пошуковому контролі.

Після одержання набору зображень та експортування даних до ПК, проводиться обробка зображень за допомогою програми-аналізатора *Image J*, функції якого дозволяють реалізувати обробку зображень без необхідності розроблення складних алгоритмів чи дороговартісного програмного забезпечення, використовуючи при цьому звичний набір функцій. У випадку контролю зварного з'єднання на акустичне зображення додатково накладається контур зварного з'єднання та координатна сітка. Контур наноситься у відповідності до реальних геометричних розмірів зварного шва (товщина стінки, кут нахилу кромки і ін.). За допомогою нанесених об'єктів можна визначити координати розташування дефекту.

Для визначення реальних розмірів дефекту проводиться додаткове оцифрування акустичних зображень і обробка за допомогою програмного пакету. Кольорова шкала, що відображена на екрані дефектоскопу, символізує значення амплітуди перевищення сигналу відносно встановленого бракувального рівня. Чим вища амплітуда сигналу відбитого від несутцільності, тим фон фокусної плями є яскравішим. Визначення реального розміру дефектів відбувається шляхом нанесення контуру по периметру фокусної плями з метою визначення її площі. Значення площі нормується відповідно до типу перетворювача з УЗФР, кута, на якому виявлена несутцільність, і глибини залягання.

Для проведення експериментальних досліджень і формування відповідності акустичних зображень дефектам виготовлено дослідний зразок стикового зварного з'єднання (рис. 7) сталених пластин.

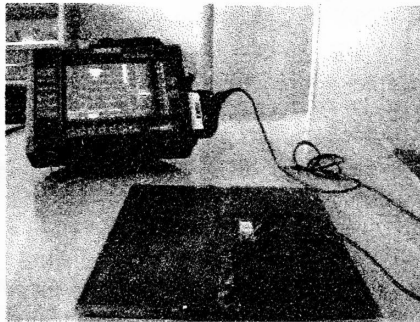


Рисунок 7 – Загальний вигляд досліджуваного зварного з'єднання

Дві пластини розміром 275×120 мм, товщиною 11 мм виготовлені з сталі 09Г2С і зварені за допомогою РДЗ. На зварний зразок нанесенні імітатори дефектів типу «порушення суцільності»: «несплавлення» (2,0×2,0 мм), «непровар» (2,0×3,0мм), «пора» (1,0×1,0мм). Контроль проводився за допомогою ультразвукового луно-імпульсного дефектоскопа Dio 562 і дефектоскопа УЗФР СИУІ CTS-602 з подальшим порівнянням результатів. Результати контролю подано в табл.1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень зварного з'єднання з штучними дефектами.

Імітатор дефекту	Реальні розміри		Dio 562		SIUI CTS-602	
	Розміри дефекту, мм	Глибина залягання, мм	Розміри дефекту, мм	Глибина залягання, мм	Розміри дефекту, мм	Глибина залягання, мм
«Несплавлення»	2,0×2,0	2,1	3,0×3,0	2,2	2,1×2,3	2,24
«Непровар»	2,0×3,0	7,0	2,0×2,0	6,8	2,4×2,9	7,22
«Пора»	1,0×1,0	1,0	2,0×1,0	1,8	1,2×1,1	1,64

В результаті контролю за допомогою розробленої методики отримано акустичні зображення порушень суцільності (рис. 8).

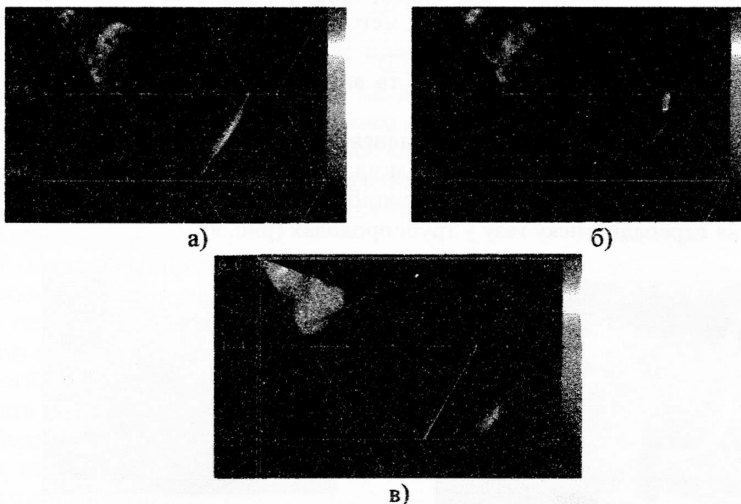


Рисунок 8 – Акустичне зображення «несплавлення» (а), «непровару» (б), «пори» (в)

Час контролю за допомогою луно-імпульсного дефектоскопу – 14 хв, а за допомогою дефектоскопу з УЗФР – 10 хв (у виконанні спеціаліста II рівня UT за ISO 9712). Згідно з табл. 1 результати контролю за допомогою розробленого методу дають досить точні результати, а за допомогою акустичного зображення можна визначити не тільки розміри, а й оцінити характер дефекту, що дає можливість передбачити можливість його росту.

Після опрацювання акустичних зображень виготовленого зразка і елементів трубопроводів зі зварними з'єднаннями, сформовані характеристики акустичних зображень для класифікації дефектів на пласкі та об'ємні. Характерними для плаского дефекту є:

- сукупність двох і більше незалежних «плям» червоного кольору розміщених на невеликій відстані одна від одної;
- зображення різної тригонометричної форми в сусідніх шарах (поперечних перерізах);
- затінення зображення геометричних відбивачів або інших несцільностей, розташованих далі за ним в напрямку поширення акустичного пучка;
- відношення дожини до ширини поперечного перерізу дефекту ≥ 4 .

Об'ємний дефект характеризується такими ознаками:

- форма зображення порушення суцільності схожа до кола, при переміщенні перетворювача на сусідніх шарах витягується в овал;
- дефект зазвичай не затінює зображення геометричних відбивачів та інших

несуцільностей, розташованих за ним в напрямку поширення акустичного променя;

- при зменшенні активної апертури зображення фокусної плями стає чіткішим;
- співвідношення дожини до ширини поперечного перерізу дефекту ≤ 3 .

У четвертому розділі представлена методика проведення експериментальних досліджень елементів промислових об'єктів за допомогою розробленого методу контролю з УЗФР і методики виявлення та визначення типу дефектів порушення суцільності.

Промислові дослідження проводилися на ДП "Укравтогаз". Об'єктом контролю вибрано зварні з'єднання посудини, що працює під тиском на АГНС-500, яка включена у вхідну лінію, за функціональним призначенням служить для збалансування перепадів тиску газу у трубопроводах (рис. 9).

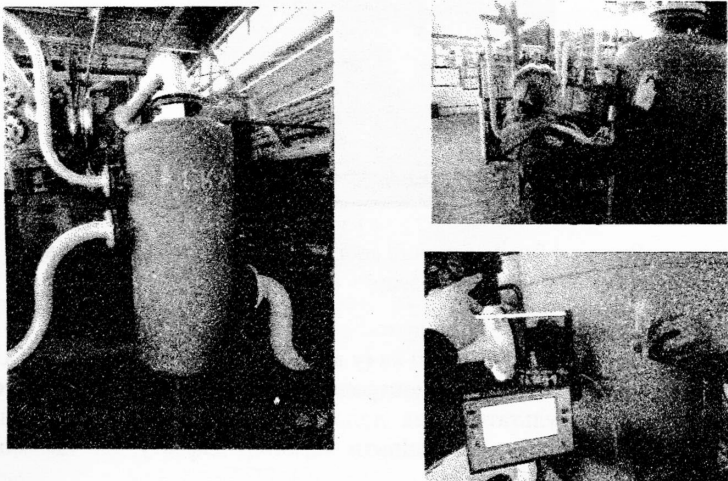


Рисунок 9 – Обстеження посудини СК-А за допомогою розробленої методики

Дослідження на обраному об'єкті проводились наступним чином. Для встановлення перетворювача обирається ділянка зварного з'єднання, яка була попередньо підготовлена для проведення ультразвукового контролю якості. Поверхню ділянки контролю покривають шаром контактної речовини для забезпечення акустичного контакту. В ролі контактної речовини використовувався солідол жировий Ж-2.

Для проведення пошукового контролю використовувався похилий сумішений перетворювач з робочою частотою 2,5 МГц і ультразвуковий імпульсний дефектоскоп DiO 562.

Для ідентифікації дефектів «порушення суцільності» зварного шва перетворювач перемищався за П-подібною схемою. Про наявність дефекту свідчить поява на екрані сигналу з амплітудою, що вища за встановлений бракувальний рівень. Визначалась глибина залягання дефекту і розміщення відносно осі шва.

Для визначення типу виявленого дефекту виконувався контроль за допомогою УЗФР. Дефектоскопію виконували за допомогою 16-елементного перетворювача 5,0L16-0.5-9 з робочою частотою 5,0 МГц з похилою призмою, що підключався до портативного дефектоскопа SIUI CTS-602. Перетворювач розміщувався перпендикулярно до осі з'єднання на відстані 18 мм і плавно переміщувався паралельно його осі. Діагностичною ознакою порушення суцільності у з'єднанні є поява на екрані дефектоскопа червоної «плями» (рис.10). В результаті контролю одержано акустичні зображення поперечного перерізу тестового зразка. До уваги приймалися ті зображення, амплітуда від виявленого дефекту в яких була найбільшою.

У процесі вимірювання було одержано акустичне зображення (рис. 10) поперечного перерізу дефекту і визначено, що в зварному з'єднанні присутній дефект типу «несплавлення». Розміри виявленого дефекту 1,5×2,5 мм на глибині 4,6 мм. Результати експериментальних досліджень підтвердили адекватність даної технології. Основна відносна похибка вимірювань за допомогою УЗФР і DIO 562 становить 5%, що є допустимим для даного виду вимірювань.

Додатково, апробацію проведено на ПАТ «Дрогобицькому машинобудівному заводі» на ємкостях для одоранту. Проведення цих робіт підтверджено актами промислової апробації.

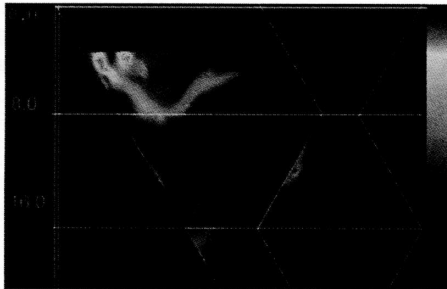


Рисунок 10 - Акустичне зображення виявленого дефекту

Результати виконання дисертаційного дослідження увійшли до діючого нормативного документу ПАТ «Укртранснафта» у вигляді Додатку Є СОУ 49.5-31570412-027:2015 Магістральні нафтопроводи. Нафтоперекачувальні станції, морські термінали. технічний огляд, експертне обстеження технологічного устаткування і трубопроводів. Методи та методики.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу сучасних вітчизняних і закордонних публікацій, а також стану технічного забезпечення діагностування, виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено актуальне науково-прикладне завдання у галузі удосконалення ультразвукових методів контролю з метою виявлення та

визначення типу і розмірів порушень суцільності шляхом розроблення і промислової апробації нового методу контролю, а саме:

1. Виконаний аналіз існуючих методів та засобів контролю металоконструкцій показав, що найбільш поширеним є акустичний контроль, недоліком якого є складність інтерпретації результатів контролю і недостатня кількість інформації про виявлений дефект, а саме його форму та дійсні розміри, що не дає можливості визначити ступінь його небезпеки для подальшої експлуатації металоконструкції. Обґрунтовано необхідність підвищення інформативності контролю та розроблення нового методу підвищення інформативності ультразвукового контролю для визначення типу і розмірів дефектів, застосування сучасних засобів контролю.

2. В результаті виконаних графо-аналітичних досліджень розроблено спосіб вибору параметрів ПЕП УЗФР, що дозволяють підвищити інформативність контролю УЗФР. Отримано аналітичну залежність для фокусування акустичної енергії на місце очікуваного дефекту для виявлення дефектів розміром від 1 мм. При групуванні дефектів, відстань між ними повинна бути не менше 2 мм для виявлення їх як окремих.

3. Розроблено новий метод оброблення дефектоскопічної інформації для визначення типів та розмірів дефектів, що полягає у опрацюванні акустичних зображень, за допомогою програмного пакету *Image J*, що дозволяє достовірно розрізнити найбільш поширені типи дефектів зварних з'єднань та визначити їх геометричні розміри з відносною похибкою до 5%.

4. Проведено експериментальні дослідження промислових об'єктів розробленим методом визначення типу дефектів металоконструкцій («непровар», «несплавлення», «пора») та визначення їх розмірів з похибкою 0,5 мм, що узгоджується із результатами теоретичних досліджень. Виконано порівняльні випробування розробленого та стандартного методів ультразвукової дефектоскопії в промислових умовах на діючих металоконструкціях тривалої експлуатації, яку рекомендовано застосовувати для виявлення та визначення типу дефектів трубних елементів діаметром від $DU \geq 80$ мм, посудин для зберігання газу та інших металоконструкцій, товщиною не менше 10 мм. Розроблена технологія увійшла до діючого нормативного документу ПАТ «Укртранснафта».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Попович О.В. Аналіз акустичних методів ідентифікації та визначення параметрів дефектів металоконструкцій //О.В. Попович, М.О. Карпаш / Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ/Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал, № 2(51).-2014.-С.141-148.

2. Попович О.В., Карпаш М.О. Технология фазированных решеток – современный метод идентификации дефектов металлоконструкций нефтегазовой промышленности. Научные известия. Научные известия “NDT days 2014” / SCIENTIFIC PROCEEDINGS. XXII (Болгария), №1 (150). – 2014. – С. 53 – 55.

3. O.Popovych. Advantages of ultrasonic phased array for corrosion inspection in oil and gas industry//O.Popovych, V.Popovych, M.Karpash/ Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. - №10.-2014.-С.576-578.

4. Попович О.В. Підвищення інформативності неруйнівного контролю в процесі діагностики елементів нафтогазової промисловості за допомогою технології фазованих решіток /Спеціальний випуск Scientific Journal Acta Universitatis Pontical Euxinus, Варна (*Болгарія*)-2015. - С.102-106.

5. Popovych O, Karpash M. Ultrasonic phased array application during technical diagnostics of oil and gas industry elements. Научные известия. Научные известия "NDT days 2015" / SCIENTIFIC PROCEEDINGS. XXIII (*Болгарія*), №2 (165). – 2015. – С. 26 – 28.

6. Попович О.В. Разработка методики оценки сварных соединений металлоконструкций с помощью ультразвуковых фазированных решеток. Научные известия "NDT days 2016" / SCIENTIFIC PROCEEDINGS. XXIV (*Болгарія*), №1 (187). – 2016. – С. 325 – 328.

7. Попович О.В. Методика вибору перетворювачів з фазованими решітками для визначення розмірів та форми дефектів /О.В. Попович, О.М. Карпаш, М.О. Карпаш// «Фізико-хімічна механіка матеріалів».-№3 (52). – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2016 – С. 126-132.

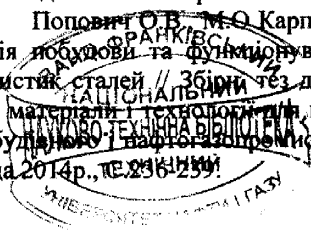
8. Попович О.В. Удосконалення ультразвукового методу контролю для визначення виду дефектів зварних з'єднань /О.В. Попович//Методи та прилади контролю якості.-2016.-№1(36) – С.10-16.

9. Проблеми і перспективи використання технології фазованих решіток в нафтогазовому комплексі/Попович О.В., Карпаш М.О./4-та науково-практична конференція студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (Івано-Франківськ,26-27 листопада 2013р.): Збірник тез доповідей. – Івано-Франківськ.-2013.-С.146.

10. Popovych O. Signal Processing Approach for Defect Classification Detected Using Ultrasonic Phased Array// Popovych O., Karpash M./11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), October 6-10, 2014, Prague, Czech Republic

11. Попович О.В. Фокусування ультразвукових променів лінійними перетворювачами з фазованими решітками// О.В. Попович, М.О. Карпаш, І.В. Рибіцький / Тези доповідей 7-ої Міжнародної науково-технічної конференції і виставки «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання». – 25 – 28 листопада. м. Івано-Франківськ. – 2014. – С.240-242

12. Попович О.В., М.О. Карпаш, О.М.Карпаш, Є.Р.Доценко, Н.Л.Тацакович. Концепція побудови та функціонування галузевої бази даних фізико-механічних характеристик сталей // Збірник тез доповідей 7-ої міжн. н/т конф. і вист. „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання”. – Івано-Франківськ, 25-28 листопада 2014р., с. 236-239!



13. Попович О.В., Карпаш М.О., Тацакович Н.Л., Яворський А.В. Проблеми впровадження науково-інноваційних заходів з енергоефективності на теренах України// М.О.Карпаш, Н.Л.Тацакович, А.В.Яворський, О.В.Попович/ Матеріали 4-ої міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика».-21-24 квітня, м.Івано-Франківськ.-2015-С.188-192

14. Попович О.В., Карпаш М.О., Тацакович Н.Л., Яворський А.В. Застосування технології фазованих решіток в процесі технічної діагностики вертикальних сталених резервуарів // О.В. Попович, Н.І. Карпуть, М.О. Карпаш/ Матеріали 4-ої міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика».-21-24 квітня, м.Івано-Франківськ.-2015-С.294-297

15. Попович О.В., Карпаш М.О., Тацакович Н.Л., Яворський А.В. Сучасний стан інноваційної системи та можливості її покращення // М.О.Карпаш, Н.Л.Тацакович, А.В.Яворський, О.В.Попович/ Матеріали 4-ої міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика».-21-24 квітня, м.Івано-Франківськ.-2015-С.327-331

16. Попович О.В., Жовтуля Л.Я. Новий підхід до ультразвукового контролю металоконструкцій // О.В. Попович, Л.Я. Жовтуля / Матеріали 14-ої міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи».- 22-23 квітня, Київ. – 2015 - С.192-193

17. Попович О.В., Карпаш М.О. Лінійне сканування з'єднань за допомогою перетворювачів з фазованими решітками// О.В. Попович, М.О. Карпаш/ Матеріали VIII міжнародної конференції молодих учених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології».-20-22.05.2015, смт Ворзель, Київська обл. – 2015. – С.191.

18. O.V. Popovych, M.O. Karpash. Development of ultrasonic phased array technology for identification weld defects and determination of their geometrical dimensions. Праці конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування», 21-24 вересня 2015, м. Тернопіль.-2015 – С.88-90.

19. Попович О.В., Жовтуля Л.Я. Підхід до технічного діагностування вертикальних сталених циліндричних резервуарів // О.В. Попович, Л.Я. Жовтуля / Матеріали 15-ої міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи».- 17-18 травня, Київ. – 2016 - С.163-164.

АНОТАЦІЯ

Попович О.В. Удосконалення акустичних методів визначення типів та розмірів дефектів 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, 2016.

Дисертація присвячена удосконаленню акустичних методів визначення типів та розмірів дефектів типу «порушення цілісності» металоконструкцій тривалої експлуатації.

Виконано аналіз фактичного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації і проблем, що виникають в процесі їх експлуатації, та методів контролю. Аналіз неруйнівних методів контролю для виявлення та визначення розмірів внутрішніх дефектів металоконструкцій показав, що ультразвукові методи контролю є найбільш інформативними, але потребують достатнього досвіду оператора для розшифрування результатів контролю.

Для оцінки технічного стану металоконструкцій, виявлення порушень суцільності і визначення їх типу та розмірів, необхідно підвищити інформативність ультразвукового контролю та спростити процес прийняття рішень, шляхом використання ультразвукових фазованих решіток (УЗФР) та когерентної обробки результатів контролю.

Проведено дослідження параметрів перетворювачів УЗФР, які забезпечують високу чутливість і підвищення продуктивності ультразвукового контролю для контролю металоконструкцій.

Проведено експериментальне підтвердження теоретичних досліджень підвищення чутливості та інформативності контролю за допомогою УЗФР. Розроблено методику визначення роздільної здатності та чутливості УЗФР.

Розроблено методику проведення експериментальних досліджень промислових об'єктів за допомогою розробленого методу контролю з УЗФР і методики виявлення та визначення типу дефектів порушення суцільності.

Ключові слова: ультразвуковий контроль, п'єзоелектричний перетворювач, ультразвукові фазовані решітки, класифікація дефектів, металоконструкції.

АННОТАЦИЯ

Попович О.В. Совершенствование акустических методов определения типов и размеров дефектов 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, 2016.

В первой главе выполнен анализ фактического состояния металлоконструкций долговременной эксплуатации и проблем, возникающих в процессе их эксплуатации, и методов контроля. Анализ неразрушающих методов контроля для выявления и определения размеров внутренних дефектов металлоконструкций показал, что ультразвуковые методы контроля являются наиболее информативными, но нуждаются достаточного опыта оператора для расшифровки результатов контроля.

Для оценки технического состояния металлоконструкций, выявление нарушений целостности и определения их типа и размеров, необходимо повысить информативность ультразвукового контроля и упростить процесс принятия

решений, путем использования ультразвуковых фазированных решеток (УЗФР) и когерентной обработки результатов контроля.

Второй раздел посвящен исследованию параметров преобразователей УЗФР, которые обеспечивают высокую чувствительность и повышение производительности ультразвукового контроля объектов сложной формы, в т.ч. трубных изделий. Проведено исследование основных параметров УЗФР (количество элементов, расстояние между ними, временные задержки). С целью выбора параметров УЗФР, обеспечивающие наивысшую концентрацию ультразвуковой энергии, генерируемой преобразователем и распространяется в определенном направлении было выполнено графоаналитического исследования акустического поля преобразователей с УЗФР.

Для определения характера влияния изменения количества пьезоэлементов в УЗФР на распределение ультразвуковой энергии проводились построение и исследование диаграммы направленности УЗФР.

В третьем разделе проведено экспериментальное подтверждение теоретических исследований повышения чувствительности и информативности контроля с помощью УЗФР. Разработан и изготовлен модельный образец сварного соединения с типичными дефектами нарушения целостности, проведены экспериментальные исследования и определены диагностические признаки объемных и плоских дефектов. Разработана методика определения разрешения и чувствительности УЗФР.

Для повышения информативности контроля металлоконструкций был предложен новый подход к ультразвуковому контролю с использованием УЗФР, результатом которого является получение и обработка двумерных изображений внутреннего объема изучаемого объекта, сформированные характеристики акустических изображений для классификации дефектов на плоские и объемные.

В четвертом разделе представлена методика проведения экспериментальных исследований промышленных объектов с помощью разработанного метода контроля с УЗФР и методики выявления и определения типа дефектов нарушения целостности.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, пьезоэлектрический преобразователь, ультразвуковые фазированные решетки, классификация дефектов, металлоконструкции

ABSTRACTS

Popovych O.V. Improvement of acoustic methods for determining the types and sizes of metal structures defects – Manuscript.

Dissertation for technical sciences candidate's degree in specialty 05.11.13 – Instruments and methods of control and composition of material determination, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2015.

The thesis is devoted to improvement of acoustic methods for determining the types and real sizes of defects in long term operation metal constructic

The analysis of the actual state of the hardware operation their use, and methods of control were conducted. Analysis (



an2617

methods for internal defects of steel structures detection and determination showed that ultrasonic control methods are most informative, but require sufficient experience of the operator to decrypt test results.

There is a need to improve ultrasonic testing information and simplify decision-making by using ultrasound phased arrays with coherent processing results and control to evaluate the technical condition of hardware, discontinuities detection and determine their type and size.

Research options of ultrasonic phased array provide high sensitivity and improved performance for metal construction control.

The experimental confirmation of theoretical studies sensitization and information content control through were held. The method of determining ultrasonic phased array resolution and sensitivity is proposed.

The method of experimental studies of industrial facilities using the proposed method of control with ultrasonic phased array and methods of detection and determination of such defects discontinuity were developed.

Keywords: ultrasonic control, piezoelectric transducer, ultrasonic phased array, defect classification, metal construction.
