

Наукове видання

Конференція проводилася з метою аналізу і вирішення проблем експлуатації і ефективного використання сучасних приладів та технологій при проведенні неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання.

В роботі конференції брали участь 105 представників різних промислових підприємств, академічних, вузівських та галузевих науково-дослідних і навчально-конструкторських установ України.

Збірник матеріалів доповідей містить 92 доповіді за результатами наукових і експериментальних досліджень з актуальних проблем технічних засобів для проведення неруйнівного контролю і технічної діагностики, а також з актуальних проблем приладобудування взагалі.

Збірник матеріалів доповідей розрахований на науковців, інженерно-технічних працівників промислових підприємств, підприємств приладобудівної галузі, аспірантів, студентів старших курсів напряму «Приладобудування» та спеціальності «Прилади і системи неруйнівного контролю».

Адреса та телефони оргкомітету: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ 76019, Україна, тел. (03422) 4-24-30, (0342) 72-71-68, факс (03422) 4-21-39.

E-mail: zarichna@nung.edu.ua, www.nung.edu.ua.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного і Програмного комітетів конференції.

Відповідальний секретар – Л. А. Витвицька
Технічне коригування – Б.В. Костів, В.Б. Біліщук.

В авторській редакції.

Збірник матеріалів доповідей 7-ої науково-технічної конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання» 25-28 листопада 2014р., м. Івано-Франківськ. – 2014. – 349с.

Видано на замовлення Організаційного і Програмного комітетів конференції.

<i>О.М. Карнаш, П.М. Райтер, М.О. Карнаш, А.В. Яворський</i> РОЗВИТОК МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ НА КАФЕДРІ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ І МОНІТОРИНГУ ІФНТУНГ.....	10
<i>І.С. Кісіль, З.П. Лютак, Ю.М. Кучірка</i> ОРГАНІЗАЦІЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ФАХІВЦІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ».....	17
<i>Р.М. Джала, І.Б. Івасів, Ю.В. Льницький</i> РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ДИФУЗНОГО ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИВІВ НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	22
<i>Л.С. Ожигов, С.В. Гоженко</i> ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА НАХОДЯЩЕГОСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АЭС.....	25
<i>Ю.К. Бондаренко, К.О. Артюх, Ю.В. Логінова</i> ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ДЛЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПО НК І ТД ТА ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ (ОБЗОР).....	30
<i>А.Г. Потаповский, Ю.К. Бондаренко</i> МОНІТОРИНГ РИСКА ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ У СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕМОНТА И МОНТАЖА, ПУТЕМ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ.....	38
<i>В.М. Учанін, М.В. Сидоренко</i> ВИХРОСТРУМОВИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНКИ ЗМІН СТРУКТУРИ ПІД ЧАС ШІПФУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ТЕПЛОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ.....	42
<i>V. Uchanin, G. Nardoni</i> EDDY CURRENT INSPECTION TECHNOLOGIES POSSIBLE TO DETECT SURFACE AND SUBSURFACE DEFECTS IN FERROUS STEEL.....	45
<i>О.Д. Близнюк, Ю.В. Куч, О.В. Монченко, Ю.А. Олійник</i> ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФАЗОВОГО СПОСОБУ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ.....	49
<i>В.П. Бабак, А.О. Запорожєць</i> ЦИФРОВИЙ АЛЬФА-ІНДИКАТОР КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНО-ПАЛИВНОЇ СУМІШІ КОТЛОАГРЕГАТІВ МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	53
<i>В.В. Скальський, Є.П. Почапський, Б.П. Клим, О.Г. Сімакович, Я.Д. Толокко</i> ВОСЬМИКАНАЛЬНА РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНА АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА СИСТЕМА.....	58
<i>Л.І. Криштопа, В.С. Криштопа</i> ЗАСТОСУВАННЯ ФОРМУЛ ГАРМОНІЙНОГО АНАЛІЗУ ПРИ СТВОРЕННІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НЕРУЙНІВНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ.....	63



Fig. 2 – The procedure of on-site inspection of gas turbine blades with long handle EC probe in Algeria

Conclusions

1) Three EC inspection problems very important for gas turbine maintenance were investigated:

- the possibility to detect defects with large clearance between probe and inspected surface;
- the possibility to detect defects through nonmagnetic aluminum (conductive) coating;
- the possibility to detect the subsurface defects in ferrous steel.

2) Investigations show a promising possibility to solve presented above problems with new double differential type EC probes application.

3) Double differential type EC probes demonstrate high sensitivity to surface and subsurface defects needed to be detected during gas turbine inspection. Even subsurface defects in ferrous steel can be detected without any magnetic saturation. Additional advantages of developed probes are high lift-off effect and structural noise suppression.

4) The developed double differential type EC probes were applied for detection of defects in blades and situated on sidewall of gas turbine holes. For this purpose special long handle EC probes and rotating head with double differential EC probe based on ELOTEST SR-1 rotor are developed.

5) Presented technologies were successfully applied for gas turbine maintenance in different countries.

References

1. Sameezadeh M. Farhangi H. *Fracture Analyzes of Generator Fan Blades // Applied Fracture Mechanics, Rijeka, INTECH, 2012, www.intechopen.com, pp. 311-330.*
2. Abassi W., Fair M., *Ultrasonic Phased Array Inspection of Turbine Components // 9th Europ. Conf. on NDT, Berlin, 2006 (www.ndt.net).*
3. Учанін В. М. *Вихроструміві накладні перетворювачі подвійного диференціювання. – Львів: Сполом, 2013. – 266 с.*
4. Uchanin V., Nardoni G., Bechini G. *Innovative design of eddy current probes for turbine blades monitoring through conductive coating // Prove non distruttive monitoraggio diagnostica. – 2013/ 23/26 Ottobre, – P. 21-24.*
5. Nardoni G., Uchanin V., Nardoni P., Nardoni D. *Detection of Surface and Subsurface Defects in Ferrous Steel Components and New Inspection Technologies Development // 11th Europ. Conf on NDT, Prague, 2014 (www.ndt.net).*

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФАЗОВОГО СПОСОБУ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ

О.Д. Близнюк¹, Ю.В. Куц¹, О.В. Монченко¹, Ю.А. Олійник²

¹Кафедра інформаційно-вимірювальних систем НАУ, galena79@mail.ru

² – НДТ Системз енд Сервісез Україна, oliyuk.y@gmail.com

Амплітудний та фазовий методи ультразвукової товщинометрії виникли і розвинулися в умовах, коли обробка інформаційних сигналів виконувалася за допомогою засобами аналогової техніки. Їх дія ґрунтується на використанні амплітудних та фазових детекторів, які мають суттєву інерційність, що обмежує можливість підвищення точності.

Сучасні методи цифрової обробки сигналів (ЦОС) дозволяють використовувати алгоритми практично необмеженої складності, формувати тестові сигнали більш складної структури, ніж сигнали з гармонічною несучою. Використання ЦОС дозволило реалізувати відому в навігації ідею [1] використання характерних точок (міток) сигналів для визначення затримки поширення у середовищі. Використання такого методу запропоновано і для розв'язку задач ультразвукового неруйнівного контролю [2].

Як відомо, при визначенні товщини об'єкта контролю (ОК) необхідно точно знати часову затримку τ донного сигналу і, з урахуванням швидкості c проходження ультразвукової хвилі в двох напрямках між поверхнею та дном ОК, товщина h останнього однозначно визначається формулою $h = c\tau/2$ [3].

Суть запропонованого в [2] методу полягає у формуванні акустичного зондуєчого сигналу, введенні його в ОК, прийманні сигналу після його відбиття в ОК, визначенні фазових характеристик (ФХ) зондуєчого і відбитого сигналів, обчисленні товщини об'єкту за часом затримки сигналу та швидкістю поширення сигналу, який відрізняється тим, що для формування акустичного зондуєчого сигналу використовують фазоманіпульований радіоімпульсний сигнал, а затримка поширення сигналу визначається як різниця часових положень стрибків фазових характеристик зондуєчого та відбитого сигналів. Однак практична реалізація даного способу потребує додаткових досліджень, спрямованих на з'ясування особливостей поширення фазоманіпульованих сигналів в електроакустичних трактах товщинометрів.

Метою досліджень є порівняльний аналіз працездатності різних типів спектральних перетворювачів (ПЕП) для практичного підтвердження можливості застосування особливостей ФХ фазоманіпульованих сигналів для точного визначення часових інтервалів в ультразвукових (УЗ) товщинометрах.

Проводиться вимірювання часу затримки поширення фазоманіпульованого

сигналу в електроакустичному тракці (ЕАТ) УЗ луно-імпульсних товщиномірів за умови одностороннього доступу до ОК та застосування суміщеного ПЕП.

Для збудження ПЕП, випромінювання УЗ сигналу і вимірювання затримки використовується фазоманіпульований сигнал виду:

$$u_s(t) = \begin{cases} U \sin 2\pi f t, & t \in [0, \tau_1] \\ -U \sin 2\pi f t, & t \in [\tau_1, \tau_2] \\ 0, & t \in [\tau_2, T_n] \end{cases} \quad (1)$$

де U – амплітуда сигналу, f – частота заповнення радіоімпульсу, τ_1 – момент маніпуляції фази, τ_2 – тривалість радіоімпульсу, T_n – час спостереження сигналу. Значення τ_1 вибирається кратним півперіоду сигналу, тобто $\tau_1 = n/2f$, де $n = 1, 2, \dots$, що забезпечує отримання максимального стрибка ФХ сигналів рівного π .

Необхідно експериментально підтвердити можливість використання стандартних ПЕП для передачі фазоманіпульованих сигналів в УЗ товщиномірах, провести експериментальні дослідження процесів поширення фазоманіпульованого сигналу в електроакустичному тракці УЗ товщиномірів та визначення часу затримки сигналу за його ФХ.

Принцип роботи ультразвукового товщиноміра з використанням фазоманіпульованих сигналів наведено в [4]. Дослідження виконувались на установці, структура якої наведена на рис.1, де позначено: 1 – генератор, 2 – ПЕП, 3 – ультразвуковий дефектоскоп типу Socomate USPC 3100 LA, який конструктивно виконаний у вигляді окремої плати, що встановлюється у слот материнської плати комп'ютера, 4 – персональний комп'ютер, 5 – програмне забезпечення.

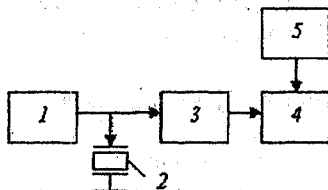


Рисунок 1 – Структура експериментальної установки

Умови проведення експериментальних досліджень:

1. Для вимірювання товщини використовуються поздовжні хвилі.
 2. Частота заповнення зонduючого радіоімпульсу – 5,0 МГц, його тривалість – 4 періоди несучого коливання.
 3. Затримка на поширення сигналу в ОК набагато більша за тривалість зонduючого імпульсу що унеможливило збіг в часі зонduючого та відбитого сигналів.
 4. Матеріал ОК не має дисперсії швидкості ультразвуку.
- Отримані експериментальні дані оброблялись в ПК за методикою обгрунтованою в роботі [4]. Ця методика передбачає:
- 1) формування зонduючого сигналу виду (1).
 - 2) приймання відбитого сигналу виду:

$$u_e(t) = \begin{cases} KU \sin 2\pi f(t - \tau_s), & t \in [\tau_s, \tau_s + \tau_1] \\ -K_r U \sin 2\pi f(t - \tau_r), & t \in [\tau_s + \tau_1, \tau_s + \tau_1 + \tau_2] \\ 0, & t \notin [\tau_s, \tau_s + \tau_1 + \tau_2] \end{cases}$$

— коефіцієнт ЕАТ, τ_s — час затримки сигналу;

3) визначення ФХ вимірюваного сигналу $u(t)$ [5], яке здійснюється на перетворення Гільберта

$$\tilde{\Phi}(t) = \arctg \frac{\hat{u}(t)}{u(t)} + K \left[u(t), \hat{u}(t) \right] \quad (2)$$

— гільберт-образ сигналу $u(t)$ [6], K — оператор розгортання фазової характеристики сигналу (ФХС) за межі інтервалу $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$.

4) визначення моментів стрибкоподібної зміни ФХ сигналу шляхом ренціювання різниці $\tilde{\Phi}(t) - 2\pi f$.

5) селекція інформативних стрибків ФХС за обвідною сигналу $u(t)$.

5.1) визначення обвідної $u(t)$.

$$A(t) = \sqrt{u^2(t) + \hat{u}^2(t)}. \quad (3)$$

5.2) формування стробів з використанням медіанної фільтрації функції

5.3) виділення за допомогою стробів ділянок ФХ сигналу, які містять інформативні стрибки цієї характеристики.

6) оцінка часу затримки сигналу за часовим положення стрибків ФХ зондуемого та відбитого сигналів.

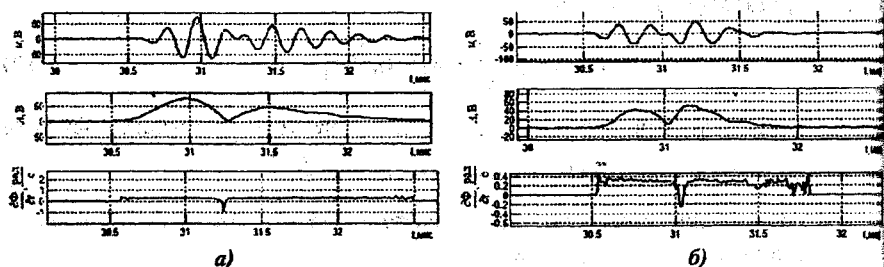
Виконані експериментальні дослідження підтвердили, що часове положення моменту стрибків фази сигналів з високою точністю відповідає моментам приходу зондуемого та відбитого ультразвукових сигналів. Отже знаючи часове положення стрибків фази відбитого сигналу відносно фази зондуемого сигналу можна оцінити час затримки на поширення звукового сигналу в ОК.

Для уточнення меж практичної реалізації запропонованого способу було проведено перевірку працездатності різних типів ПЕП. У складі експериментальної установки (рис.1) використовувались такі типи ПЕП: циліндричний п'єзоелектричний перетворювач з ЦТС-19, частота 5,0 МГц, діаметр циліндричної частини 24 мм (вузькосмуговий П211-5-П20 SN:41) та суміщений п'єзоелектричний перетворювач на базі композитної п'єзокераміки, частота 5,0 МГц, діаметр п'єзопластини 12,5 мм (широкосмуговий Panametrics C309-SU SN:2891).

Оброблювання отриманих в експерименті сигналів проводилось за своєю вище методикою. На рис.2 представлені фрагменти графіків сигналів з обох ПЕП та результати їх обробки.

Як видно з отриманих графіків, обвідна сигналу може бути використана для приближеної оцінки часового положення аналізованих сигналів і не дозволяє

виконати прецизійні вимірювання затримки. Натомість стрибки Фазоманіпульованих сигналів локалізовані в часі і дозволяють значно точніше визначати часову затримку сигналів. Проте обвідну сигналів можна додатково використати для формування стробів, за якими виділяють ділянки ФХ сигналів з її інформативними стрибками і блокують надходження неінформативних стрибків, викликаних можливим впливом шумів та завад.



а) – П211-5-П20 SN:41; б) – Panametrics C309-SU SN:7122891
Рисунок 2 – Результати співставного аналізу різних ПЕП:

Отримані результати показали, що:

- 1) Застосування методів цифрової обробки сигналів дозволяє впевнено виявляти стрибки ФХ фазоманіпульованого зонduючого сигналу після поширення без спотворення поширюються в ЕАТ УЗ товщиноміра.
- 2) Незважаючи на значне спотворення в ЕАТ товщиноміра форми фазоманіпульованого сигналу існує можливість виявлення стрибків ФХ сигналів, за яким визначають їх затримку на поширення в ОК.
- 3) Часове положення стрибків ФХС аналізованого сигналу відповідає моментам приходу відбитих радіоімпульсів, що дозволяє оцінити час затримки сигналів з високою точністю навіть за умови використання вузькосмугового ПЕП.

Точність вимірювання часової затримки визначається лише частотою дискретизації вимірюваного сигналу. За високого відношення сигнал/шум (більше 10) граничні значення похибки визначення τ , визначається частотою дискретизації сигналу f_d і дорівнює:

$$\Delta t_m = \pm \frac{1}{f_d}$$

Висновки

В доповіді розглянуто практичну реалізацію фазового способу ультразвукової товщинометрії, який ґрунтується на використанні модифікованого за допомогою фазової маніпуляції зонduючого сигналу визначенні часу його поширення в ОК за ФХ таких сигналів.

Проведені експериментальні дослідження запропонованого способу УЗ довели можливість передачі стрибків фазової характеристики зонduючого сигналу після його поширення в електроакустичному тракту товщиноміра дозволили перевірити методику подальшої обробки реальних вимірювань

за якою можна проводити прецизійне вимірювання часу затримки звукового сигналу та визначення товщини ОК.

Експериментально доведено можливість використання вулькосмугових для передачі/прийому фазоманіпульованих сигналів в ЕАТ УЗ вимірів.

Визначення часових інтервалів за стрибками ФХ фазоманіпульованих у випадку цифрової реалізації обробки сигналів, дозволяє зменшити вимірювання часових інтервалів до значень, співставних з періодом запису.

Література

1. Кинкулькин И.Е., Рубцов В.Д., Фабрик М.А. Фазовый метод измерения координат. – М.: Сов.радио, 1979. – 280 с. 2. Ю.В.Куц, В.Л.Найда, Олійник, О.В. Монченко Спосіб ультразвукового вимірювання товщини металів та виробів. – Пат. 79972. Бюл.№9, 13.05.2013 МПК (2006.01) Номер заявки: 2012 12606 Дата подання заявки: 05.11.2012. 3. Механіка руйнування і корозія матеріалів: Довідн. посібник/ Під. заг. ред. В.В. Панасюка. Т.9: Механіка довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій/ Остап, В.М.Федірко, В.М.Учанін, С.А.Бичков, О.Г.Моляр, О.І.Семенець, Яковець, В.Я.Дереча. Під ред. О.П.Осташа, В.М.Федірка. – Львів: Вид-во Львівського ун-ту, 2007. – 1068 с. 4. Куц Ю.В., Олійник Ю.А., Близнюк О.Д., Монченко В.В. Фазовий спосіб ультразвукової товщинометрії / Техническая диагностика разрушающий контроль. – К., 2013. – №1. – С.23-27. 5. Куц Ю. В. Метод фазометрії / Ю. В. Куц, Л. М. Щербак. – Тернопіль: В-во Тернопільського технологіч. ун-ту, 2009. – 383 с. 6. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с. – 471 с.

ЦИФРОВИЙ АЛЬФА-ІНДИКАТОР КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНО-ПАЛИВНОЇ СУМІШІ КОТЛОАГРЕГАТІВ МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

В.П. Бабак, А.О. Запорожець

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Підвищення ефективності спалювання газового та рідкого палива, зменшення викидів шкідливих речовин становлять актуальне питання для споживачів систем, де горіння великої кількості палива відбувається з надлишком повнотою та відносно низьким ККД. До цієї групи споживачів належать опалювальні котельні ЖКГ та промислових підприємств з котлами потужністю від 2 до 20 МВт.

Основною проблемою в області вдосконалення спалювання палива є необхідність одночасного вирішення складних і часто взаємовиключних завдань: підвищення економічності його згорання, зменшення рівня викидів