

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY  
INSTITUTE OF INFORMATION-DIAGNOSTICAL SYSTEMS  
DEPARTMENT OF COMPUTERIZED ELECTRICAL  
SYSTEMS AND TECHNOLOGIES



ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



„INTEGRATED INTELLECTUAL  
ROBOTECNICAL COMPLEXES“  
(IIRTC-2014)

7<sup>TH</sup> INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNICAL  
CONFERENCE

MAY 19-20<sup>TH</sup>, 2014  
KYIV, UKRAINE

COLLECTED ARTICLES

KYIV  
NAU  
2014

УДК 004:621+681.5(063)

## МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

### Голова:

Харченко В.П. проректор з наукової роботи, д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, м. Київ.

### Члени комітету:

Васильєв А.Й. д.е.н., доцент, Президент Інженерної академії України, заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної інженерної академії, м. Харків.

Власенко В.О. д.т.н., проф., каф. технології університету Опоя, Республіка Польща.

Гусєв Б.В. д.т.н., професор, Президент Міжнародної Інженерної академії та Російської Інженерної академії, член-кор. РАН, м. Москва.

Квасніков В.П. д.т.н., професор, зав. каф. комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ, м. Київ.

Радєв Х.К. д.т.н., професор, зав. каф. технічного університету, м. Софія, Болгарія.

Черновол М.І. член-кор. Національної аграрної академії України, д.т.н., проф., ректор Кіровоградського ІТГУ, м. Кіровоград.

Serhiy Kovela Ph.D., MBA, CTP Senior Lecturer, Department of Informatics and Operations Management Faculty of Business and Law Kingston University.

Yahya S.H. Khraisat Ph.D., Al-Balqa Applied University / Al-Huson University College, Irden, Jordan.

**ВІДПОВІДАЛЬНІ РЕДАКТОРИ:** Любченко В.В., Шелуха О.О. - аспіранти кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ.

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту інформаційно-діагностичних систем НАУ (протокол № 3 від 15 квітня 2014 р.)

### **Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2014).**

Сьома міжнародна науково-практична конференція 19-20 травня 2014 року, Київ, Україна. – К.: НАУ, 2014. – 382 с. (збірка тез)

Містить результати наукових, експериментальних та теоретичних досліджень учених та аспірантів.

Матеріали можуть бути корисними науковим співробітникам, інженерно-технічним працівникам, аспірантам та студентам старших курсів вузів, що спеціалізуються в галузі автоматизованих систем управління робототехнічних комплексів та прогресивних інформаційних технологій.

- Безвесильная Е.Н.** Повышение точности гироскопического измерителя навигационных параметров. 62
- Безвесільна О.М., Ткачук А.Г.** Система стабілізації авіаційної гравіметричної системи із п'єзоелектричним гравіметром 64
- Білан М.О., Квасніков В.П.** Аналіз методів зменшення експлуатаційних похибок. 67
- Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Сидорчук В.Е.** Лазерные измерители перемещений и вибраций с повышенной помехоустойчивостью. 69
- Васілевський О.М.** Градувальний метод визначення міжперервного інтервалу засобів вимірювань на основі міжнародних стандартів щодо вираження характеристик якості вимірювань. 72
- Voyevoda V.V., Drevetskyi V.V.** Rheological properties measurement of non-newtonian fluid. 76
- Воробюк С.П., Древецький В.В.** Система контролю показників якості замсу. 78
- Клепач М.М.** Реалізація алгоритмів оперативного навчання інтелектуальної системи для визначення якості автомобільних палив. 80
- Клепач М.І., Полюхович О.О.** Автоматизована система контролю температурного режиму днища скловарної печі 82
- Клепач М.І., Филичук Л.В., Сергійчук Р.М.** Автоматичне пов'язане регулювання параметрів рН та ЕН в процесі очищення стоків. 84
- Кошевой Н.Д., Михайлов А.Г., Приходько А.Я.** Моделирование работы микроэлектромеханического датчика линейных ускорений при воздействии помех. 86
- ✓ **Монченко О.В., Кравченко О.А.** Дослідження перетворювачів для діагностики стану печінки. 89
- Кромпляс Б.А., Шиндер Д.С., Зубенко А.М.** Корекція систематичних похибок в серійних цифрових вимірювальних перетворювачах електричних параметрів мереж змінного струму. 91
- ✓ **Куц Ю.В., Монченко О.В., Олійник Ю.А., Левківська В.В.** Прецизійне вимірювання товщини фазовим способом ультразвукової товщинометрії. 94
- Левченко І.В.** Неруйнівний контроль виробів з композиційних матеріалів методом вільних коливань. 97
- Лисуненко Н.О., Мокійчук В.М., Васильєв О.Д.** Вплив температури дослідження на ефективність роботи керамічної паливної комірки. 99
- Лубенська Т.В., Чупаха Л.Д.** Лінії кривини поверхні в просторі гіперболічної зв'язності. 101
- Маленко О.С.** Опіювання хвильових аберацій методом ронкі. 103
- Мальгин В.Д., Лысенко Ю.Ю.** Прибор для измерения дозы ионизирующего излучения на базе ос с открытым исходным кодом. 106
- Михалко М.В.** Контроль прецизійних деталей з використанням індуктивних датчиків. 108
- Охрименко К.Я., Манзюра А.В.** Демпфирование колебаний при уравнивании многомассовых роторных систем. 111
- Кутя В.М., Первхняк М.М.** Розробка автоматизованої системи регулю- 115

вання рН та ОВП при біологічному очищенні стічних вод.	
<b>Редько О.О.</b> Статистичне моделювання оцінювання робастних значень статистичних характеристик в умовах обмеженого обсягу даних	117
<b>Рудик А.В., Рудик В.А., Семенова О.О., Семенов А.О.</b> Аналіз зміни характеристик фільтра тоу при розкіді параметрів елементів схеми.	120
<b>Серєгіна Е.В., Степович М.А.</b> О некоторых возможностях использования рекурсивных тригонометрических функций при решении обыкновенных дифференциальных уравнений.	123
<b>Соколовська Г.В.</b> Статистичне оцінювання періоду випадкового процесу при малих відношеннях сигнал/завада.	125
<b>Тімакова Г.С.</b> Основи контрольних карт шухарта.	127
<b>Федориненко Д.Ю., Урліна А.А.</b> Технологічне забезпечення точності гідростатичної опори з пружними елементами корпусу.	129
<b>Філістєєв Д.А., Меркулов О.А., Шуригін О.В.</b> Забезпечення достовірності вимірювального контролю параметрів зразків озброєння та військової техніки при проведенні метрологічної експертизи.	132
<b>Христюк А.О.</b> Автоматичні системи контролю забруднення газових середовищ.	134
<b>Штовба Ю.А.</b> Контроль качества лабораторных исследований.	137
<b>Щербань А.П., Ларин В.Ю.</b> Контроль заряда аккумуляторной батареи бпла.	141
<b>Квасніков В.П.</b> Стабілізація руху вимірювальної головки трикоординатної івс механічних величин.	143
<b>Овчаров Ю.В.</b> Сложные сигналы в фазовых методах локационного распознавания.	145
<b>Ковальчук В.В., Міроненко С.В., Заїка Г.В., Смерж М.В.</b> Управління якістю тепловізійних зображень.	148
<b>СЕКЦІЯ 4 Енергетика, електротехнічні системи, світлотехніка</b>	150
<b>Ванецян С.Г., Дев'яткіна С.С.</b> Модернізація структури системи електропостачання аеродромних світлосигнальних вогнів.	151
<b>Васильєв В.В., Киркач Е.В.</b> Операционный метод S-преобразования в моделировании нелинейных динамических систем целого и дробного порядков.	154
<b>Гришин В.А.</b> Анализ систем регулирования напряжения магнитоэлектрического генератора.	157
<b>Дев'яткіна С.С.</b> Вплив відмов елементів світлосигнальної системи на параметри експлуатаційного мінімуму аеродрому.	161
<b>Зеленков А.А., Голик А.П.</b> Оценка влияния коррелированности измерений на точность результатов обработки информации.	164
<b>Квач Ю.М., Молчанов О.В.</b> Поламповий контроль світлосигнального обладнання аеродрому.	167
<b>Квач Ю.М., Киркач К.В., Молчанов О.В.</b> Візуальне розкриття світлосигнальної картини аеродрому.	169
<b>Квач Ю.М., Киркач К.В., Молчанов О.В.</b> Моніторинг світлосигнального обладнання аеродрому.	171
<b>Михайленко В.В., Абдулаєв С.А.</b> Математична модель напівпровідникового перегворювача трифазної напруги у постійну з високочастотним регу-	173

## ПРЕЦИЗИЙНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ФАЗОВИМ СПОСОБОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ

Куц Ю.В., д.т.н., О.В. Монченко, к.т.н., Ю.А. Олійник, В.В. Левківська

*Розглянуто фазовий спосіб ультразвукової товщинометрії та запропоновано шлях підвищення точності вимірювань використанням двошкільного методу вимірювань*

Вступ. При вимірюванні товщини матеріалів та виробів використовується відомий ультразвуковий (УЗ) луноімпульсний метод перуїнівного контролю (ПК), в якому товщина об'єкта контролю (ОК) визначається за відомою формулою  $h = c\tau/2$ , де  $c$  – швидкість поширення ультразвуку в матеріалі,  $\tau$  – часова затримка сигналу [1]. Цей метод має ряд недоліків (зокрема, наявність значної похибки, яка пов'язана з кінцевою тривалістю ультразвукового імпульсу і залежить від періоду коливань. В результаті дії випадкових чинників вимірювання часу поширення сигналу може бути виконано з похибкою що може сягати періоду коливань), шляхи усунення яких запропоновані в багатьох роботах, зокрема [2].

Основна частина. Одним зі способів підвищення точності вимірювань є фазовий спосіб ультразвукової товщинометрії (УЗТ), суть якого полягає у використанні фазоманіпульованих сигналів для прецизійного визначення часу затримки сигналів за їх фазовими характеристиками. За запропонованим способом формується фазоманіпульований акустичний зондуючий сигнал, а затримка поширення сигналу вимірюється як різниця часових положень стрибків фазових характеристик зондуючого та відбитого сигналів. Введення і отримання ультразвукового сигналу з ОК відбувається за допомогою сумішеного пізоелектричного перетворювача.

При моделюванні в системі Matlab формувався зондуючий радіоімпульсний сигнал виду:

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

де  $U$  – амплітуда сигналу,  $f$  – частота заповнення радіоімпульсу,  $\tau_1$  – момент маніпуляції фази,  $\tau_2$  – тривалість радіоімпульсу,  $T_H$  – період повторення радіоімпульсів.

Відбитий сигнал:

$$u_B(t) = \begin{cases} KU \sin 2\pi f(t - \tau_3), & t \in [\tau_3, \tau_3 + \tau_1] \\ -K_T U \sin 2\pi f(t - \tau_3), & t \in [\tau_3 + \tau_1, \tau_3 + \tau_2] \\ 0, & t \in [\tau_3 + \tau_2, T_H] \end{cases} \quad (2)$$

де  $K_T$  – коефіцієнт електроакустичного тракту [3],  $\tau_3$  – час затримки сигналу.

Фазова характеристика сигналу (ФХС) визначаються за допомогою перетворення Гільберта [4] за формулою:

$$\Phi = \arctg \frac{u(t)}{u(t)} + K \left[ u(t), u(t) \right], \quad (3)$$

де  $K$  – оператор, що усуває стрибки фази в точках переходу через границі інтервалів  $\left[ -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right)$ . Якщо використовується радіоімпульсний зондуючий сигнал з гармонічною несучою, фазова характеристика несотвореного сигналу є лінійною функцією часу виду  $\Phi(t) = 2\pi f t + \varphi_0$ ,  $\varphi_0$  – початкова фаза.

Після фазової маніпуляції фазова характеристика такого сигналу містить стрибок у момент часу, який відповідає виконанню маніпуляції. Цей момент оцінюється за положенням у часі максимуму похідної  $\frac{\partial \Phi(t)}{\partial t}$ .

Додатково може виконуватись стробування ФХС за обвідною аналізованого сигналу:

$$A(t) = \sqrt{u(t)^2 + u(t)} \quad (4)$$

Викладене вище підтверджують експериментальні результати, отримані під час вимірювання товщини.

Часове положення стрибків фаз відповідає моментам приймання зондуючого та відбитого імпульсів. Таким чином, визначаючи часове положення стрибків фаз зондуючого та відбитого сигналів можна визначити  $\tau_0$  – час поширення ультразвукового сигналу в ОК. Невідома товщина ОК розраховується за формулою  $h = \frac{c \tau_0}{2}$ .

При цьому виникла необхідність підвищити точність визначення часового моменту спотворення ФХС. Запропоновано використати двостаний підхід, що складається з визначення моменту стрибка  $f_1$  та більш точного моменту в околі стрибка  $f_2$ . Цю ідею було реалізовано в побудові фазового дальноміра з рознесеними частотами модуляції [5].

Частоті  $f_1$  відповідає значення фази  $\varphi_1$ , а частоті  $f_2 = \Phi_2$ . Виходячи зі виведеної пропорції:

$$\Phi_2 = \varphi_1 \frac{f_2}{f_1} = 2\pi m + \varphi, \quad (5)$$

Розв'язуючи отримане рівняння маємо:

$$\frac{\Phi_2}{2\pi} = n + \frac{\varphi}{2\pi} \rightarrow n + \left[ \frac{\Phi_2}{2\pi} \right],$$

з урахуванням уточнюючої фази маємо:  $n = \left[ \frac{\Phi_2 \pm \Delta\varphi_2}{2\pi} \right]$ .

Після виділення цілої частини періоду отримуємо точне значення місця знаходження стрибка ФХС:

$$n = \left[ \frac{\Phi_2 - \Delta\varphi_2 + \pi}{2\pi} \right] = \left[ \frac{\Phi_2}{2\pi} - \frac{\varphi_2}{2\pi} + 0,5 \right]. \quad (6)$$

Підставимо (6) в (5) і отримаємо кінцевий вираз для прецизійного визначення моменту спотворення модифікованої фази:

$$\Phi_2 = 2\pi n + \varphi_2.$$

Для розв'язання рівнянь необхідно застосовувати чисельні методи.

**Висновок.** В роботі проведено детальний аналіз фазового способу ультразвукової товщинометрії. Побудована його математична модель та проведено комп'ютерне моделювання в системі Matlab. В результаті проведених досліджень показано, що є можливість в майбутньому значно підвищити точність вимірювань товщини, якщо використовувати двокальній метод вимірювань на кшталт: «Грубо» - «Точно».

#### Список використаних джерел:

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібник/ Під. заг. ред. В.В. Панасюка. Т.9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій/ О.П. Остащ, В.М.Федірко, В.М.Учанін, С.А.Бичков, О.Г.Моляр, О.І.Семенець, В.С.Кравець, В.Я.Дереча. Під ред. О.П.Остаща, В.М.Федірка. – Львів: Вид-во «Слово», 2007.- 1068 с.
2. Куц Ю.В., Олійник Ю.А., Близнюк О.Д., Монченко О.В. Фазовий спосіб ультразвукової товщинометрії / Техническая диагностика и неразрушающий контроль.- К., 2013.- №1. - С.23-27.
3. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник / В.К. Цепенко, Ю.В. Куц. – К.: НТУУ «КПІ», – 2010. – 448 с.
4. Куц Ю. В. Статистична фазометрія / Ю. В. Куц, Л. М. Щербак. – Тернопіль: В-во Терноп. технологіч. ун-ту, 2009. – 383 с.
5. Беляевский В.С., Манах И.С. Некоторые особенности построения спектров модулера на лазерных диодах // Вісник національного технічного університету «КПІ» Серія «Приладобудування».- К., 2006. – Вып.32. – С.26-33.