



ISSN 1681-7710

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

Системи обробки інформації

Наукове
періодичне
видання

Випуск 7 (132)

—*—*—*—
ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ
В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

—*—
ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ
В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

—*—
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

—*—
ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

—*—
ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

—*—
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ

—*—
МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ,
ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

—*—
ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

—*—
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ

Харків
2015

Збірник наукових праць «Системи обробки інформації» заснований у 1996 році. У збірнику публікуються результати досліджень з розробки нових інформаційних технологій як для рішення традиційних задач збору, обробки та відображення даних, так і для побудови систем обробки інформації у різних проблемних галузях. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

- Голова:** СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків).
- Члени:** БАЙРАМОВ Азад Агахар Огли (д-р фіз.-мат. наук проф., Військова академія, Баку, Азербайджан);
БАРАНІК Володимир Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
БІЛЬЧУК Віктор Михайлович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
ВАРША Зігмунд Лех (PhD, Polish Metrological Society, Варшава, Польща);
ГОРОБЕЦЬ Микола Миколайович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);
ГОРОДНОВ В'ячеслав Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ДРОБАХА Григорій Андрійович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ЄВДОКІМОВ Віктор Федорович (д-р техн. наук проф., член-кор. НАНУ, ІПМЕ НАНУ, Київ);
ЄРМОШИН Михайло Олександрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ЗАХАРОВ Ігор Петрович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);
ІВАНОВ Віктор Кузьмич (д-р фіз.-мат. наук с.н.с., ІРЕ НАНУ, Харків);
КОНОВАЛЕНКО Олександр Олександрович (д-р фіз.-мат. наук проф., академік НАНУ, РІ НАНУ, Харків);
КОНОНОВ Володимир Борисович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук проф., ПНТУ, Полтава);
КУПЧЕНКО Леонід Федорович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
ЛОСЄВ Юрій Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович (д-р техн. наук доц., ХУПС, Харків);
ПОРОШИН Сергій Михайлович (д-р техн. наук проф., НТУ «ХПІ», Харків);
РАДЄВ Христо Кирилов (д-р техн. наук проф., Технічний університет, Софія, Болгарія);
РУБАН Ігор Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
СЕРБАНОВ Павло Степанович (д-р техн. наук проф., БДУ, Мінськ, Білорусь);
СМЕЛЯКОВ Кирило Сергійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
СМЕЛЯКОВ Сергій В'ячеславович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХУПС, Харків);
СМІРНОВ Євген Борисович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ТИМОЧКО Олександр Іванович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
ХАКІМОВ Ортағали Шарипович (д-р техн. наук проф., ДУ ЦНЕ, Ташкент, Узбекистан);
ХАРЧЕНКО В'ячеслав Сергійович (д-р техн. наук проф., НАКУ «ХАІ», Харків);
ШМАКОВ Олександр Миколайович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ЯРОШ Сергій Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків).

Відповідальний секретар: КОРОЛЮК Наталія Олександрівна (канд. техн. наук, ХУПС, Харків).

Адреса редакційної колегії: 61023, м. Харків, вул. Сумська, 77/79,
Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.
Телефон редакційної колегії: +38 (057) 704-96-53 (консультації, прийом статей).
E-mail редакційної колегії: info@hups.mil.gov.ua.

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Затверджений до друку Вченою Радою Харківського університету Повітряних Сил
(протокол від 16 червня 2015 року № 11).

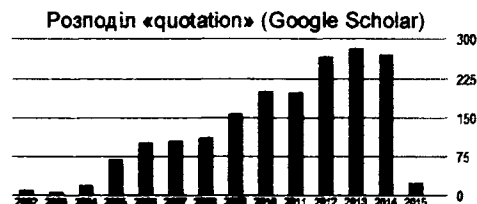
Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук",
(технічні та військові науки; затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528;
попередні постанови президії ВАК України: від 14.10.2009 р. № 1-05/4; від 9.02.2000 р. № 2-02/2)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Інформаційний сайт збірника: www.hups.mil.gov.ua.

Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ „Джерело”.

Видання індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: **Index Copernicus** (Польща, $ICV = 5,39$), **Google Scholar** (наукометричні показники – $quot. = 1972 / h = 12 / i10 = 26$).



З М І С Т

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

<i>Близнюк О.Д., Олійник Ю.А., Куц В.Ю., Куц Ю.В., Монченко О.В.</i> Використання ультразвукового двохшального способу для підвищення точності вимірювання товщини виробів	6
<i>Богданов О.В.</i> Залежність пружних коливань пакету від модуля Юнга внутрішнього шару при фототермоакустичному перетворенні	11
<i>Буданов П.Ф., Бровко К.Ю.</i> Просторово-часова модель інформаційного простору з фрактальною структурою	15
<i>Бударецький Ю.І.</i> Особливості реалізації радіолокаційного вимірювача параметрів руху для автоматизованих систем місцевизначення наземних рухомих об'єктів	20
<i>Величко О.М., Шевкун С.М.</i> Групове експертне оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювання ємності та індуктивності	25
<i>Воронько В.В.</i> Формальное представление единого информационного пространства сложного объекта управления с позиций аналитической геометрии при изготовлении авиационных конструкций	29
<i>Деденок В.П., Резников Ю.В., Карлов Д.В., Пичугин М.Ф., Степаненков Н.М., Журавский М.Н.</i> Методика оценивания параметров ионосферного канала при решении задач радиопеленгования и планирования сеансов связи в коротковолновом диапазоне частот	33
<i>Дідук В.А.</i> Комп'ютерна система автоматичного обліку спожитої рідини чи газу з живленням від вимірюваного сигналу .	37
<i>Красильников А.И., Полобиук Т.А.</i> Кумулянтный анализ акустических сигналов утечки жидкости в трубопроводе	41
<i>Курцева Л.Б., Єрьоміна Н.С., Шкоріна Ю.М.</i> Цифрова трьохмасова система управління швидкістю обертання і натягом багатодвигуновим электроприводом папірообмотувальної машини	45
<i>Лебедь В.Г., Калкманов С.А.</i> Математическая модель нелинейной аэродинамики вертолета одновинтовой схемы для задач моделирования динамики полета на вертолетных тренажерах	50
<i>Можжаев О.О., Баленко О.І.</i> Аналіз структури системи акустичного моніторингу	55
<i>Носков В.И., Мезентцев Н.В., Гейко Г.В., Липчанский М.В.</i> Метод определения гармонического состава фазного тока статора асинхронного двигателя в системах регулируемых приводов	59
<i>Слободянюк В.В.</i> Влияние вида развертки цифрового изображения на эффективность метода подавления шума, использующего технологию суррогатных данных	62
<i>Творошенко И.С., Мзєброва В.Р., Белый В.В.</i> Практические аспекты применения современных геоинформационных систем для создания муниципальной геоинформационной системы города Харькова	65

C O N T E N T

INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

<i>Bliznyuk O.D., Oliynyk J.A., Kutz V.J., Kutz J.V., Monchenko O.V.</i> The use of ultrasonic descaling method to improve the accuracy thickness measurement products	6
<i>Bogdanov O.V.</i> The dependence of the elastic vibrations package of young's modulus of the inner layer when photo thermo acoustic converting	11
<i>Budanov P.F., Brovko K. Yu.</i> Spatial-temporal model of information space with fractal structure	15
<i>Budaretskiy Y.I.</i> Implementation peculiarities of the radar meter of motion parameters for an automated detection systems of the ground moving objects	20
<i>Velychko O.M., Shevkun S.M.</i> Group expert evaluation of the state of the metrological assurance of measuring of capacity and inductance	25
<i>Voronko V.V.</i> Formal representation of single information space for complex subject of control on the basis of analytical geometry in the manufacture of aircraft structures	29
<i>Dedemok V.P., Reznikov Yu.V., Karlov D.V., Pichugin M.F., Stepanenkov M.M., Shuravskiy M.M.</i> Method of estimation of ionosphere channel parameters at the decision of tasks radio direction findings and planning of connection sessions in a short-wave range	33
<i>Didook V.A.</i> Computer system of automatic calculation of the consumption liquid or gas powered measured signal	37
<i>Krasil'nikov A.I., Polobiuk T.A.</i> Cumulant analysis of acoustic signals of fluid leak in the pipeline	41
<i>Kurceva L.B., Eremina N.S., Shkorina Yu.M.</i> Digital threemass control the system by speed of rotation and pull multimotive the electro mechanic of paper-lapping machine	45
<i>Lebed V.G., Kalkamanov S.A.</i> Mathematical models of nonlinear aerodynamics helicopter single-rotor scheme for the problem of modeling dynamics of flight on the helicopter simulators	50
<i>Mozhaev O.O., Balenko O.I.</i> Analysis of structure of acoustic monitoring system	55
<i>Noskov V.I., Mezentsev N.V., Gejko G.V., Lipchanskij M.V.</i> The method for determination harmonic content of induction motors stator phase current in the systems of variable speed drives	59
<i>Slobodyanuk V.V.</i> The analysis of the influence of the kind of scanning digital image on efficiency of the suppression noise method using surrogate data technology	62
<i>Tvoroshenko I.S., Mhebrowa V.R., Byeliy V.V.</i> Practical aspects of using modern geoinformation systems for creation of municipal geographic information system of Kharkiv	65

<i>Шушайський А.В.</i> Методика формування сигнально-кодкових конструкцій OFDM-сигналу в умовах впливу навмисних завад та селективних завмирань 71	<i>Shishatskiy A.V.</i> METHOD forming signal-code construction OFDM-signal in exposure conditions and selective fading 71
<i>Шуляк М.Л., Козлов Ю.Ю.</i> Вплив коливання швидкості руху машинно-тракторного агрегату на надійність технологічної операції 77	<i>Shuljak M.L., Kozlov Yu.Yu.</i> The impact of fluctuations speed tractor units the reliability of technological operations 77
ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	
<i>Сергунова О.В., Павленко М.А., Тимошко А.И., Воробьев Е.В.</i> Анализ методов моделирования деятельности оператора в системе "человек-машина" 80	<i>Sergynova O.V., Pavlenko M.A., Timochko A.I., Vorobjev V.E.</i> Analysis of modeling methods for the operator in the system "man-machine" 80
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ	
<i>Дубницький В.Ю., Ходырев А.И.</i> Определение относительной оценки тяжести хвоста распределения – уровня хвоста 83	<i>Dubnitskiy V.Yu., Khodyrev A.I.</i> Determination of relative estimate of the weight of distribution tail area -tail level 83
<i>Раскин Л.Г., Серая О.В.</i> Аналитическое описание функций принадлежности бинечетких чисел 93	<i>Raskin L.G., Sira O.V.</i> Analytical description of the be fuzzy numbers functions 93
<i>Романюк В.В.</i> Двошаровий перцептрон для класифікації масштабованих об'єктів з поворотом і зсувом за генеральної сукупності з 26 класів з монохромних зображень формату 60-на-80 за допомогою навчання на масштабованих зображеннях з поворотом і зсувом при піксельних спотвореннях 98	<i>Romanuke V.V.</i> Two-layer perceptron for classifying scaled-turned-shifted objects by 26 classes general totality of monochrome 60-by-80-images via training with pixel-distorted scaled-turned-shifted images 98
<i>Самитова В.А.</i> Отображение порядковых характеристик в цифровую шкалу на основе нечеткой кластеризации 107	<i>Samitova V.A.</i> Fuzzy clusterization of data in ordinal scale based on mapping ordinal feature values into numerical values 107
ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ	
<i>Громыко И.А.</i> Общая парадигма защиты информации: носители и среда распространения информации 111	<i>Gromyko I.A.</i> General paradigm of information protection: storages and information distribution medium 111
<i>Дяченко А.Ю.</i> Криптографічне хешування інформації на основі багатопараметричних моделей 115	<i>Dyachenko A.Yu.</i> Cryptographic hashing of information based on multivariate models 115
<i>Немцова О.А.</i> Біометрична ідентифікація у кіберпросторі 118	<i>Nemtcova A.A.</i> Biometric identification in cyberspace 118
<i>Поночовный Ю.Л., Боярчук А.В., Харченко В.С.</i> Модели готовности веб-системы с учетом программных отказов и атак на уязвимости конфигурации службы DNS 122	<i>Ponochovniy Yu.L., Boyarchuk A.V., Kharchenko V.S.</i> Availability models of web-system considering software faults and attacks on the configuration vulnerabilities of DNS 122
<i>Проценко О.А., Блюма А.В., Кожухівський А.Д.</i> Системний аналіз профілю захищеності відкритих інформаційних систем 128	<i>Procenko A.A., Bluma A.V., Kozhukhovskiy A.D.</i> System analysis of protection profile of the open information systems 128
<i>Рубан И.В., Смеляков С.В., Смирнов А.А., Бурковский В.С.</i> Анализ возможностей утечки информации в ИТКС при использовании протоколов транспортного уровня модели OSI в качестве стегоконтейнера 132	<i>Ruban I.V., Smelyakov S.V., Smirnov A.A., Burkovskij V.S.</i> Analysis of information disclosure in ITCN using the protocols of the transport layer of OSI model as steganographic container 132
<i>Туйчиев Г.Н.</i> О сети IDEA2m-m, состоящей из m раундовых функций и ее модификации 136	<i>Tuychiev G.N.</i> About network of idea2m-m, consisting of m round of functions and its modification 136
ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ	
<i>Баранник В.В., Рябуха Ю.Н.</i> Метод оценки информативности двухбазисного биадического представления контурированной видеопоследовательности 148	<i>Barannik V.V., Ryabukha Yu.N.</i> Method assessment of the information biadicaly presentation contoured video sequence 148
INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ORGANIZATIONAL SYSTEMS	
MATHEMATICAL MODELS AND METHODS	
INFORMATION SECURITY	
INFOCOMMUNICATION SYSTEMS	

<i>Бондаренко Н.А., Жилин В.А.</i> Разработка проекта для создания нового класса Color и элемента управления TextBox с новым свойством Symbols в системе объектно-ориентированного программирования	154	<i>Bondarenko N.A., Zhilin V.A.</i> Development of project for creation of new class of Color and custom of TextBox control with new property of Symbols in system of the objective-oriented programming	154
<i>Вовченко В.В.</i> Статистическая оценка потерь в каналах связи стандарта LTE и LTE-Advanced на базе технологии MIMO	159	<i>Vovchenko V.S.</i> Statistical estimation of losses in communication channels of standard LTE and LTE-advanced on the basis of technology MIMO	159
<i>Лосев Ю.И., Шматков С.И., Руккас К.М., Олоту Олуватосин Д., Малышко Ю.М.</i> Модель управления сетевыми ресурсами распределенной информационной системы в условиях неопределенности на основе использования искусственного интеллекта ..	164	<i>Yu.I. Losev, S.I. Shmatkov, K.M. Rukkas, D. Olotu Oluwatosin, Yu.M. Malysheko</i> Model of distributed network resources information system in conditions of uncertainty on the basis of the use of artificial intelligence	164
<i>Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Ілченко О.П., Матко В.П.</i> Оптический доступ наступного покоління на основі конвергентних рішень	169	<i>Slyusar I.I., Slyusar V.I., Ilchenko O.P., Matko V.P.</i> Optical access next generation converged solutions	169
<i>Шабанов-Кушнаренко С.Ю., Мамедов А.А.</i> Построение предикатной модели процесса формирования программной архитектуры	174	<i>Shabanov-Kushnarenko S.Yu., Mamedov A.O.</i> Construction of the software architecture formation predicate model	174
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ		INFORMATION TECHNOLOGIES IN MEDICINE	
<i>Сайковская Л.Ф.</i> Использование корреляционного метода для оценки текущего состояния оператора зрительного профиля ..	178	<i>Saikivska L.F.</i> Use of correlation methods to assess the current condition of visual type operator	178
<i>Соловьева О.И.</i> Статистический анализ экспериментальных данных для компьютерной системы ранней диагностики	182	<i>Solov'eva O.I.</i> Statistical analysis of experimental data for computer system of early diagnostics	182
МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ, ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ		MODELING IN ECONOMICS, INDUSTRIAL ENGINEERING AND PROJECT MANAGEMENT	
<i>Лемешко Т.А.</i> Управління якістю проектів вищої освіти в корпоративній інформаційній системі	186	<i>Lemeshko T.A.</i> Quality management of higher education projects in the corporate information system	186
ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ		EMERGENCY PREVENTION AND LIQUIDATION	
<i>Бабак С.В.</i> Мониторинг окружающей среды АЭС с использованием систем видеонаблюдения и измерения мощности экспозиционной дозы на базе беспилотного авиационного комплекса	190	<i>Babak S.V.</i> Monitoring of NPP environment using video surveillance and exposure dose measurement systems on the basis of Unmanned Aerial Complex	190
<i>Глухова Н.В., Пісоцька Л.А., Кучук Н.Г.</i> Метод оцінки біологічних та квантових властивостей води	195	<i>Glukhova N.V., Pesockaya L.A., Kuchuk N.G.</i> Method of assessment of biological and quantum properties of water	195
<i>Горбов О.М., Іохов О.Ю., Новикова О.О.</i> Метод оцінювання рівня захисту сегменту діяльності сил охорони правопорядку	201	<i>Gorbov O.M., Iochov O.Yu., Novikova O.O.</i> Method for estimating the level of protection segment activities of the security forces	201
<i>Шевченко Р.І.</i> Розробка методу критичних та ускладнюючих сигналів для формування інформаційного фільтру підсистеми збору та контролю стану об'єктів моніторингу надзвичайних ситуацій	204	<i>Shevchenko R.I.</i> Method development and critical complicating signal filter for formation of information collection and control subsystem of monitored emergencies	204
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ		TOPICAL TRAINING ISSUES	
<i>Барашев К.С., Кирвас В.А.</i> Информационная система рейтинговой оценки профессиональной деятельности преподавателей вузов ..	210	<i>Barashev K.S., Kirvas V.A.</i> Information system of rating evaluation of professional activities university teachers	210
<i>Калиниченко О.В., Козел Р.Д., Лецинский В.А., Лещинская И.А.</i> О модульно-рейтинговом контроле знаний студентов	213	<i>Kalymychenko O.V., Kozel R.D., Leschynskiy V.A., Leshchynskaya I.A.</i> About the module-rating students' knowledge control	213
Наші автори	217	Authors	217
Алфавітний покажчик	220	Alphabetical Index	220

Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 620.179.16

О.Д. Близнюк¹, Ю.А. Олійник¹, В.Ю. Куц², Ю.В. Куц¹, О.В. Монченко¹

¹ Національний авіаційний університет, Київ

² Національний технічний університет України «КПІ», Київ

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДВОШКАЛЬНОГО СПОСОБУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ВИРОБІВ

Розглянуто особливості використання ультразвукового двошкального способу вимірювання товщини виробів. Значення товщини, отримане за результатами аналізу часу поширення фазоманіпульованого сигналу в об'єкті контролю уточнюється за даними вимірювань фазових зсувів гармонічної несучої цих сигналів.

Ключові слова: ультразвукова луна, імпульсна товщинометрія, двошкальний спосіб вимірювання, фазова характеристика сигналу.

Вступ

Точність вимірювання товщини h виробів ультразвуковим лунаїмпульсним методом неруйнівного контролю (НК) суттєво залежить від точності визначення часової затримки τ поширення ультразвукового імпульсу в об'єкті контролю (ОК) [1]. За відомої швидкості c поширення ультразвукових хвиль в матеріалі ОК вона визначається як

$$h = 0,5 \cdot c \cdot \tau. \quad (1)$$

Різні варіанти реалізації ультразвукової лунаїмпульсної товщинометрії відрізняються способами визначення τ . Найбільш поширеним є спосіб вимірювання τ за обвідними донних імпульсів [1].

В роботах [2, 3] представлено фазовий спосіб вимірювання часової затримки сигналів в ультразвукових товщиномірах, який ґрунтується на використанні особливих точок сигналів [6]. Такі особливі точки в [2, 3] формуються за рахунок фазової маніпуляції несучої імпульсного сигналу. Сутність представленого способу полягає у вимірюванні τ за моментами стрибкоподібної зміни (далі – стрибками) фазової характеристики (ФХ) донних сигналів.

Певним недоліком даного способу, що обмежує його використання на практиці, є низька заводозахищеність: у випадку дії у вимірювальному каналі шумів часове положення особливих точок фазоманіпульованого сигналу може коливатись в певних межах і вносити суттєву похибку в результат вимірювання затримки сигналу. В той же час існує можливість підвищити точність визначення затримки за рахунок вимірювання і врахування значення усередненого фазового зсуву несучої донних сигналів.

Відомі двошкальні способи прецизійного вимірювання фазового часу затримки сигналів [4], метод ноніуса для визначення фазових зсувів сигналів [5], які потребують виконання вимірювань на різних частотах, що не завжди можна реалізувати технологічно для ультразвуку. Крім того, необхідно додатково враховувати фазовий зсув, який вноситься електроакустичним трактом (фазовий зсув перетворювача, дисперсійність середовища ОК, фазовий зсув пристроїв оброблювання тощо) на кожній робочій частоті.

Представлений в [4] багатошкальний спосіб вимірювання фазового часу затримки сигналів полягає в тому, що за допоміжним вимірюванням фазового зсуву сигналів φ_n на низькій частоті f_n тестового сигналу визначають число цілих фазових циклів n , яке міститься у повному фазовому зсуві сигналів високої частоти f_b , який відповідає часу затримки сигналу τ . Значення f_n вибирається з умови однозначності результату вимірювання фазових зсувів, тобто з умови $\varphi_n = 2\pi f_n \tau < 2\pi$.

Результат вимірювання затримки сигналу на високій частоті представляється виразом:

$$\tau_\Phi = f_b^{-1} \left(n + \frac{\hat{\varphi}_b}{2\pi} \right), \quad (2)$$

де φ_b – виміряне значення фазового зсуву сигналів частотою f_b , $0 \leq \varphi_b < 2\pi$. Число n обчислюється за виразом:

$$n = \left[\frac{\hat{\varphi}_n f_b}{2\pi f_n} - \frac{\hat{\varphi}_b}{2\pi} + 0,5 \right], \quad (3)$$

де $[\cdot]$ – операція виділення цілої частини числа.

Цей спосіб має обмеження для використання в ультразвуковій товщинометрії, оскільки потребує виконання фазових вимірювань в широкому діапазоні частот. Чим більше товщина вимірюваного ОК, тим нижчою повинна бути частота f_n для однозначного вимірювання φ_n . З іншого боку, прагнення підвищення точності вимірювання передбачає підвищення частоти f_b . Разом це призводить до розширення частотного діапазону сигналів, в той час як ультразвукові перетворювачі працюють в обмеженому частотному діапазоні.

Тому метою досліджень є удосконалення способу ультразвукової луна імпульсної товщинометрії, який ґрунтується на використанні імпульсних сигналів з фазоманіпульованою гармонічною несучою шляхом розробки прецизійного двошкального фазового способу вимірювань часової затримки ультразвукових сигналів в електроакустичних трактах ультразвукових товщиномірів на одній робочій частоті.

Постановка задачі. Вимірюється товщина h виробу ультразвуковим лунаімпульсним методом. Швидкість c поширення ультразвукових хвиль в матеріалі виробу вважається відомою. Доступним дослідженню є фазоманіпульований сигнал з гармонічною несучою відомої частоти f , який поширюється в електроакустичному тракті товщиноміра. Необхідно проаналізувати двошкальний фазовий метод ультразвукового прецизійного вимірювання h на основі більш повного врахування особливостей ФХ інформаційних фазоманіпульованих сигналів.

Розв'язок поставленої задачі

Ідея способу вимірювання h полягає у наступному. Для визначення часової затримки τ формується фазоманіпульований акустичний зонduючий сигнал виду:

$$u(t) = \begin{cases} U(t) \sin 2\pi ft, & t \in [0, \tau_1], \\ -U(t) \sin 2\pi ft, & t \in [\tau_1, \tau_i], \\ 0 & t \in [\tau_i, T_n] \end{cases} \quad (4)$$

де $U(t)$ – обвідна сигналу, f – частота заповнення радіоімпульсу, τ_1 – момент маніпуляції фази, τ_i – тривалість радіоімпульсу, T_n – період повторення радіоімпульсів.

Для прийнятих донних сигналів визначаються їх фазові характеристики і за положенням в часі стрибків цих характеристик визначається часова затримка τ_3 [2, 3].

Для уточнення значення часового інтервалу виконується вимірювання фазового зсуву несучої радіоімпульсного сигналу відносно опорного сигналу $u_0(t)$ (без маніпуляції) на початку і в кінці вимірюваних часових інтервалів, а уточнене значення часової затримки $\hat{\tau}$ отримується розрахунковим шляхом.

Запропонований двошкальний спосіб визначення τ реалізується таким чином:

- за «грубою» шкалою вимірюється однозначне (але зі значною можливою похибкою) значення τ за стрибками ФХ донних сигналів;
- за «точною» шкалою здійснюється прецизійне вимірювання частки τ в межах напівперіода несучої;
- виконується узгодження отриманих результатів і обчислення оцінки $\hat{\tau}$.

Суть двошкального методу проілюстровано на рис. 1.

Цим методом передбачено визначення τ і фазових зсувів $\Delta\varphi$ сигналів на одній методологічній основі – через ФХ донних сигналів з фазоманіпульованою несучою.

Після поширення в ОК донний сигнал поступає на дефектоскоп, де аналого-цифровий перетворювач формує вибірки зонduючого і донних сигналів $u[j]$.

Дискретна ФХ сигналу визначається за допомогою дискретного перетворення Гільберта [7] за формулою:

$$\Phi[j] = \arctg \frac{\hat{u}[j]}{u[j]} + K [\hat{u}[j], u[j]], \quad (5)$$

де $\hat{u}[j]$ – гільберт-образ сигналу $u[j]$, K – оператор розгортки ФХ сигналів за межі інтервалу $[0, 2\pi)$.

ФХ фазоманіпульованого сигналу містить стрибки у моменти часу, які відповідають виконанню маніпуляції несучого коливання. Часове положення стрибків ФХ сигналів визначається за її похідною $\frac{d\Phi(t)}{dt}$.



Рис. 1. Структурно-логічна схема двошкального методу ультразвукової лунаімпульсної товщинометрії

Ці стрибки з метою підвищення достовірності результатів вимірювання можуть бути виділені за допомогою стробування ФХ допоміжними імпульсами, отриманими з обвідної аналізованого сигналу:

$$A[j] = \sqrt{u^2[j] + \hat{u}^2[j]}. \quad (6)$$

Грубе значення затримки визначається як часовий інтервал τ_3 . Значення цього інтервалу вимірюється з похибкою, спричиненою дією шуму, що супроводжує процес випромінювання, поширення в ОК і прийому ультразвукового сигналу.

В досліджуваному способі ультразвукової товщинометрії часова затримка τ визначається як фазовий час поширення сигналу в ОК:

$$\hat{\tau} = \left(n + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \frac{1}{f}. \quad (7)$$

Значення часу затримки в періодах несучого коливання n/f визначається через вимірювання часового інтервалу між стрибками ФХ сигналу. Уточнююче значення затримки визначається на основі вимірювання фазового зсуву сигналів $\Delta\varphi$ в кінці і на початку цього інтервалу, яке здійснюється

відносно фази Φ_0 гармонічного сигналу несучої (рис. 1):

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f}. \quad (8)$$

Узгодження з $\frac{\Delta\varphi}{2\pi}$ значення кількості фазових циклів відбувається за формулою:

$$n = \left[f\tau_3 - \frac{\Delta\varphi}{2\pi} + 0,5 \right]^+. \quad (9)$$

З урахуванням відомої швидкості c поширення ультразвуку в ОК, товщина ОК визначається за формулою:

$$h = \frac{c}{2f} \left(n + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) = \frac{c}{2f} \left(\left[f\tau_3 - \frac{\Delta\varphi}{2\pi} + 0,5 \right]^+ + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right). \quad (10)$$

Структура програмно-апаратної реалізації ультразвукового двошкального способу вимірювання товщини виробів наведена на рис. 2.

Підтвердження працездатності запропонованого способу проведено шляхом комп'ютерного вимірювального експерименту.

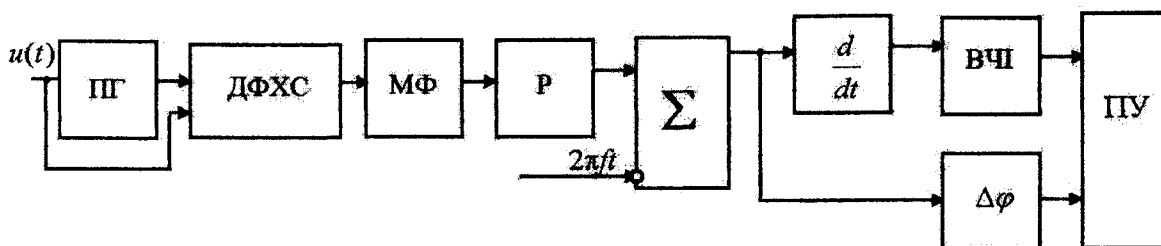


Рис. 2. Структура програмної реалізації процесу оброблення сигналів в ультразвуковому двошкальному способі вимірювання товщини виробів

Результати моделювання

Моделювання виконувалось у три етапи:

1) моделювання одношкального способу визначення часової затримки. На цьому етапі отримувалось грубе значення часової затримки τ_3 ;

2) моделювання процесу вимірювання фазового зсуву сигналів $\Delta\varphi$ (моделювання вимірювань за уточнюючою шкалою);

3) узгодження грубого і уточнюючого значення затримки та формування результату.

У проведеному модельному експерименті формувался радіоімпульсний сигнал з фазоманіпульованою несучою тривалістю чотири періоди несучого коливання з параметрами:

$$U = 5 \text{ В}, f = 5 \text{ МГц},$$

$$\tau_1 = 2T, \tau_2 = 4T,$$

$$K_T = \frac{1}{7}, \tau_3 = 12T,$$

де $T = 1/f$ – період заповнення сигналу, K_T – коефіцієнт електроакустичного тракту товщиноміра.

Результати моделювання процесу оброблення сигналів в структурі рис. 2 наведені на рис. 3.

Зондуючий та донний імпульси зображені на рис. 3, а.

На рис. 3, б представлена розгорнута ФХ (б) прийнятого сигналу, яка отримана таким чином.

Після визначення в блоці перетворення Гільберта (ПГ, рис. 2) гільберт-образу сигналу $\hat{u}[j]$ в блоці ДФХС (дискретна фазова характеристика сигналу) отримують оцінку дробової частини ФХ сигналу, тобто частини ФХ сигналу в межах інтервалу $[0, 2\pi)$. Остання може бути спотворена неінформативними стрибками, які викликані дією шуму і мають властивості імпульсної завади. З метою фільтрації дробової частини ФХ сигналу в структуру на рис. 2 включений медіанний фільтр (МФ) [8]. Роз-

горнуту ФХ сигналу отримують в блоці розгортання (Р). В суматорі Σ з отриманої ФХ сигналу вилучається лінійний тренд, тобто визначається різниця $\Delta\Phi = \Phi[j] - 2\pi f T_d j$, де T_d – період дискретизації сигналу. Графік цієї різниці після диференціювання в блоці $\frac{d}{dt}$ представлено на рис. 3, в. Селекція стри-

бків ФХ сигналу, за якими визначається τ_3 , може бути виконана за обвідною сигналу, яка визначається за виразом (6) і графік якої представлений на рис. 3, г (в структурі на рис. 2 блок селекції відсутній). У вимірювачі часових інтервалів (ВЧІ) відбувається визначення τ_3 за попередньо виділеними стрибками ФХ сигналу (рис. 3, д).

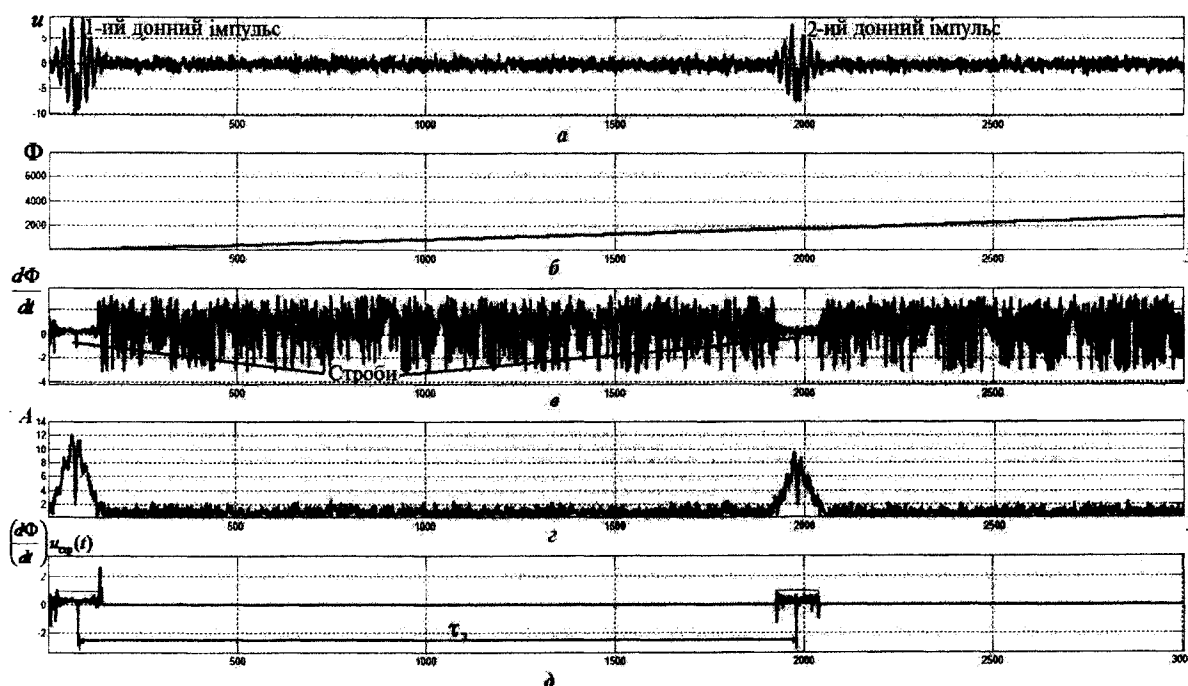


Рис. 3. Результати моделювання двоскального способу ультразвукової товщинометрії

Усереднене значення фазових зсувів $\Delta\Phi$ несучої отримують в блоці $\Delta\Phi$. Отримані значення τ_3 та $\Delta\Phi$ поступають на пристрій узгодження (ПУ), який визначає суму $\left(n + \frac{\Delta\Phi}{2\pi}\right)$. Після цього значення товщини h обраховується за формулою (10).

В проведених експериментальних дослідженнях цього способу введення в об'єкт контролю і отримання ультразвукового сигналу відбувалось за допомогою суміщеного п'єзоелектричного перетворювача.

Структура експериментальної установки для дослідження запропонованого способу ультразвукової товщинометрії наведена на рис. 4.

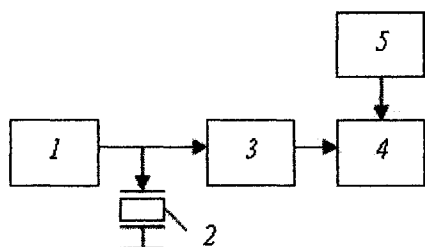


Рис. 4. Структура експериментальної установки

Експериментальна установка містить:

- 1 – програмований генератор сигналів;
- 2 – суміщений п'єзоелектричний перетворювач типу П211-5-П20;
- 3 – одноканальний дефектоскоп Socomate USPC 3100 LA;
- 4 – персональний комп'ютер;
- 5 – програмне забезпечення.

Окремо було виконано дослідження амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) перетворювача. Таке дослідження виконане за допомогою цифрового осцилографа типу Tektronix TDS 2002C.

Отриманий графік АЧХ наведено на рис. 5. З цього графіка визначено, що смуга пропускання перетворювача на рівні -6 дБ становить $3,75$ МГц.

На стенді (рис. 4) було експериментально підтверджено можливість передавання через електроакустичний тракт товщиноміра фазоманіпульованих сигналів без порушення їх структури.

Для заданих вихідних параметрів і умов проведення експериментів використання двоскального способу вимірювання товщини ОК привело до зменшення абсолютної похибки вимірювання часової затримки τ на $(2 \div 3) T_d$.

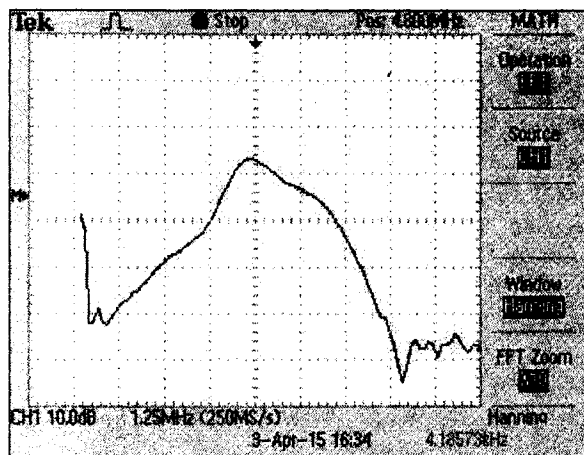


Рис. 5. АЧХ перетворювача ПІ211-5-ПІ20

Висновки

В статті проаналізовано використання ультразвукового двошкального фазового способу вимірювання товщини виробів.

Перевагою досліджуваного способу є те, що і грубе, і уточнююче значення часового інтервалу визначається за фазовою характеристикою зондуючих сигналів без зміни частоти несучої, що не потребує розширення робочої смуги частот товщиноміра.

Виконані комп'ютерні обчислювальні експерименти на заданих моделях сигналів дозволили відпрацювати програмну реалізацію процесу оброблення фазоманіпульованих сигналів і підтвердити ефективність двошкального фазового способу ультразвукової товщинометрії для підвищення точності визначення затримки інформаційних сигналів, які спостерігаються на фоні адитивних шумів. Абсолютна похибка вимірювання часової затримки знижена на $(2 \div 3)T_d$.

Виконані експериментальні дослідження довели можливість поширення фазоманіпульованих сиг-

налів в електроакустичному тракці ультразвукового товщиноміра і можливість уточнення затримки шляхом врахування фазових зсувів несучої імпульсних сигналів.

Список літератури

1. *Неразрушающий контроль и диагностика: справочник* / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; под ред. В.В. Клюева. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
2. Пат. 79972 Україна, МПК G01B 17/02 Спосіб ультразвукового вимірювання товщини матеріалів та виробів / Ю.В. Куц, В.Л. Найда, Ю.А. Олійник, О.В. Монченко; заявник та патентовласник Нац. авіац. ун-т. – и 201212606; заявл. 05.11.2012; опубл. 13.05.2013. Бюл.№9.
3. Фазовий спосіб ультразвукової товщинометрії / Ю.В. Куц, Ю.А. Олійник, О.Д. Близнюк, О.В. Монченко // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2013. – №1. – С. 23-37.
4. АС 864238 /СССР/. Способ измерения фазового времени задержки сигналов / В.Г. Баженев, Е.К. Батуревич, С.М. Маевский. – Опубл. в Б.И., 1981, №34.
5. Гула І.В. Визначення властивостей методу коінцидентності для вимірювання фазових зсувів сигналів / І.В. Гула // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2013. – №2. – С. 62-66.
6. Кинкулькин И.Е. Фазовый метод определения координат / И.Е. Кинкулькин, В.Д.Рубцов, М.А. Фабрик. – М.: Сов. радио, 1979. – 280 с.
7. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с. – 471 с.
8. Кулаков Ю.О. Дослідження кругових медіанних фільтрів в задачах аналізу фазових характеристик сигналів / О.Ю. Кулаков, В.Ю. Куц // *Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е.Пухова НАН України. Сб. трудов конференції «Моделирование, 2008»*. – Т. 2. – С. 429-434.

Надійшла до редакції 12.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.М. Щербак, Національний авіаційний університет, Київ.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДВУШКАЛЬНОГО СПОСОБА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ИЗДЕЛИЙ

Е.Д. Близнюк, Ю.А. Олейник, В.Ю. Куц, Ю.В. Куц, Е.В. Монченко

Рассмотрены особенности использования ультразвукового двухшального способа для повышения точности измерения толщины изделий. Значение толщины, полученное по результатам анализа времени распространения фазоманипулированного сигнала в объекте контроля, уточняется по данным измерения фазовых сдвигов этих сигналов.

Ключевые слова: ультразвуковая эхоимпульсная толщинометрия, двухшальный способ измерения, фазовая характеристика сигнала.

THE USE OF ULTRASONIC DESCALING METHOD TO IMPROVE THE ACCURACY THICKNESS MEASUREMENT PRODUCTS

O.D. Bliznyuk, J.A. Oliynyk, V.J. Kutz, J.V. Kutz, O.V. Monchenko

The use of ultrasonic descaling method to improve the accuracy of thickness measurement products. The thickness value obtained from the results of the analysis of the propagation time phase manipulating signal in the testing object is specified by measuring the phase shifts of these signals.

Keywords: the help of echo pulse ultrasonic thickness gauging, descaling measurement method, the phase characteristic of the signal.