



ISSN 1681-7710

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

Системи обробки інформації

Наукове
періодичне
видання

Випуск 6 (143)

МЕТРОЛОГІЯ,
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

METROLOGY,
INFORMATION MEASURING
TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ
В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

MINFORMATION PROCESSING
IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

Харків
2016

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);
БАРАННИК 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);
ЄВДОКИМОВ 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., ХНУ, Харків);
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);
СЕРЕНКОВ 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 Ортаголи Шаріпович (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: КОРОЛІЮК 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.

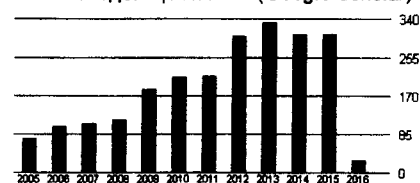
Затверджений до друку Вченою Радою Харківського університету Повітряних Сил
(протокол від 17 травня 2016 року № 9).

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: Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща), Universal Impact Factor, Google Scholar (наукометричні показники – $quot. = 2391 / h = 13 / i10 = 30$).

Розподіл «quotation» (Google Scholar)



х праць. – Х.:
ана Кожедуба,

пкуються ре-
юру, обробки
ірник призна-
удентів стар-

Байджан);

у, Харків);

1528;

sholar)

— 340

— 265

— 170

— 85

— 0

жедуба

З М І С Т

МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

Альравашдех Бакер, Сергиенко М.П. Проблемы стандартизации в области динамических измерений	7
Альравашдех Рақи Разработка модели внешнего магнитного поля для измерений его параметров, конфигурации и координат источника	13
Андрусисшина И.Н., Голуб И.А., Лампека Е.Г. Опыт использования стандартных образцов сыворотки крови человека для межлабораторного контроля качества результатов элементного анализа	17
Боцюра О.А., Захаров И.П. Сравнительный анализ различных способов вычисления коэффициентов охвата при реализации байесовского подхода к оцениванию неопределенности измерений	20
Виткин Л.М., Ролько О.Р. Оценка рисков на мясоперерабатывающем предприятии	25
Владимирова Т.М. Неопределенность измерения уровня и расхода с помощью измерительной системы ЕНР-ТЕКНИККА (engl.)	28
Глухова Н.В. Метод расчета неопределенности измерений геометрических параметров газоразрядных изображений	32
Грибанов Д.Д., Вячеславова О.Ф., Зайцев С.А. Методика измерений массы сжиженных углеводородных топлив	36
Грынёв Б.В., Гурджян Н.Р., Зеленская О.В., Любинский В.Р., Мицай Л.И., Молчанова Н.И., Тарасов В.А. Оценивание неопределенности результатов измерений ослабления света в цилиндрических сцинтилляторах	41
Еремеев И.С., Дичко А.О. Проблема неопределенности при мониторинге окружающей среды	45
Зинченко В.П., Зинченко С.В., Добролюбова М.В. Автоматизированные системы измерения давления в аэродинамическом эксперименте	48
Кадяцкая О.И., Сабурова С.А. Методы метрологического обеспечения параметров качества NGN-сетей	52
Кириченко И.А., Кашура А.Л., Кашура М.А. О повышении точности построения тарировочных характеристик заглубленных цилиндрических резервуаров	55
Клочко Н.Б., Долішній Б.В., Піндус Н.М., Чеховський С.А. Оптимізація алгоритму опрацювання виміральної інформації турбінних лічильників газу при їх калібруванні	58

C O N T E N T

METROLOGY, INFORMATION MEASURING TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

Arawashdeh Baker, Sergiienko M.P. The particular standardization issues in a field of dynamic measurements	7
Arawashdeh Raqi Development model external magnetic field to measure its parameters, configuration, and coordinates of the source	13
Andrusyshyna I.N., Golub I.A., Lampeka E.G. Experince of use references materials of blood serum of man in interlaboratory investigation quality control elemental analysis	17
Botsiura O.A., Zakharov I.P. Comparative analysis of various methods for calculating of coverage factor at implementation of bayesian approach by the measurement uncertainty evaluation	20
Vitkin L.M., Rolko O.R. Risks assessment on meat producer by enterprise	25
Vladimirova T.M. Uncertainty of the measurement of level and flow using EHP-TEKNIKKA measurement system	28
Glukhova N.V. Evaluation of measurement uncertainty of geometric parameters of the gas-discharge emission images	32
Gribanov D.D., Vyacheslavova O.F., Zaitsev S.A. The method of measuring mass of liquefied hydrocarbon fuels	36
Grynyov B.V., Gurdzhian N.R., Zelenskaya O.V., Lyubynskiy V.R., Mitcay L.I., Molchanova N.I., Tarasov V.A. Light attenuation measurements uncertainty estimation in cylindrical scintillators	41
Yeremeyev I.S., Dychko A.O. Uncertainty problems in environmental monitoring procedures	45
Zinchenko V.P., Zinchenko S.V., Dobroliubova M.V. The automated control system of pressure measurement in wind tunnel experiment	48
Kadackaya O.I., Saburova S.A. Methods of NGN-networks quality parameters metrological support	52
Kirichenko I.O., Kashura O.L., Kashura M.O. Improving the accuracy of construction of the calibration characteristics of the buried cylindrical tanks	55
Klochko N.B., Dolishniy B.V., Pindus N.N., Chehovskiy S.A. The optimization of algorithm of measurement information processing of turbine gas meters at their calibration	58

itors	62	Петрушун І.С., Присяжнюк Т.І., Бас А.А. Уменьшение суммарной неопределенности измерений при воспроизведении единиц объема и объемного расхода газа эталонными установками	120	Petrushun I.S., Prisyajnyuk T.I., Bas O.A. Reducing the total measurement uncertainty prover gas volume and volume flow rate reproduction	120
.....	65	Поліщук А.А., Мозолева Т.Н. Опыт участия центральной химико-бактериологической лаборатории в межлабораторных сравнительных испытаниях	124	Polischuk A.A., Mozolevska T.M. Experience of participation of central chemical and bacteriological laboratory in interlaboratory comparative tests	124
strument	69	Прокуда Э.Ю. Сравнение расчетных и экспертных методов при оценке состояния базовых элементов карьерных автосамосвалов	127	Prokuda E.Yu. Comparison of the calculated and an expert method for determining the weighting factor of basic elements of dump trucks	127
.....	72	Романів В.М., Мельничук С.І. Алгоритмічне забезпечення засобу контролю вуглеводневих компонент природного газу	131	Romaniv V.M., Melnychuk S.I. Algorithmic support of control means higher hydrocarbon component of natural gas	131
.....	75	Руженцев И.В., Луцкий С.В., Феткий В.П. Дискретно-вероятностные информационные модели расчета суммарной погрешности механообработки	135	Ruzhentsev I.V., Lutsky S.V., Fetkiv V.B. Discrete probabilistic information model of machining processing total error calculation	135
ertainty	78	Середюк О.Е., Малисевич В.В., Середиук Д.О., Малисевич Н.Н. Метрологическая модель измерения энергетической ценности природного газа с использованием расходомеров переменного перепада давления	139	Serediuk O.E., Malisevych V.V., Serediuk D.O., Malisevych N.M. The metrological model of measuring of natural gas energy value with the using of the variable pressure-drop flow meters	139
s	82	Синица В.І., Подрубайло М.В. Навчально-дослідницька система моделювання авторегресійних алгоритмів на базі технології LabVIEW	143	Sinitsa V.I., Podrubailo M.V. Teaching and research system for the simulation of autoregression algorithms on the basis of LABVIEW technology	143
.....	86	Склярів В.В., Довженко Я.С. Дослідження впливу часу дії попереднього навантаження при вимірюванні твердості (engl.)	147	Skliarov V.V., Dovzhenko Ya.S. Investigation of the influence of duration of preliminary and total forces for measurement of hardness	147
Its	89	Слабинога М.О., Депутович А.І., Шевчук М.І. Комп'ютерна система збору та фіксації інформації про негативний антропогенний вплив на території українських Карпат	151	Slabinoha M.O., Deputovych A.I., Shevchuk M.I. Computer system for acquisition and fixation of negative human impact in Ukrainian Carpathians	151
L	93	Сніжко Д.В., Сушко О.А. Мікро- та наноелектроди для електрохімічних вимірювальних систем	156	Snizhko D.V., Sushko O.A. Micro- and nanoelectrodes for electrochemical measurement systems	156
.....	97	Тихенко В.Н., Старцев В.И., Анисимов А.А., Пчелинский С.В. Методика оценки состояния узлов станка для обработки колесных пар	161	Tikhenko V.N., Startsev V.I., Anisimov A.A., Pchelinskij S.V. Methodology assessing the state units of the machine for processing of wheel pairs	161
.....	100	Туз Ю.М., Козыр О.В., Порхун А.В. Спосіб визначення динамічних характеристик термопар за допомогою радіоімпульсу струму	164	Tuz Yu.M., Kozyr O.V., Porkhun A.V. A technique for dynamic identification of thermocouples by means of radio pulse current	164
.....	104	Харламова Ю.Н., Корсун В.И. Использование метода тяжелого шарика в задаче адаптивного оценивания параметров квазистационарного объекта	167	Kharlamova Yu.M., Korsun V.I. Using heavy ball method for problem of adaptive parameters estimation of quasistationary object	167
.....	108	Черепашук Г.А., Потыльчак А.П., Быкова Т.В. Оценка неопределенности измерения плотности жидкости прибором с поплавком изменяемой массы	170	Cherepaschuk G.A., Potilchak A.P., Bykova T.V. Measurement uncertainty evaluation of liquid density with the help of device with float variable mass	170
.....	112	Шевкун С.М., Сурду М.М., Величко О.М., Добролюбова М.В. Аналіз і оптимізація схем передавання і способів відтворення одиниць параметрів імпедансу	174	Shevkun S.M., Surdu M.M., Velychko O.M., Dobroliubova M.V. Analysis and optimization of transmission schemes and reproducing methods of impedance parameters units	174
.....	116	Шнира А.В., Чапалюк Б.В., Алімов А.І., Добролюбова М.В. Система моніторингу 3D-принтеру з технологією друку FDM	180	Shnyra A.V., Chapaliuk B.V., Alimov A.I., Dobroliubova M.V. Monitoring system for 3d-printer with FDM printing technology	180

<i>Штефан І.Ю., Штефан Н.В.</i> Організаційно-правові проблеми метрологічного забезпечення вимірювальних систем	185	<i>Shtefan I.Yu., Shtefan N.V.</i> Legal organizational problems of the measuring system metrological assurance	185
<i>Шумков Ю.С.</i> Автоматичне узгодження опору навантаженням з хвильовим опором кабелю у вимірювальних системах	188	<i>Shumkov Yu.S.</i> Automatic coordination of resistance load with wave impedance of the cable in measurement systems	188
<i>Яремчук Н.А., Годя О.Ю.</i> Оценивание неопределенности ординального измерения	194	<i>Yaremchuk N.A., O.Yu. Goda</i> Evaluation of ordinal measurement uncertainty	194
ОБРОБКА ІНФОРМАЦІ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ		INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS	
<i>Заковоротний А.Ю.</i> Стабильно-пластичные нейронные сети на основе перцептрона в задачах прогнозирования буксования	197	<i>Zakovorotnyi A.Yu.</i> Stable plastic neural network based perceptron in forecasting problems slippage	197
<i>Зори С.А.</i> GPU-реализация параллельной вычислительной системы 3D-стерео визуализации с использованием метода трассировки лучей	201	<i>Zori S.A.</i> Visualization 3D-stereo parallel computer system GPU-realization with the use of rays tracing method	201
<i>Корытченко К.В., Стаховский О.В., Серпухов А.В., Бизонич Д.В., Санчит Аджмани</i> Механизмы влияния свечей накаливания на рабочий процесс в дизельных двигателях	205	<i>Korytchenko K.V., Stakhovskiy O.V., Serpukhov A.V., Bizonych D.V., Sanchit Ajmani</i> mechanisms of influence of candles of incandescence on working process in diesel engines	205
<i>Носан С.Л., Фединский О.И., Сургай В.М.</i> Методика керівництва роботою обслуговування радіолокаційних станцій та рухомих радіовисотомірів при управлінні екіпажами винищувальної авіації в умовах радіоелектронної протидії	211	<i>Nosan S.L., Fedinskiy O.I., Surgay V.M.</i> The method of management calculations of radar stations and moving radoviste in managing crews of fighter aircraft in conditions of electronic countermeasures	211
<i>Лысенко И.А., Смирнов А.А.</i> Разработка упорядоченных каскадных таблиц решений с использованием матриц следования	216	<i>Lysenko I.A., Smirnov A.A.</i> Establishing an orderly cascading solution using matrices follow	216
Наші автори	221	Authors	221
Алфавітний покажчик	225	Alphabetical index	225

620.179.16

М. Мокійчук, О.В. Монченко, Ю.А. Олійник

Національний авіаційний університет, Київ

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПРУЖНИХ КОНСТАНТ МАТЕРІАЛІВ

У статті розглянуто спосіб визначення пружних констант матеріалів на основі прецизійного вимірювання товщини матеріалів та наведено методу оцінювання невизначеності для даного способу.

Ключові слова: пружні константи, модуль Юнга, ультразвукова луно-імпульсна товщинометрія, невизначеність, об'єкт контролю.

Вступ

В наш час активно розробляються нові конструкційні матеріали, такі, наприклад, як композиційні, армовані високоміцними і високомодульними еластичними волокнами, які мають широке застосування в різних галузях господарства. У зв'язку з визначенням значень пружних констант нових матеріалів є актуальною задачею.

Для надійної експлуатації виробів з різних конструкційних матеріалів необхідно достовірно знати їх ресурс зношування, виконати прогнозування залишкового ресурсу конструктивних вузлів в процесі експлуатації, продовження терміну служби після відпрацювання об'єктами нормативного терміну. Для цього також необхідно точно визначити значення пружних констант.

Відомо багато способів експериментального визначення пружних констант матеріалів [1,2]. Їх суть зводиться, в основному, до порівняння частот власних коливань пружних систем, отриманих розрахунковим шляхом і визначених експериментально. Зразки матеріалів зазвичай мають форму призми і циліндрів, часто відносно коротких.

Інший важливий для практики спосіб визначення пружних констант ґрунтується на вимірюванні швидкості пружних коливань в матеріалі об'єкта контролю (ОК). Саме цей метод аналізується в статті. Але для задач аналізу міцності та прогнозу щодо значення ресурсу ОК важливим є не тільки отримання найбільш імовірного значення пружних констант, а й визначення похибки її оцінювання.

В статті запропоновано розв'язання цієї задачі на основі концепції невизначеності [3-5].

Отже, метою статті є розроблення методу оцінювання невизначеності вимірювання пружних констант нових конструкційних матеріалів.

Постановка задачі

Розглядається спосіб визначення модуля Юнга $\gamma^{Ю}$, що ґрунтується на його зв'язку зі швидкістю

ультразвукових поздовжніх хвиль c , для якого рівняння перетворення задається виразом [6]:

$$c = \sqrt{\gamma^{Ю} / \rho},$$

де ρ – густина матеріалу.

З іншого боку, швидкість ультразвукових поздовжніх хвиль c можна визначити за формулою:

$$c = 2h / \tau [6],$$

де τ – час поширення пружної хвилі в товщі ОК, h – товщина ОК.

Швидкість ультразвукових коливань вимірюється непрямим методом через h і τ . Для досліджуваного зразка існує можливість вимірювання його геометричних розмірів. Затримка τ визначається фазовим методом [7, 8].

Співставивши формули визначення швидкості c та з умови $\rho = m/V$ можна отримати вираз для підрахунку модуля Юнга:

$$\gamma^{Ю} = \frac{4h^2 m}{\tau^2 V}, \quad (1)$$

де m , V – маса та об'єм ОК відповідно, а потім оцінити невизначеність вимірювання модуля Юнга.

Розв'язок поставленої задачі

З метою уточнення рівняння перетворення і визначення впливаючих факторів більш детально розглянемо спосіб підвищення точності вимірювання товщини ОК, що реалізується на прикладі відомих функціональних блоків та пристроїв. На рис. 1 зображено блок-схему пристрою, який реалізує запропонований спосіб і який містить:

1 – програмований генератор сигналів: формувач фазоманіпульованого сигналу (генератор ФС), підсилювач потужності.

2 – суміщений п'єзоелектричний перетворювач П211-5-П20.

3 – одноканальний дефектоскоп SocomateUSPC 3100 LA: вхідний пристрій формує вибірку миттєвих значень сигналу (ІР), АЦП.

4 – персональний комп'ютер: обчислювач фазової характеристики (ФХ) сигналу (ПГ), диференціатор, вимірювач фазових зсувів сигналів (ВФЗС),

вимірювач часових інтервалів (ВЧІ), пристрій стьковки (узгоджує грубо-точно).

5 – блок програмного забезпечення.

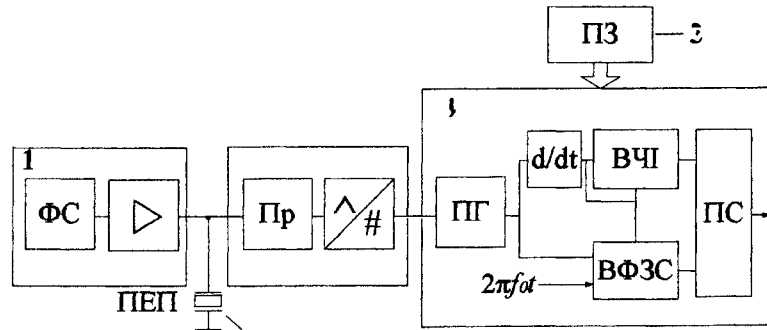


Рис. 1.– Структура пристрою визначення пружних констант матеріалів

Генератор 1 формує фазоманіпульований радіоімпульсний сигнал виду,

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

де U – амплітуда сигналу, f – частота заповнення радіоімпульсу, τ_1 – момент маніпуляції фази, τ_i – тривалість радіоімпульсу, T_n – період повторення радіоімпульсів.

Сигнал $u(t)$ подається на суміщений п'єзоелектричний перетворювач 2, який перетворює електричний сигнал в ультразвуковий. Прийнятий після поширення в ОК ультразвуковий сигнал перетворюється тим же перетворювачем 2 в електричний і подається на дефектоскоп 3. Останній виконує аналого-цифрове перетворення сигналів і формує вибірки зондуючого і відбитих сигналів $u[j]$ і передає їх для подальшої обробки в блок 4. Визначення товщини ОК виконується у відповідності до алгоритмів програмного забезпечення 5.

Дискретна фазова характеристика сигналу визначаються за допомогою дискретного перетворення Гільберта [3] за формулою:

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

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

Фазова характеристика фазоманіпульованого сигналу містить стрибки у моменти часу, які відповідають виконанню маніпуляції несучого коливання.

Часове положення стрибків ФХ сигналів може бути визначено за її похідною $\frac{\partial \tilde{\Phi}(t)}{\partial t}$. Ці стрибки з метою підвищення достовірності результатів вимі-

рювання можуть бути виділені за допомогою стробування ФХ обвідними відбитих сигналів:

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

часове положення яких відповідає затримці сигналу при поширенні у ОК.

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.

Згідно з винаходом реалізується двоскальний спосіб вимірювання, в якому часова затримка при поширенні сигналу в ОК визначається через фазовий час його затримки:

$$\tau_3 = \left(n + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) \frac{1}{f}.$$

Узгодження грубого і точного значень (уточнення цілої кількості фазових циклів) відбувається за формулою:

$$n = \left[f\tau_3 - \frac{\Delta\phi}{2\pi} + 0,5 \right]^+,$$

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

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

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

Даний спосіб дає можливість прецизійного вимірювання товщини виробів за умови дії шумів в електроакустичному тракті товщиноміра.

Оцінимо невизначеність пружних констант матеріалів на прикладі модуля Юнга.

Експериментально модуль Юнга $\gamma^{Ю}$ пов'язаний з швидкістю поширення поздовжньої ультра-

вукової хвилі s в товщині об'єкта контролю (ОК) h (1).

Методика обчислення невизначеності включає наступні етапи:

1. Побудова діаграми впливаючих факторів (діаграми Ішикави). Виходячи з рівняння перетворення

(1) визначимо основні та додаткові впливаючі фактори (рис. 2).

2. Формування бюджету невизначеності згідно з діаграмою Ішикави.

Для задачі, що розглядається, бюджет невизначеності представлений в табл. 1.

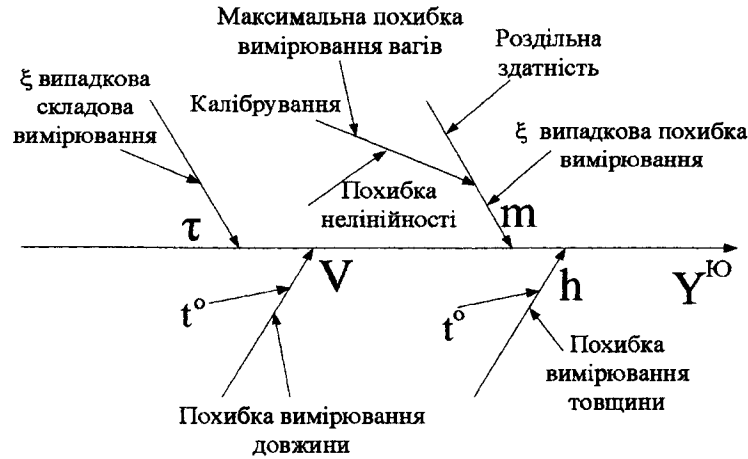


Рис. 2. Діаграма Ішикави для визначення пружних констант матеріалів

Таблиця 1

Бюджет невизначеності для визначення модуля Юнга

Показник	СКЗ	Впливаючий фактор	Категорія невизначеності	Закон розподілу імовірності	Сумарна стандартна невизначеність	Коефіцієнт впливу	
h	u _h	t ⁰ – температура	В	Рівномірний	u _h = √(u _h ² + u _{тем} ²)	8hm / τ ² V	
		похибка вимірювання товщини	В				
τ	u _τ	τ – формування стробу	А	Сімпсона	u _τ = √(u _c ² + u _д ² + u _ξ ²)	8h ² m / τ ³ V	
		f _д – частота дискретизації	А				
		ξ – випадкова похибка вимірювання часу					
V	u _V	t ⁰ – температура	В	Рівномірний	u _{δV} = √(u _{тем} ² + u _a ² + u _b ² + u _c ²)	4h ² m / τ ² V ²	
		похибка вимірювання геометричних розмірів	довжина a				В
			ширина b				
			висота c				
ξ m	u _m	σ _ξ – випадкова похибка вимірювання маси	В	Рівномірний	u _m = √(u _ξ ² + u _d ² + u _n ² + u _v ²)	4h ² / τ ² V	

3. Отримання виразу для оцінювання комбінованої стандартної невизначеності.

При складанні бюджету невизначеності передбачалось, що випадкові складові невизначеності є нескорельованими.

Для розглянутого прикладу отримаємо формулу

$$u_{Y^Ю} = \sqrt{\left(\frac{8hm}{\tau^2 V} u_h\right)^2 + \left(-\frac{8h^2 m}{\tau^3 V} u_\tau\right)^2 + \left(-\frac{4h^2 m}{\tau^2 V^2} u_V\right)^2 + \left(\frac{4h^2}{\tau^2 V} u_m\right)^2} \quad (2)$$

Неточність визначення маси ОК залежить від роздільної здатності вагів, калібрування, яке в свою чергу обумовлене максимальною похибкою вимірювання вагів та похибкою нелінійності, а також, випадковою похибкою вимірювання. Значення похибки вимірювання маси обирають з паспорту на ваги.

Невизначеність, обумовлена частотою дискретизації сигналів в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП). Враховуючи рівномірний закон розподілу ймовірності цієї складової похибки її середньоквадратичне значення (СКЗ) визначається як:

$$u_{\tau} = \frac{1}{f_d 2\sqrt{3}},$$

де f_d – частота дискретизації АЦП.

Значення ξ обумовлене впливом таких факторів як температура, вологість, недосконалість апаратурної реалізації приладу, неоднорідностей матеріалу ОК. Ця складова може бути зменшена багаторазовим повторюванням вимірювань та їх статистичним опрацюванням.

Для експериментального підтвердження розробленої методики був проведений експеримент визначення модуля Юнга для сталюого зразка розмірами 2x2x10 см. Частота дискретизації 100 МГц. Невизначеність вимірювання модуля Юнга склала $u_{\gamma_{Ю}} = 9,75 \cdot 10^9$ Па. Найбільший внесок в оцінку невизначеності вносить невизначеність, спричинена вимірюванням маси та об'єму зразка.

Висновок

В роботі розроблено методику оцінювання пружних констант матеріалів (модуль Юнга) на основі прецизійного вимірювання товщини досліджуваного матеріалу.

Суть прецизійного вимірювання товщини полягає у визначенні часової затримки проходження ультразвукової хвилі в матеріалі.

Значення модуля Юнга визначається розрахунковим шляхом.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УПРУГИХ КОНСТАНТ МАТЕРИАЛОВ

В.М. Мокийчук, Е.В. Монченко, Ю.А. Олейник

В статье рассмотрен способ определения упругих констант материалов на основе прецизионного измерения толщины материалов и подана методика оценивания неопределенности для предложенного способа.

Ключевые слова: упругие константы, модуль Юнга, ультразвуковая эхоимпульсная толщинометрия, неопределенность, объект контроля.

METHOD OF ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY OF THE ELASTIC CONSTANTS OF MATERIALS

V.M. Mokyichuk, O.V. Monchenko, Y.A. Oliynik

The article is described the method of determining the elastic constants of materials based on precision measurements of the thickness of the material and a technique for estimating the uncertainty of the method is presented.

Keywords: elastic constant, Young's modulus, ultrasonic thickness measurement, echo-impulse measurement method, uncertainty, test object.

В роботі подано детальний аналіз невизначеності для способу визначення модуля Юнга. Побудовано діаграму Ішикави, наведено бюджет невизначеності та проаналізовано внесок складових невизначеності в загальну невизначеність.

Список літератури

1. Кінетика накопичення пошкоджень при повторно-змінному осьовому навантаженні та зсуві (крученні) за при прямого і зворотного режимів навантаження конструкційних матеріалів / Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція "Динаміка і міцність машин" / Укладач Сидоренко Ю.М. – К: НТУУ "КПІ", 2014. – С. 3.

2. Ступин В.А. Определение упругих констант металлов ультразвуком резонансным методом / В.А. Ступин. – М.: ЦНИИАтомИнформ, 1985. – 16 с.

3. Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) : ISO/IEC Guide 98-3:2008. – [Accepted 2008-09-30]. – Geneva : ISO, 2008. – 120 p. – (International standard).

4. Ціделко В.Д. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання: моногр. / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчук. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2002. – 176 с.

5. Новицький П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 278 с.

6. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.

7. Ультразвуковий двошкальний спосіб вимірювання товщини виробів Патент України / Єременко В.С., Куц Ю.В., Олійник Ю.А., Монченко О.В. / Патент на користь модель №100756. Бюл. № 15, 10.08.2015 МПК G01B 17/02(2006.01) Номер заявки: u201501408 Дата подання заявки: 19.02.2015.

8. Використання ультразвукового двошкального способу для підвищення точності вимірювання товщини виробів / О.Д. Близнюк, Ю.В. Куц, В.Ю. Куц, Ю.А. Олійник, О.В. Монченко // Системи обробки інформації. – Х: ХУПС, 2015. – Вип. 7 (132). – С. 6-10.

Надійшла до редколегії 11.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Куц, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ.