



ISSN 1681-7710

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

Системи обробки інформації

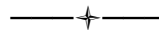
Наукове
періодичне
видання

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 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.

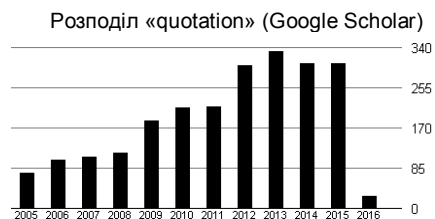
За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Затверджений до друку Вченою Радою Харківського університету Повітряних Сил
(протокол від 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 – $quot. = 2391 / h = 13 / i10 = 30$).



Коваленко І.В., Кійко В.В. Проблеми визначення якості півмасок фільтруючих 62	Kovalenko I.V., Kiiko V.V. Determination problems the quality of respirators 62
Кононенко М.А., Габльовська Н.Я. Розрахунковий метод оцінювання якості різьбової частини труб нафтового сортаменту за допомогою зведеного коефіцієнту 65	Kononenko M.A., Gablovska N.Ya. Calculation method for assessing the quality of the threaded portion of oil pipe assortment using the reduced rate 65
Крюков О.М. Принцип побудови засобу вимірювання геометричних характеристик поверхонь каналів стволів..... 69	Kriukov O.M. The construction principle of the measuring instrument for geometric characteristics of the surface of the barrel channels measurement 69
Кузниченко В.В., Нікітенко О.М. Використання системи комп'ютерної математики Maple для дослідження роботи осцилографа 72	Kuznichenko V.V., Nikitenko O.M. Using computer mathematics system maple for oscilloscope work research 72
Кучірка Ю.М., Баран С.В., Винничук А.Г., Витвицька Л.А. Дистанційна лабораторія для вивчення методів основних технологічних параметрів рідини і навколишнього середовища 75	Kuchirka Yu.M., Baran S.V., Vynnychuk A.G., Vytvytska L.A. Distance laboratory for study methods measurement main fluid technological parameters and environment 75
Левин С.Ф. Стандартизований пример расчета неопределенности поверки термопреобразователя сопротивления 78	Levin S.F. The standardized example of calculation of uncertainty verification of the thermo converter of resistance 78
Мартынюк А.В., Щербак Л.Н. Метрологический мониторинг систем измерения характеристик шумовых процессов 82	Martyniuk G.V., Scherbak L.M. Metrological monitoring of measurement systems of characteristics of noise processes 82
Михайленко В.В., Маков Д.К., Святненко В.А., Чуняк Ю.М. Вимірювання напруг та струмів у напівпровідниковому перетворювачі з двадцятидвохзонним регулюванням вихідної напруги 86	Myhaylenko V.V., Makov D.K., Syvatnenko V.A., Chuniyak Yu.M. Measurement of the voltages and current in semiconductor converter with twenty-second zones regulation of output voltage 86
Михайлова Г.М., Гілевич Ю.В., Матієнко-Купріянова Н.М. Оцінювання невизначеності результатів вимірювання вмісту вільного формальдегіду в постільних виробах ... 89	Mikhailova G.N., Gilevich Yu.V., Matienko-Kupriyanova N.M. Estimating of uncertainty in the measurement results of free formaldehyde in beddings 89
Мокійчук В.М., Монченко О.В., Олійник Ю.А. Методика оцінювання невизначеності вимірювання пружних констант матеріалів 93	Mokiychuk V.M., Monchenko O.V., Oliynik Yu.A. Method of estimation of measurement uncertainty of the elastic constants of materials 93
Монченко Е.В., Мельник Е.С. Определение дискретных характеристик сигналов ультразвукового контроля 97	Monchenko O.V., Melnyk O.S. Determination of the discrete characteristics of ultrasonic testing signals 97
Моргун Б.А., Прокопович И.В., Костина М.М., Моргун Ю.Б. Метрологическое обеспечение АСУ ТП непрерывного литья медной катанки 100	Morgun B.A., Prokopovich I.V., Kostina M.M., Yu.B. Morgun Metrological assurance of automated process control system of continuous casting copper rod 100
Новоселов О.А. Аккредитация калибровочной деятельности – гарантия достоверности и объективности результатов измерений 104	Novoselov O.A. Accreditation of calibration activities – guarantee of reliability and credibility of measurement 104
Остапів В.В., Піндус Н.М., Чеховський С.А., Клочко Н.Б. «Віртуальні еталони» як засіб підвищення точності вимірювань 108	Ostapiv V.V., Pindus N.M., Chehovskiy S.A., Klochko N.B. Virtual standard" as a means of improving the measurement accuracy 108
Паленный Ю.Г., Гнатюк А.П., Жеглова В.М., Фоменко Д.С. Информационно-измерительная система контроля процесса глубокого сверления 112	Palennyy Y.I., Gnatyuk A.P., Zheglova V.M., Fomenko D.S. Information-measuring system of control of the deep hole drilling process 112
Пацера С.Т., Корсун В.І., Дербіба В.А., Ружин П.О. Алгоритм імітаційно-статистичного дослідження контрольно-вимірювальної системи та його програмна реалізація у Ni LabVIEW 116	Patsera S.T., Korsun V.I., Derbaba V.A., Ruzhyn P.O. The algorithm of simulation and statistical modeling of control-measuring systems and software implementation in Ni LabVIEW 116

УДК 620.179.16

В.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 безперервними волокнами, які мають широке застосування в різних галузях господарства. У зв'язку з цим визначення значень пружних констант нових матеріалів є актуальною задачею.

Для надійної експлуатації виробів з різних конструкційних матеріалів необхідно достовірно оцінити 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 величини 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 визначення ресурсу ОК важливим є не тільки отримання найбільш імовірного значення пружних констант, але 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 $Y^{Ю}$, що ґрунтується на його зв'язку зі швидкістю

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

$$c = \sqrt{Y^{Ю}/\rho},$$

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:

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

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 (ПР), АЦП.

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

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

5 – блок програмного забезпечення.

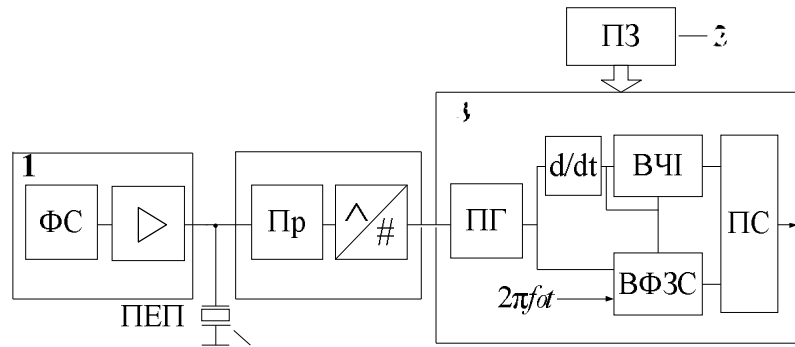


Рис. 1.– Структура пристрою визначення пружних констант матеріалів

Генератор 1 формує фазоманіпульований радіоімпульсний сигнал виду,

$$u(t) = \begin{cases} U \sin 2\pi ft, & t \in [0, \tau_1], \\ -U \sin 2\pi ft, & t \in [\tau_1, \tau_1 + \tau_2], \\ 0, & t \notin [\tau_1, \tau_1 + \tau_2], \end{cases}$$

де U – амплітуда сигналу, f – частота заповнення радіоімпульсу, τ_1 – момент маніпуляції фази, τ_2 – 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:

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

де $\hat{u}[j]$ – гільберт-образ сигналу $u[j]$, \mathbf{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 випромінення, поширення в ОК і прийому ультразвукового сигналу.

Згідно з винаходом реалізується двоскальний спосіб вимірювання, в якому часова затримка на поширення 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 за 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 $Y^{Ю}$ пов'язаний з швидкістю поширення поздовжньої ультраз-

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.

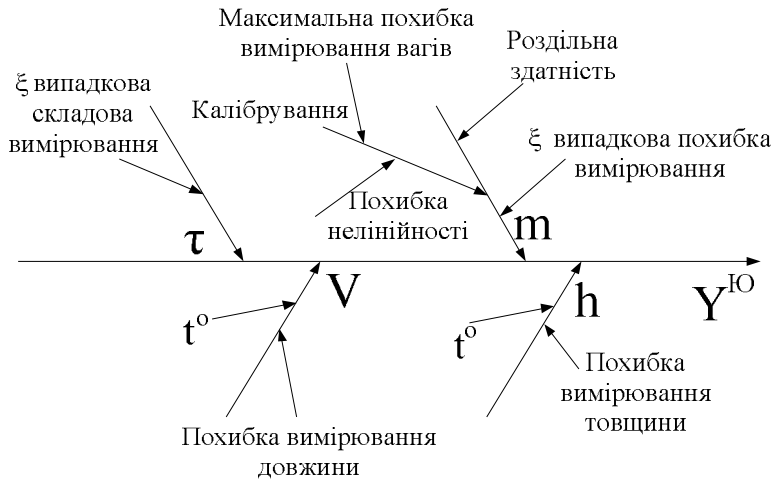


Рис. 2. Діаграма Ішикави для визначення пружних констант матеріалів

Таблиця 1

Бюджет невизначеності для визначення модуля Юнга

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

3. Отримання виразу для оцінювання комбінованої стандартної невизначеності.

При складанні бюджету невизначеності передбачалося, що випадкові складові невизначеності є некорельованими.

Для розглянутого прикладу отримуємо 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:

$$u_{\tau} = \frac{1}{f_{\text{д}} 2\sqrt{3}},$$

де $f_{\text{д}}$ – 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 $u_{\gamma_{\text{Ю}}} = 9,75 \cdot 10^9$ 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.

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. Оцінка 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 двошкільний спосіб вимірювання товщини виробів Патент України / Єременко В.С., Куц Ю.В., Олійник Ю.А., Монченко О.В. / Патент на корисну 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 двошкільного 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.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УПРУГИХ КОНСТАНТ МАТЕРИАЛОВ

В.М. Мокиичук, 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. Mokiychuk, 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.