

охолоджені елемента, що досліджувався.

Аналіз шифрограми, отриманої при проведенні експерименту, показав, що на фоні регулярної стільникової структури візуалізуються зони локальної деформації, які представляють собою замкнені інтерференційні смуги. Така локалізація деформацій свідчить про наявність на цих ділянках внутрішніх дефектів.

Аналіз отриманих результатів показав, що для неруйнівного контролю якості стільникових елементів використання температурного навантаження є оптимальним і дозволяє виявити внутрішні дефекти.

Виконані експерименти з відпрацювання і створення технології неруйнівного контролю елементів і вузлів конструкцій методом електронної шифрографії довели, що компактна шифрографічна система, яка була застосована, дозволяє без контакту виконувати ресстрацію деформацій $(\partial w / \partial x)_{x_{\max}}$ у діапазоні $0.088 \times 10^{-4} \dots 17.99 \times 10^{-4}$ при зміні широзсуву у границях $\Delta x = 3 \dots 30$ мм.

При застосуванні оптимального виду навантаження (механічне, температурне тощо) з урахуванням геометрії елементів конструкцій і матеріалів контролю, запропонована методика контролю доз-

воляє ефективно виявляти різні типи внутрішніх дефектів: непровари, тріщини, непроклеї та інші внутрішні недосконалості матеріалу, які при навантаженні викликають концентрацію деформацій.

1. *Trends in Optical Nondestructive Testing and Inspection / Editors: P.Rastogi, D.Inandi. – Amsterdam-Lausanne: Elsevier, 2000. – 633 p.* 2. *Вест Ч. Голографическая интерферометрия. – М.: Наука, 1982. – 504 с.* 3. *Hung Y.Y., Wang J.Q., Hovanessian J.D. Technique for Compensating Excessive Rigid Body Motion in Nondestructive Testing of Large Structures Using Shearography // Optic and Laser in Engineering. –1977. – Vol. 26. – P. 249-258.* 4. *Hedser van Brug. Phase-step calibration for phase-stepped interferometry // Applied Optics. –1999. – Vol.38. – №16. – P. 3549-3551.* 5. *Тимошенко С.П. Курс теории упругости. – Киев: Наукова думка, 1972.–503 с.* 6. *Лобанов Л. М., Пивторак В. А., Олейник Е. М., Киянець И. В. Состояние и перспективы применения метода электронной шифрографии для диагностики элементов и узлов конструкций // Автоматическая сварка. –1998. – № 11. – С.26-31.*

УДК 620.179.14

СПЕЦИФІКА СТВОРЕННЯ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ СЕЛЕКТИВНОГО ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

© *Тетерко А.Я., 2003*

Фізико-механічний інститут ім.. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів

На основі побудови нелінійних багатопараметрових великої розмірності моделей системи сформульовано основні положення створення нового класу засобів селективного вихрострумowego контролю з малою, до десятих часток відсотка, похибкою вимірювань двох, трьох та більшого числа параметрів об'єкта контролю

Контроль структурних змін матеріалу, виявлення зон зародження і розвитку дефектів типу тріщин, контроль тріщин у приповерхневому шарі, контроль стану багат шарових нерозбірних елементів конструкцій на наявність корозійного пошкодження тощо є важливими задачами діагностики стану матеріалів, окремих деталей та конструкцій в цілому. Найбільш ефективними для рішення таких задач є засоби на основі електромагнітних методів одержання первинної інформації про стан об'єкта контролю (ОК), зокрема, вихрострумowego (ВС) методу. Як відомо, відгук вихрострумowego первинного перетворювача (ВСПП), електромагнітне поле якого взаємодіє з ОК, залежить від впливу багатьох параметрів системи

ВСПП-ОК. Цей вплив є нелінійним і взаємозалежним, через що роздільний контроль параметрів, які характеризують стан ОК, стає проблематичним [1-4]. За певних умов відомі у ВС методі підходи дозволяють заглушити вплив окремих параметрів системи ВСПП-ОК, що розглядаються як завада, і забезпечити вимірювання таких структурочутливих параметрів матеріалу, як питома електрична провідність і магнітна проникність, вимірювання товщини оболонок, товщин захисних та зносостійких покриттів тощо. Проте похибки вимірювань залишаються значними (не менш 2...5%), забезпечуючи заглушення впливу переважно тільки одного з параметрів системи ВСПП-ОК, який обумовлює похибку методу. У той же час підвищення

вірогідності результатів діагностики тонких структурних змін матеріалу потребує створення засобів ВС контролю з високими метрологічними характеристиками за умов одночасної зміни багатьох параметрів системи ВСПП-ОК.

Методи розв'язку задач прецизійного селективного ВС контролю заданих параметрів ОК, коли їх кількість становить два, три та більше, розроблено в роботах автора на основі запропонованої концепції побудови нелінійної багатовимірної (НЛБ) моделі системи ВСПП-ОК методами наближення функцій багатьох змінних (параметрів системи), які задають таблицю за експериментальними чи/та розрахунковими даними [5, 6]. Модель такої системи характеризується високою розмірністю, що залежить від кількості параметрів, вплив яких враховують, та заданої похибки адекватності моделі. Притому зауважимо, що задача знаходження вектора x параметрів ОК за НЛБ моделлю системи ВСПП-ОК за постановкою задовольняє умовам коректності за акад. Тихоновим А.М [7]. Принципово це означає, що похибка оцінки параметрів ОК прямує до "точного" значення ($x_\delta \rightarrow x_T$) якщо за результатами вимірювань вектор інформаційних параметрів прямує до точного значення $\rho(y_T, y_\delta) \leq \delta \rightarrow 0$.

Створення засобів ВС контролю загального або спеціального призначення з високими метрологічними характеристиками на основі перетворення відгуку ВСПП за НЛБ моделлю системи ВСПП-ОК передбачає реалізацію та розвиток двох класів структур, а саме: методом багатовимірних нелінійних моделей та методом адаптивної нелінійної фільтрації. Далі розглянуто узагальнену структурну схему засобів ВС контролю з обробкою відгуку ВСПП на основі спеціалізованих програмних засобів та сформульовано основні вимоги щодо створення нового класу засобів селективних ВС вимірювань і контролю.

Структура параметрів узагальненої моделі системи селективних ВС вимірювань і контролю. Об'єкт контролю, вихрострумний первинний перетворювач й інформаційно-вимірювальний комплекс (ІВК) становлять систему фізичних об'єктів, яка забезпечує відбір, перетворення, обробку та відображення інформації при селективному ВС контролі. Представимо узагальнену структурну схему цієї системи відповідно до основних функціональних складових деякою множиною W вхідних параметрів, множиною U багатовимірною вихідного сигналу ВСПП, множиною Y інформаційних параметрів сигналу ВСПП та множиною S параметрів ОК, які визначають за результатами контролю.

Множина W утворює простір параметрів системи, які обумовлюють формування багатовимірною відгуку ВСПП U , а множина Y – простір інформаційних параметрів, який формують на основі попереднього перетворення відгуку ВСПП і піддають подальшій обробці в ІВК.

У зв'язку з різноманітністю параметрів, що описують окремі складові системи ОК-ВСПП-ІВК, і необхідністю уточнення розуміння понять *багатопараметрового* та *багатовимірного* щодо відгуку ВСПП означимо більш детально структуру параметрів системи.

На рис. 1 зображено блок-схему узагальненої структури системи ОК-ВСПП-ІВК. У множині W вхідних параметрів означимо множини X, Q, M, P безпосередньо у їх відношенні до ОК (X), вихрострумного первинного перетворювача (Q), взаємного розташування ВСПП і ОК, чи то параметрів сканування (M) та параметрів джерела (P), яке збуджує первинне електромагнітне поле. Множина W є сумою цих множин:

$$W = X \cup Q \cup M \cup P. \quad (1)$$

Притому зауважимо, що множини W утворюють усі ті фізичні величини, які описують математичну модель досліджуваної фізичної структури ОК-ВСПП.

Так, множина X параметрів ОК включає як елементи електрофізичні та розмірні параметри, а саме: питому електричну провідність (ПЕП) шарів $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$; їх відносну магнітну проникність $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$; товщину шарів t_1, t_2, \dots, t_m (m – кількість шарів структури ОК), а також множини D параметрів дефектів:

$$D = \bigcup_{i,k} D_{ik}; D_k = \{a_k, b_k, h_k, \varphi_k, \dots\}, \quad (2)$$

де k – номер дефекту в i -ому експерименті; a – розмір дефекту (глибина, радіус включення); b – ширина дефекту; h – глибина залягання дефекту; φ – кут нахилу дефекту типу тріщини тощо.

У множині X доцільно розрізняти множини електрофізичних $E = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m\}$ та розмірних $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ параметрів. Тоді множина X параметрів контрольованого об'єкта є такою:

$$X = E \cup T \cup D \quad (3)$$

і включає відповідні класи задач ВС контролю, а саме: *структуроскопії*; *товщинометрії* (та

контролю ін. розмірів); дефектоскопії та дефекто- метрії.

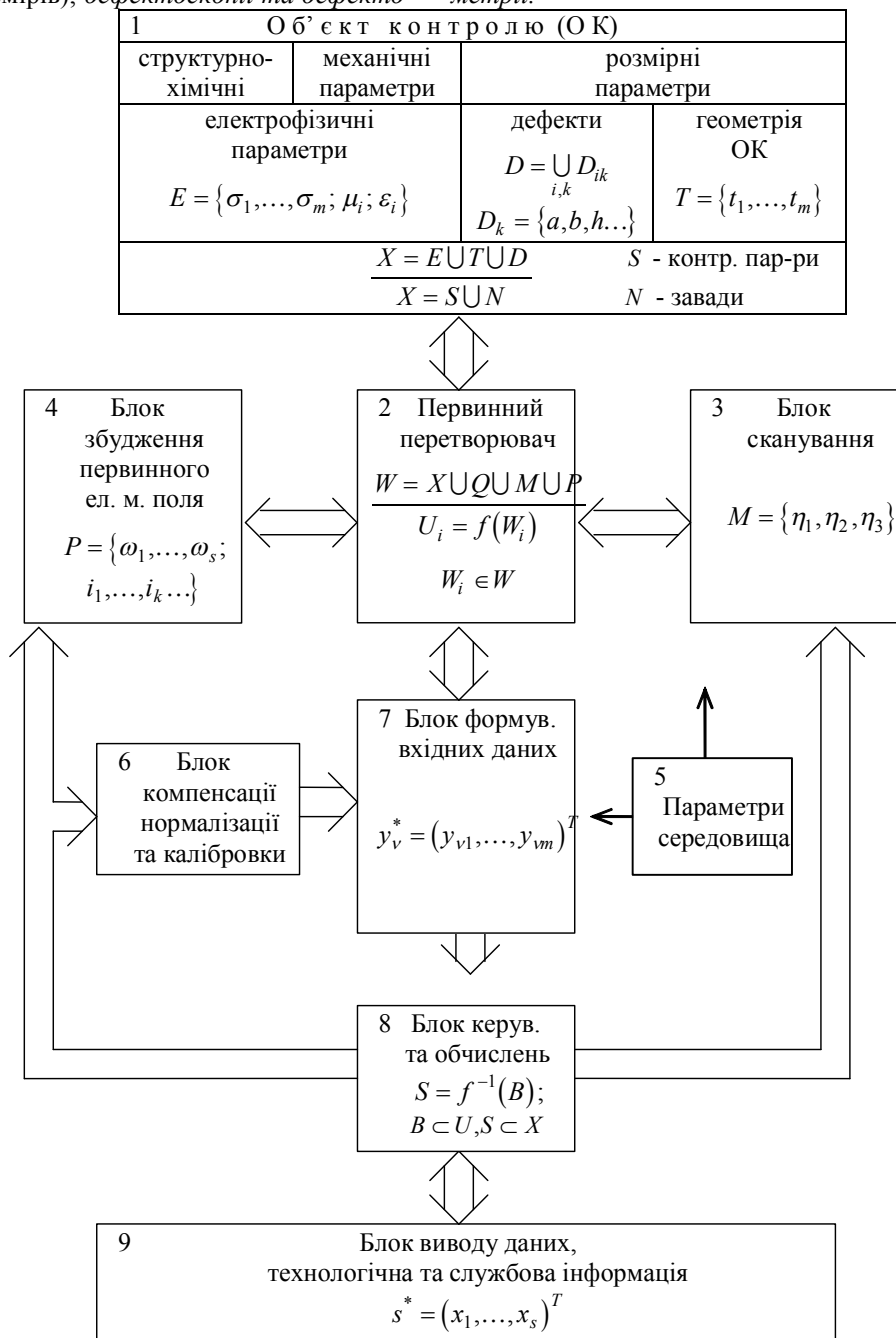


Рис. 1. Узагальнена структурна схема ОК-ВСПП-ІВК

Притому зауважимо, що множину W утворюють усі ті фізичні величини, які описують математичну модель досліджуваної фізичної структури ОК-ВСПП.

Так, множина X параметрів ОК включає як елементи електрофізичні та розмірні параметри, а саме: питому електричну провідність (ПЕП) шарів

$\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$; їх відносну магнітну проникність $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$; товщину шарів t_1, t_2, \dots, t_m (m – кількість шарів структури ОК), а також множину D параметрів дефектів:

$$D = \bigcup_{i,k} D_{ik}; D_k = \{a_k, b_k, h_k, \varphi_k, \dots\}, \quad (2)$$

де k – номер дефекту в i -ому експерименті; a – розмір дефекту (глибина, радіус включення); b – ширина дефекту; h – глибина залягання дефекту; φ – кут нахилу дефекту типу тріщини та ін.

У множині X доцільно розрізняти множини електрофізичних $E = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m\}$ та розмірних $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ параметрів. Тоді множина X параметрів контрольованого об'єкта є

$$X = E \cup T \cup D, \quad (3)$$

що включає відповідні класи задач ВС контролю, а саме: *структуроскопії*; *товщинометрії* (та контролю ін. розмірів); *дефектоскопії та дефектометрії*.

Означимо, крім того, в X множини S параметрів, що підлягають контролю як показники якості ОК, або контрольованих параметрів, і множини N параметрів, які обумовлюють формування складової сигналу завод, або заводових параметрів (факторів). Вхідження параметрів ОК до множини S чи N визначається постановкою конкретної задачі контролю. Таким чином, множина X представлена також як сума

$$X = S \cup N. \quad (4)$$

ВСПП характеризується множиною Q параметрів, в якій відповідно до моделей ВСПП, що фігурують у математичних моделях задач електродинаміки у ВС контролі, виділимо множини R і H розмірних параметрів котушок системи ВСПП відповідно по радіусу та висоті, а також множини $A = \{A_{\eta_1}, A_{\eta_2}, A_{\eta_3}\}$, утворену складовими векторного потенціалу, що описує структуру первинного та результуючого електромагнітного поля, а також вимірювані складові поля і визначається конструкцією даного ВСПП:

$$Q = R \cup H \cup A. \quad (5)$$

Просторове положення ВСПП відносно об'єкта контролю характеризують параметри сканування, або точки контролю, задані на ОК (у тому числі й зазор між ВСПП та ОК), що описується множиною M :

$$M = \{\eta_1, \eta_2, \eta_3\}, \quad (6)$$

де η_1, η_2, η_3 – координати ВСПП відносно ОК у заданій системі координат.

Первинне електромагнітне поле в загальному випадку розглядається як багаточастотне

$\omega_s (s = 1, \dots, n)$, яке збуджують струмами i_s різних амплітуд і початкових фаз. При контролі феромагнітних матеріалів на змінне поле може бути накладене магнітостатичне поле, яке збуджують струмами $i_{0j} (j = 1, \dots, p)$ різних рівнів. Тоді множина P параметрів, що задають первинне електромагнітне поле (4), становить:

$$P = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n; i_1, i_2, \dots, i_n; i_{01}, i_{02}, \dots, i_{0p}\}. \quad (7)$$

Таким чином, визначено множину W вхідних параметрів підсистеми ВСПП-ОК. Зауважимо, що в ряді задач до розгляду включають також деякі параметри середовища, наприклад, температуру, силові навантаження та ін., які змінюють параметри ОК та ВСПП і можуть бути задані як вимірювані параметри або як заводові фактори. Зміна параметрів середовища впливає також на точність системи. Проте це питання далі не розглядається. Тому прийmemo до уваги тільки загальну вказівку на вплив параметрів середовища.

В результаті дії множини W вхідних параметрів підсистеми ВСПП-ОК на виході вихрострумове перетворювача формується відгук

$$U_i = F(W_i), \quad W_i \subset W, \quad i = 1, \dots, l. \quad (8)$$

У цьому розумінні відгук, або сигнал на виході ВСПП у теорії ВС контролю визначається як *багатопараметровий* [1–4], тобто такий, що залежить від множини $W_i \subset W$ параметрів підсистеми ВСПП-ОК.

Інформаційними параметрами відгуку ВСПП, відповідно до способів перетворення можуть бути його амплітуда $Mod u$ і фазовий кут $arg u$, або його дійсна $Re u$ і уявна $Im u$ компоненти та частота ω_s первинного поля. По-перше, завдяки цьому, а, по-друге, через широкі можливості встановлення або незалежного вимірювання множини $Q_l \subset Q$ параметрів ВСПП, множини $P_s \subset P$ параметрів первинного поля та множини $M_a \subset M$ параметрів сканування ОК на виході блока ВСПП формується *багатовимірний* відгук виду:

$$u = (u_1, \dots, u_{2p}; \omega)^T, \quad u_j = f_j(X), \quad j = 1, \dots, p$$

для $Q_l \subset Q, P_s \subset P, M_a \subset M,$ (9)

де u_j – інформаційні параметри відгуку ВСПП на частотах ω_s при заданих множинах Q_l, P_s, M_a , які

є функціями множини X параметрів об'єкта контролю.

Таким чином, відгук ВСПП u є багатовимірним, складові вектора якого залежать від множини X параметрів ОК. Багатовимірний відгук ВСПП утворює множину U , на яку відображається множина X параметрів ОК:

$$U = f(X). \quad (10)$$

Множину параметрів ОК із X , які підлягають контролю, позначено через S . Задача селективного ВС контролю полягає у знаходженні по множині B із множини Y інформаційних параметрів відгуку ВСПП її прообразу S у X :

$$S = f^{-1}(B), \quad B \subset Y, \quad (11)$$

що реалізується в ІВК за деяким алгоритмом.

Структура ІВК системи в узагальненому вигляді повинна включати в собі крім датчиків первинної інформації блоки попередньої обробки сигналу, керування та обчислень, а також блок відображення результатів контролю (s^*), технологічної та ін. службової інформації.

Багатовимірний відгук ВСПП попередньо перетворюють з метою виділення множини Y інформаційних складових, а саме:

– проводять операції компенсації та формування з використанням допоміжних векторів, що за безпечує відповідний зсув і поворот складових вектора u_i у просторі сигналу;

– виконуються масштабування та вимірювання $Mod u_i$, $arg u_i$ або $Re u_i$ та $Im u_i$, в результаті чого отримують дійсні значення інформаційних параметрів та здійснюють їх калібровку, зокрема за нормою $\|u\|$, яку звичайно вводять так:

$$\|u_j\| = |u_{j \text{ внес}}^{\text{ном}}|, \quad \text{для } x_{\text{ном}} \in X, \quad (12)$$

де $u_{j \text{ внес}}^{\text{ном}}$ – внесене значення відгуку ВСПП (формула (9)), для номінального рівня вектора $x_{\text{ном}} \in X$ параметрів ОК.

В результаті локальної обробки відгуку ВСПП отримують поточне значення багатовимірного вектора y інформаційних параметрів

$$y_v = (y_{v1}, y_{v2}, \dots, y_{vm})^T. \quad (13)$$

Для реалізації розв'язку в систему вводиться НЛБ модель функції перетворення підсистеми ВСПП-ОК. Ця модель може бути представленою через модель прямої функції перетворення підсистеми ВСПП-ОК, модель зворотної функції перетворення підсистеми ВСПП-ОК та складену модель. Для систем ВС вимірювань параметрів ОК до рівня похибки адекватності моделі функції перетворення підсистеми ВСПП-ОК висуваються високі вимоги, так щоб вона була меншою від заданої похибки вимірювань.

Розв'язок за деяким алгоритмом оберненої задачі ВС контролю дає на виході системи ОК-ВСПП-ІВК оцінку контрольованих параметрів $s^* = (x_1, x_2, \dots, x_v)^T$.

Два класи методів обробки багатовимірного відгуку ВСПП. Модель структури системи ОК-ВСПП-ІВК, яку розглянуто, відображає сучасні тенденції побудови засобів загального та спеціального призначення для селективного ВС контролю і вимірювань параметрів ОК. Специфіка системи відповідно до концепції рішення проблематики селективного багатопараметрового контролю, визначається методами глобального перетворення багатовимірного відгуку ВСПП за моделями функції перетворення (ФП) підсистеми ВСПП-ОК різного класу. Така система повинна базуватись на застосуванні сучасних високопродуктивних засобів обчислювальної техніки і спеціальному програмному забезпеченні всіх етапів відбору та обробки інформації, а саме: формування та відбору первинної інформації за відгуком ВСПП; локальної обробки відгуку за ВС методами формування інформаційних параметрів та загальними методами перетворення сигналів; побудови моделей різного класу номінальної функції перетворення системи із заданою похибкою адекватності; глобальної обробки багатовимірного вектора інформаційних параметрів за моделями функції перетворення системи, які характеризуються високою розмірністю та нелінійністю; документального відображення результатів контролю та їх паспортизації.

Таким чином, у своєму універсальному виконанні система селективних багато-параметрових ВС вимірювань та контролю представляє собою складну систему класу інформаційних вимірювальних систем (ІВС) і відповідає основним принципам побудови ІВС [8].

При створенні спеціалізованих засобів, що орієнтовані на вирішення конкретної задачі, їх структуру часто можна суттєво спростити за рахунок оптимізації методу відбору інформації та побудови ВСПП, спрощення моделі ФП системи, зокрема,

використанні зворотної функції перетворення (ЗФП) системи, та її реалізації за наперед заданим алгоритмом.

Особливості системи ОК-ВСПП-ІВК селективного багатопараметрового контролю визначають методи глобальної обробки багатовимірного відгуку ВСПП за моделями ФП підсистеми ВСПП-ОК. Притому можна означити два класи методів обробки багатовимірного вектора інформаційних параметрів $y = (y_1, \dots, y_n)^T$ відповідно до двох класів моделей ФП підсистеми ВСПП-ОК, а саме:

1) *метод моделей*, за яким обробка деякої реалізації вектора $y_{(k)} = (y_{1k}, \dots, y_{nk})^T$ виконується за моделлю прямої функції перетворення (ПФП) підсистеми ВСПП-ОК, що представляє собою систему нелінійних рівнянь, сформовану із множини моделей $\{y_v^*\}_1^m$ у базисі вектора параметрів ОК:

$$\begin{aligned} y_v^*(x; A_v) &= y_{vk}, \quad v = 1, \dots, m; \quad m \geq n; \\ x &\in X_0; \quad y_{vk} \in Y_0, \end{aligned} \quad (14)$$

в результаті розв'язку якої одержують оцінку x_k^* вектора параметрів ОК;

2) *метод нелінійної фільтрації*, або селективного вимірювання чи контролю заданих параметрів-складових вектора параметрів ОК, за яким обробка деякої реалізації вектора $y_{(k)} = (y_{1k}, \dots, y_{nk})^T$ виконується за моделлю ЗФП підсистеми ВСПП-ОК у базисі вектора інформаційних параметрів підсистеми

$$\begin{aligned} x_{jk}^* &= \varphi(y_{(k)}; w_j), \quad j = 1, \dots, n; \\ x_{jk}^* &\in X_0, \quad y_{(k)} \in Y_0, \end{aligned} \quad (15)$$

в результаті чого безпосередньо одержують оцінку $x_{jk}^*, j = (1, \dots, n)$ параметрів ОК.

Методи обробки багатовимірного відгуку ВСПП, які означені вище, можна віднести до відомих в теорії сигналів підходів обробки сигналів методом моделей [9] та адаптивної фільтрації [10]. Особливістю методів є те, що до аналізу вводяться нелінійні, великої розмірності багатовимірні моделі ФП підсистеми ВСПП-ОК, які характеризуються заданою похибкою адекватності, що може бути достатньо малою, тобто реалізується задача багатопараметрових вимірювань.

Метод моделей обробки багатовимірного

відгуку ВСПП. За методом моделей, що реалізується на основі моделі ПФП підсистеми ВСПП-ОК, заданому значенню вектора інформаційних параметрів $y_{(k)} \in Y_0$ ставиться у відповідність *тензор другого рангу чутливості по параметрах підсистеми* $\psi_{vi}(x_{(k)})_v$ ($i = 1, \dots, n$) із тензорного поля $t(x)$ при $x = x_{(k)} \in X_0$. Останній введено [6] на основі аналізу моделі ПФП. Якість моделі ПФП підсистеми можна дослідити за числом обумовленості матриці, якою зображується тензор чутливості в тензорному полі. При цьому модель ПФП $y_v^*(x_{(k)}; A_v)$ ($v = 1, \dots, n$) збігається із заданою похибкою з вектором інформаційних параметрів $y_k = (y_{1k}, \dots, y_{nk})^T$, тобто вхідними даними, які сформовано підсистемою ВСПП-ОК, а вектор $x_k^* = (x_{1k}^*, \dots, x_{nk}^*)^T$ представляє собою оцінку параметрів ОК. Так як модель ПФП звичайно має велику розмірність, ітераційний процес, що задає послідовність вектора $x^{(p)}, p = 0, 1, \dots, s$, яка прямує до $x_{(k)}(x^{(p)} \rightarrow x_{(k)})$, виконується програмними засобами за деякими алгоритмами розв'язку систем нелінійних рівнянь. Притому, як зазначалось, похибка оцінки вектора параметрів ОК відповідає похибці вхідних даних і прямує до "точного" значення ($x_\delta \rightarrow x_T$), якщо за результатами вимірювань вектор інформаційних параметрів прямує до точного значення $\rho(y_T, y_\delta) \leq \delta \rightarrow 0$.

Метод нелінійної фільтрації за зворотною ФП. В результаті перетворення вектора інформаційних параметрів за моделлю ЗФП здійснюється по суті *нелінійна фільтрація складової сигналу*, пропорційної заданій компоненті x_j вектора параметрів ОК, і заглушуються складові сигналу, обумовлені дією всіх інших параметрів $x_i \neq x_j$.

В залежності від постановки задачі це перетворення може бути реалізовано програмними, апаратними чи апаратно-програмними засобами. Притому, враховуючи специфіку структури відгуку ВСПП та множини інформаційних параметрів, розширюється уявлення про вид сигналів, що піддають фільтрації. Такий сигнал представляє собою багатовимірний вектор $y_{(k)}$ інформаційних параметрів ВСПП, який є відображенням у просторі R^m вектора параметрів системи ОК-ВСПП із простору R^n ($m \geq n$). Задача фільтрації полягає у формуванні на виході фільтра сигналу, пропорційного заданому параметру x_j , при довільній

зміні всіх інших параметрів системи ВСПП-ОК в заданій обмеженій області $X_0 \subset R^n$ (X_0 – компакт).

Такий фільтр представляє собою *адаптивний нелінійний суматор*, подібний до відомого адаптивного лінійного суматора [10]. На відміну від лінійного суматора, для складових вектора $y_{(k)}$ необхідно виконати нелінійні перетворення у заданому класі функцій. В сучасному виконанні обробку відгуку ВСПП за моделлю ЗФП системи необхідно здійснювати виключно програмними засобами. Тому адаптивний нелінійний фільтр слід розглядати як розвиток алгоритму реалізації адаптивного лінійного фільтра.

Адаптивний нелінійний фільтр реалізує функцію, *обернену до ПФП функції підсистеми ВСПП-ОК*, і заглушує зміни сигналу, які обумовлені дією заводських параметрів. У даному аспекті становить інтерес трактовка нелінійного адаптивного суматора як *ефективної системи компенсації сигналу завади*, обумовленої дією неконтрольованих параметрів системи ВСПП-ОК. Така інтерпретація враховує традиційний підхід до задачі обробки сигналів у методах селективного ВС контролю як компенсацію впливу заводських параметрів.

Основні положення розробки засобів селективного багатопараметрового ВС контролю та вимірювань. Із зростанням кількості параметрів ОК, вплив яких необхідно враховувати, та підвищенням точності оцінки параметрів ОК складність моделі ФП підсистеми ВСПП-ОК зростає. Для подолання проблем при побудові моделі ФП, які при цьому виникають, в [6] запропоновано побудову складеної моделі системи на основі введення моделі ФП зі змінними коефіцієнтами, декомпозиції вихідної задачі, комплексного використання часткових моделей ПФП та ЗФП підсистеми ВСПП-ОК, параметричної адаптації та ін. Це обумовлює багатовид алгоритмів обробки сигналу ВСПП в задачах вимірювань та контролю.

Моделі ФП підсистеми ВСПП-ОК характеризуються такими особливостями, як *нелінійність, багатопараметровість та велика розмірність*, що забезпечує принципове підвищення точності результатів обробки відгуку ВСПП за цими моделями.

Відповідно до концепції рішення проблематики селективного ВС контролю, на основі НЛБ моделей ФП системи, побудованих методами наближення функції багатьох змінних [5, 6], особливості створення засобів селективних ВС вимірювань і контролю як ІВС полягають у наступному:

1) в основу розробки покладаються результати математичного моделювання та дослідження методів побудови моделі функції перетворення

підсистеми ВСПП-ОК для задачі, що поставлена, та її похибки адекватності шляхом наближення функції багатьох змінних, заданою таблицею за даними розв'язку відповідної прямої задачі та/чи експериментальними даними;

2) в області моделювання на основі вибору режимів формування первинної інформації повинна виконуватись умова взаємної однозначності відображення вектора параметрів ОК із множини $X_0 \subset R^n$, де X_0 – компакт, ($x \in X_0$) та вектора інформаційних параметрів підсистеми ВСПП-ОК із множини $Y_0 \subset R^m$, $m = n(y \in Y_0)$;

3) до моделі ФП підсистеми в багатопараметрових задачах вимірювань висуваються вимоги зменшення похибки адекватності, що призводить до значного зростання розмірності моделі та проблем її побудови, для подолання яких вводиться складена модель системи та модель ФП зі змінними коефіцієнтами, декомпозиція вихідної задачі, адаптація системи та ін.;

4) похибка вхідних даних $\rho(y_\delta, y)$ результатів вимірювань вектора інформаційних параметрів системи $y = (y_1, \dots, y_n)^T$ повинна бути узгодженою з похибкою оцінки вектора параметрів ОК $\rho(x_\delta, x) \leq \delta$, яка задається умовами задачі контролю;

5) за *номінальну функцію перетворення* підсистеми ВСПП-ОК приймається модель ФП системи ВСПП-ОК, побудована чи відкоректована за результатами фізичного та натурного експериментів, яка задовольняє заданій похибці адекватності моделі.

Дослідження методів відбору і обробки інформації шляхом математичного моделювання має на меті оптимізацію системи ВС контролю в частині вибору способу збудження первинного ЕМП; способу відбору первинної інформації та структури ВСПП з урахуванням можливостей декомпозиції моделі ФП і параметричної адаптації системи; методів локальної обробки первинної інформації, що забезпечують задану похибку вимірювань інформаційних параметрів; вибору моделі ФП та способів її побудови при заданій похибці адекватності моделі.

Одним із ефективних підходів зменшення розмірності моделі ФП системи, що впливає на її точність, полягає у введенні адаптації по деякому з параметрів системи. Найбільш доступною є адаптація за узагальненим параметром $\beta \rightarrow const$ змінно-частотним методом, а критерієм якості адаптації є похибка, з якою виконується умова $\beta = const$. Притому ця задача має й самостійне

значення, як створення вимірювачів високої точності з лінійною залежністю між ПЕП та періодом частоти за співвідношенням $\omega\sigma = const$. Остання, як відомо, в значній мірі сприяє вирішенню проблеми контрольних взірців для задач абсолютних вимірювань ПЕП.

Таким чином, в роботі представлено узагальнену структуру системи селективного ВС контролю й вимірювань, яка відрізняється тим, що до її складу введено нелінійну модель високої розмірності, функції перетворення системи, за якою здійснюється обробка багатовимірних відгуків ВСПП, та сформульовано основні положення щодо розробки таких систем. Математичне моделювання та експериментальні дослідження показали, що похибка оцінки параметрів оболонки, зокрема, в трипараметровій задачі вимірювання товщини оболонки, товщини діелектричного покриття та питомої електричної провідності може не перевищувати десятих часток відсотка [11].

1. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики.–Новосибирск: Наука, 1967.–144с. 2. Дякин В.В., Сандовский В.А. Теория и расчёт накладных вихрековых преобразователей.–М.: Наука, 1981.–136 с. 3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий:

Справ. / Под ред. В.В. Клюева.–М.: Машиностроение, 1986.–352 с. 4. Неразрушающий контроль. В 5-ти кн. Кн. 3: Электромагнитный контроль/ В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухо-руков.–М.: Высш. шк., 1992.–320 с. 5. Тетерко А.Я. Створення нелінійної моделі відгуку первинного перетворювача для задач селективного вихрострумowego контролю // ФХММ.–1996.–№6.–С. 93-103. 6. Тетерко А.Я. Розробка методів і засобів селективної вихрострумової дефектоскопії: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.11.13 / ІФНТУНГ.–Ів.-Франківськ, 2002.–32 с. 7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач.– М.: Наука, 1986. – 287 с. 8. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. – К.: Вища школа, 1988. – 359 с. 9. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы.– М.: Энергоатом, 1985. – 440 с. 10. Адаптивные фильтры / Под ред. К.Ф. Коуэна, П.М. Гранта.– М.: Мир, 1988. – 392 с. 11. Тетерко А.Я., Гутник В.І. Нелінійна модель вихрострумowego первинного перетворювача для задач підвищення точності селективних вимірювань параметрів оболонок // Відбір і обробка інформації. - 2002.– Вип..16(92). – С. 18-24.

УДК 681.3.07

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТУ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ

© Бурау Н. І., Зажицький О. В., 2003

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Здійснено аналіз точності класифікації стану об'єкта віброакустичної діагностики стохастичною нейронною мережею. Аналіз точності здійснювався за коефіцієнтом ефективності класифікації, як функції параметру впливу стохастичної нейронної мережі. Для підвищення точності класифікації використовується нелінійне перетворення діагностичних ознак

Вимоги підвищення надійності та ресурсу елементів конструкцій, машин та механізмів спонукають до вдосконалення та подальшого розвитку методів та засобів діагностики дефектів на стадії їх зародження та початкового розвитку. Особливо актуально це питання постає для елементів обортових систем, що мають широке коло застосування, зокрема в енергетиці та авіації. Для таких систем найбільш прийнятними є методи вібраційної та

віброакустичної діагностики, які на сьогоднішній день є досить активно досліджуваними і знаходять свій подальший розвиток у застосуванні сучасних методів обробки вібраційних та акустичних сигналів, а також у використанні новітніх інформаційних технологій для розпізнавання технічного стану об'єкта діагностики [1]. Хоча в залежності від складності самого об'єкта діагностики (ОД) та характеру вібраційних процесів, що протікають в