

УДК 621.114.32

# ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА БЕЗЕТАЛОННОЇ ДІАГНОСТИКИ ВІБРОАКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

**В.С. Єременко**Кандидат технічних наук, доцент, завідувач лабораторії  
Науково-дослідна лабораторія систем неруйнівного контролю\*

Контактний тел.: (044) 406-74-35, 067-209-07-69

E-mail: nau\_307@ukr.net

**В.В. Нечипорук**

Кандидат технічних наук, доцент\*

Контактний тел.: (044) 406-74-35

E-mail: nau\_307@ukr.net

**А.В. Переїденко**

Лаборант\*

Контактний тел.: (044) 406-74-35, 093-711-10-70

E-mail: zoolkis@meta.ua

**П.А. Шегедін**

Лаборант\*

Контактний тел.: (044) 406-74-35, 063-647-26-05

E-mail: vermat@meta.ua

\*Кафедра інформаційно-вимірювальних систем

Національний авіаційний університет

пр. Комарова, 1, корпус 11, ауд. 408, м. Київ, Україна,  
03680

*Висвітлено загальні вимоги до створення систем безеталонної діагностики. Приведено структуру програмного забезпечення розробленої системи, що реалізує віброакустичний метод контролю. Описано систему для проведення безеталонної діагностики об'єктів зі складною структурою. Систему реалізовано в середовищі LabVIEW 2010*

*Ключові слова: віброакустичний метод, безеталонна діагностика, нейронна мережа*

*Описаны общие требования к созданию систем безэталонной диагностики. Приведена структура программного обеспечения разработанной системы, реализующей виброакустический метод контроля. Описана система для проведения безэталонной диагностики объектов со сложной структурой. Система реализована в среде LabVIEW 2010*

*Ключевые слова: виброакустический метод, безэталонная диагностика, нейронная сеть*

*This article is devoted to realization system of the standardless diagnostic of technical objects. The structure of software is represented in the article. The standardless diagnostic system of complex objects is described. The system was created with NI LabVIEW 2010*

*Key words: vibroacoustic method, standardless diagnostic, neural network*

## 1. Вступ

На сьогоднішній день існує широке різноманіття методів та систем діагностики та класифікації технічного стану об'єктів контролю (ОК). Однак, їх використання не дає можливості проводити з високою достовірністю діагностику виробів зі складною структурою, зокрема виробів із композиційних матеріалів, лопаток газотурбінних авіадвигунів (ГТД), бандажів колісних пар електровозу тощо, без застосування атестованих зразків (еталонів). Безеталонну діагностику переліче-

них об'єктів необхідно виконувати такими методами, застосування яких дає можливість накопичувати отриману інформацію про можливі дефекти, розширювати їх базу та уточнювати в процесі функціонування без повного перенавчання всієї системи. Іншою проблемою може бути наявність великої кількості інформативних параметрів, які характеризують технічний стан об'єкту контролю, а отже матиме місце велика розмірність простору діагностичних ознак, за яким відбувається побудова вирішальних правил. Використання статистичних методів в такому випадку ускладнено, оскільки

доводиться виконувати аналіз багатовимірних функцій розподілу ймовірності, що призводить до значних затрат апаратних ресурсів та часу.

## 2. Постановка задачі

Задача розробки системи безеталонної діагностики технічного стану виробів зі складною структурою, яка не матиме зазначених недоліків, є актуальною. Вирішення цієї задачі потребує виконання принципів, що дозволятимуть швидко та ефективно проводити діагностику стану ОК, адаптувати розроблену систему до зміни умов функціонування та застосовувати її у разі необхідності для контролю різних типів об'єктів без значної зміни основної структури програмного забезпечення (ПЗ).

ПЗ такої системи обов'язково повинно включати у своєму складі два блоки:

1). Блок діагностики, завданням якого є виявлення дефектних ділянок (аномалій) і/або формування навчальної вибірки, яка необхідна при вирішенні задачі класифікації. Функції блоку можна звести у дві групи:

- встановлення діагностичних ознак, які відповідають різним станам виробу (придатний, не придатний);
- формування навчальних сукупностей, які відповідають конкретним станам виробу;
- побудова правила прийняття діагностичних рішень, на основі аналізу вхідного вектору інформаційних ознак.

2). Блок класифікації, що виконує класифікацією технічного стану ОК. Функції блоку поділяються на три групи:

- встановлення діагностичних ознак, які відповідають різним станам виробу (ступеням ушкодження, типам дефектів та ін.);
- формування діагностичних просторів і побудова розділяючих гіперплощин;
- побудова правил прийняття рішення щодо класифікації, які реалізуються на основі навчальних сукупностей, отриманих на попередніх етапах.

Серед найбільш перспективних методів безеталонної діагностики та класифікації, які задовольняють описаним вимогам є методи, що засновані на використанні штучних нейронних мереж (НМ). Використання подібних методів дозволяє отримати високу завадостійкість, незалежність від впливу зовнішніх факторів і високу ефективність діагностики. Застосування НМ при створенні систем безеталонної діагностики дозволяє підвищити достовірність контролю, значно зменшити вартість реалізації системи, знизити апаратні витрати та підвищити її швидкодію. Нейронні мережі дають можливість вирішувати задачу кластерного аналізу [1], будувати складні розділяючі гіперплощини та проводити класифікацію лінійно нероздільних об'єктів [2], а також вивчати нову інформацію та доповнювати власну базу знань про номенклатуру можливих класів без втрати раніше вивченої інформації.

## 3. Опис вирішення задачі

В основу системи безеталонної діагностики технічного стану ОК покладено нейромережевий класи-

фікатор, що забезпечує гнучку та стабільну базу знань про класи можливих дефектів, ефективно оперує з векторами даних великої розмірності, має здатність адаптувати архітектуру сформованої мережі до вирішення нових задач і дає можливість отримати високу достовірність контролю. Застосування НМ для вирішення поставленої задачі забезпечує інваріантність використання системи, дозволяє виконувати ефективну обробку, аналіз і класифікацію вхідних даних, що суттєво не залежить від методу діагностики та збору даних, які характеризують стан об'єкту контролю.

Серед існуючих прикладних програмних пакетів, що забезпечують певні можливості при роботі з апаратом НМ, можна виділити такі як MatLAB, NeuroSolution, NeuroPro, STATISTICA та ряд інших. Перераховані програмні пакети дозволяють вирішувати широке коло прикладних задач, але накладають ряд обмежень на використання архітектур НМ, не дозволяють проводити гнучку настройку окремих нейронів, вносити доповнення та розробляти власні алгоритми навчання та функціонування нейронних мереж, деякі складні моделі НМ в даних програмних пакетах взагалі відсутні і не реалізовані. Саме тому розробка програмного забезпечення системи безеталонної діагностики з використанням НМ відбувалася у середовищі програмування NI LabVIEW 2010. Графічна мова програмування LabVIEW не накладає обмежень на використання архітектур мережі та на алгоритми навчання. Існує можливість розробки власних алгоритмів навчання і функціонування НМ, створення нових архітектур і поєднання різних типів мереж в єдину багатofункціональну систему, підключення раніше створених модулів та динамічних бібліотек DLL. Також використання версії LabVIEW 2010 дозволяє реалізувати паралельне виконання програми, що підвищує швидкодію та ефективність роботи системи в цілому.

У зв'язку з необхідністю вирішувати задачі безеталонної діагностики об'єктів різних типів шляхом застосування єдиної системи або системи, що в незначній мірі відрізняється від базової (різниця полягає у заміні або доповненні декількох функцій, які є специфічними для діагностики конкретного об'єкту), основний програмний код розробленої системи виконано за модульною структурою, що дає можливість підключення та інтеграції в основний код програми раніше створених підпрограм та додаткових модулів на мовах високого рівня, розширювати систему додатковими програмними модулями та функціями без внесення значних змін в основну структуру програмного забезпечення. Даний підхід дозволяє без ускладнень додавати необхідні або виключати непотрібні елементи системи, швидко перенастроювати, модернізувати та адаптувати систему до зміни умов роботи, тощо.

Під час розробки системи безеталонної діагностики технічного стану ОК передбачалось, що дана система зможе працювати як зі стандартними приладами отримання первинної інформації (дефектоскопами), так і зі спеціально розробленими для конкретної задачі приладами збору даних на основі аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

Таким чином, у складі системи реалізовано універсальний модуль вводу-виводу (МВВ), що забезпечує гнучку взаємодію як зі стандартними дефектоскопами, так і зі спеціальними системами збору даних. В

структурі (рис. 1) системи безеталонної діагностики технічного стану об'єктів можна виділити дві основні частини: апаратну та програмну.

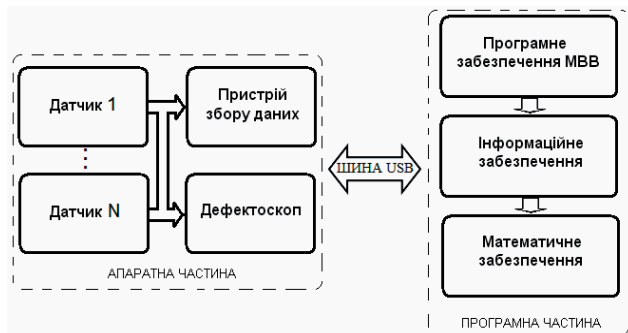


Рис. 1. Структурна схема системи діагностики

У складі апаратної частини присутні наступні блоки:

1). Датчики – первинні перетворювачі фізичних величин в електричний сигнал. В якості первинного перетворювача в розробленій системі використано акустичні мікрофони емнісного типу з діапазоном робочих частот від 20 Гц до 16 кГц.

2). Пристрій збору даних – платформа збору даних cDAQ або cRIO (National Instruments) з набором модулів аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП) та модулів спеціального призначення.

3). Стандартний дефектоскоп – для збору експериментальних даних може використовуватись стандартне обладнання із відповідним програмним забезпеченням.

У випадку використання платформи cDAQ (рис. 2) зв'язок з комп'ютером відбувається за допомогою інтерфейсу передачі даних USB 2.0. Пропускна здатність каналу складає 3,2 Мб/с. Вибір модулів АЦП визначається специфікою конкретної задачі (необхідною кількістю каналів, частотою дискретизації та динамічним діапазоном вхідного сигналу тощо). В розробленій системі було використано 4-х каналний АЦП NI 9215, динамічний діапазон якого складає ±10В, розрядність 16 біт, частота дискретизації 100кГц/канал.

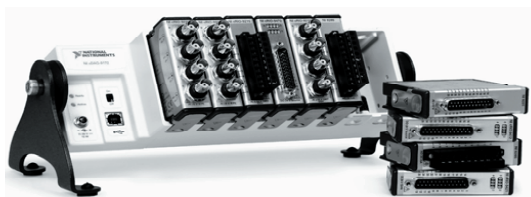


Рис. 2. Платформа збору даних cDAQ

Для отримання первинної інформації про ОК використовувався віброакустичний метод діагностики. Одним з найбільш теоретично досліджених і широко використовуваних на практиці віброакустичних методів є низькочастотний (0...25 кГц) метод вільних коливань

(МВК), що полягає в ударному збудженні вільно затухаючих пружних коливань об'єкту контролю з подальшим аналізом їх параметрів і характеристик [3]. Метод є ефективним для діагностики утомних пошкоджень, дефектів розшарування, порушення з'єднань, дефектів, що зароджуються, а також тріщиноподібних пошкоджень міліметрового розмірного рівня в таких об'єктах як лопатки ГТД, стільникових панелях з композиційних матеріалів, бандажах колісних пар електровозу ЧС-4 тощо.

Акустичні сигнали несуть велику кількість діагностичної інформації про технічний стан ОК, основна частина якої зосереджена в місцях згущення частот в спектрі сигналу. МВК базується на основі залежності відповідних гармонік спектру прийнятого сигналу від наявності внутрішніх дефектів в об'єкті діагностики. Таким чином, навіть у разі відсутності дефекту досліджуваній сигнал є досить складним і містить множинну інформативних вузькосмугових компонент на тлі широкосмугової вимірювальної завади. Робота з подібними сигналами потребує застосування ефективних методів обробки експериментальних даних, одним з яких є метод на основі використання штучних нейронних мереж [4].

Забезпечення взаємодії МВВ та ПК, організація інформаційних потоків системи, реалізація алгоритмів обробки та відображення отриманих результатів покладене на програмну частину системи, зокрема на математичне та інформаційне забезпечення, а також на програмне забезпечення МВВ. Архітектура програмних засобів системи приведена на рис. 3.

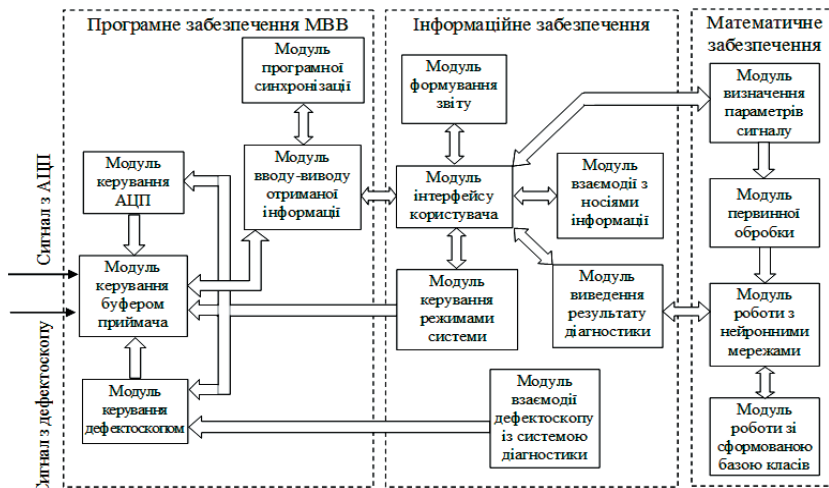


Рис. 3. Архітектура програмних засобів системи безеталонної діагностики

До складу програмного забезпечення системи безеталонної діагностики входять:

1). Модуль керування АЦП. В даний модуль входять вузли, що дозволяють виконувати настройку основних параметрів АЦП (частота дискретизації, вхідний діапазон значень сигналу, вибір кількості задіяних каналів, джерело синхронізації тощо) та керувати режимом його роботи (запуск, зупинка, очищення буферу).

2). Модуль керування режимом роботи розробленої системи діагностики. Призначений для настройки основних параметрів системи безеталонної діагностики: вибір джерела вхідних даних (дефектоскоп, АЦП, фізичний або оптичний носій даних), вибір режиму роботи системи.

3). Модуль взаємодії з носіями інформації. Дозволяє виконувати зчитування даних з носія або виводити їх запис. Також даний модуль призначений для формування масиву/підмасиву необхідних значень діагностичних параметрів для їх імпорту в інші інформаційно-діагностичні системи або для формування звіту. У випадку зчитування даних з носія, даний модуль використовується для формування масиву з послідовності і представлення даних у необхідному форматі.

4). Модуль встановлення формату та представлення результатів роботи системи, а також модуль формування звіту. Модулі виконують приведення результату до необхідного та зручного для сприйняття людиною формату, зберігають його на носії даних або виводять на дисплей. У випадку необхідності, існує можливість відобразити параметри сформованої нейронної мережі, виконувати запис та зчитування цих параметрів і бази сформованих класів.

5). Модуль керування базою сформованих класів. Дозволяє виконувати зчитування та запис сформованих в процесі роботи системи класів, їх групування, визначення додаткових параметрів, зчитування та запис для подальшої роботи.

6). Модуль керування нейромережевим класифікатором. Функції даного модуля надають можливість користувачу вибирати тип застосовуваної нейронної мережі та встановлювати необхідні їй параметри. Незалежно від типу НМ даний модуль містить в собі вузли, що дозволяють мережі навчатись, виконувати формування класів досліджуваних ОК, проводити їх класифікацію, відслідковувати появу нових об'єктів, що не відносяться до жодного зі сформованих класів, аномалій, формувати відповідь мережі тощо.

7). Модуль керування буфером приймача інформаційного сигналу. Отримані з АЦП або дефектоскопу дані записуються у масив значень, який надалі можна обробляти або зберегти для обробки у подальшому даною або іншою системою діагностики.

8). Модуль первинної обробки. Дозволяє виконувати відбір необхідних діагностичних ознак, тобто вибрати найбільш інформативні параметри та ознаки і використовувати для аналізу саме їх, а не повний масив значень, що іноді може бути великим, хоча інформативними є не всі елементи масиву. В ряді випадків можна обмежитись векторами даних невеликої розмірності. Для належної та ефективної роботи системи безеталонної діагностики вхідні дані повинні бути правильно підготовлені, тому в даному модулі виконуються алгоритми, що дозволяють підвищити інформативність отриманих даних.

На рис. 4 представлено інтерфейс розробленої системи, що містить елементи керування для налаштування параметрів аналого-цифрового перетворювача, підготовки і нормування вхідних даних, вибір типу нейронної мережі (залежить від поставленої задачі, методу збору даних, ОК тощо), швидкість її

навчання, основні параметри мережі, також в системі передбачено можливість зберігати отримані інформаційні сигнали, результати роботи і можливість використання даних записаних на фізичному або оптичному носії.

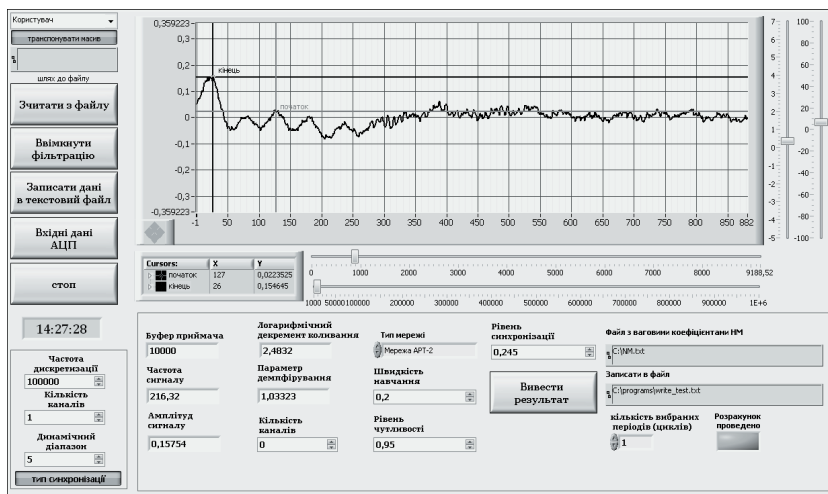


Рис. 4. Інтерфейс програмного забезпечення розробленої системи

Система безеталонної діагностики дозволяє:

- візуалізувати прийнятий сигнал;
- проводити розрахунок інформативних параметрів інформаційного сигналу датчика;
- виконувати первинну обробку інформативного сигналу;
- проводити кластерний аналіз вхідних даних;
- визначати та будувати розділяючі гіперплощини;
- класифікувати стан об'єкту контролю та відображати характеристики сформованих класів;
- виконувати запис значень будь-якого з вказаних інформаційних параметрів, як в безперервному режимі, так і у вибраний момент часу;
- будувати часову залежність інформативних параметрів.

## Висновки

Розроблена система безеталонної діагностики технічного стану складних об'єктів, яка дозволяє отримати більше інформації про технічний стан ОК, виконувати класифікацію можливих дефектів, виявляти появу аномалій, тенденції їх розвитку та підвищує достовірність прийняття рішення, що у свою чергу може значно підвищити вірогідність контролю, понизити часові витрати на обробку і аналіз результатів вимірювань.

Для обробки експериментальних даних розроблено нейромережевий класифікатор, який дозволяє виконувати нелінійне розділення та класифікацію об'єктів за набором діагностичних ознак, виділяти складну залежність між ступенем ушкодження об'єкта контролю та значеннями інформативних параметрів. Під час навчання нейронна мережа може автоматично змінювати власні параметри, досягаючи при цьому найбільш високої достовірності контролю.

Представлена система за результатами віброакустичної діагностики дозволяє визначати технічний стан об'єкту контролю та тип дефекту. Система знаходиться у тестовій експлуатації. Перевагою розробленої системи є гнучкість її архітектури, висока швидкодія, достовірність обробки інформації, а також широкі можливості її представлення та реєстрації.

#### Література

1. Єременко В.С., Переїденко А.В. Дослідження алгоритмів проведення кластерного аналізу для вирішення задач неруйнівного контролю // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – Харків, 2010. – №1. – с.40-43.

2. Єременко В.С., Гільова О.О., Суслів Є.Ф., Переїденко А.В. Побудова вирішальних правил при багатопараметровому неруйнівному контролі // 18-я міжнародна конференція «современные методы и средства НК и ТД», 2010, с.78-81.
3. Бурау Н.І., Гельман Л.М. Теоретичні основи діагностичного низькочастотного акустичного методу вільних коливань // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 1998. – № 3. – С. 107–110.
4. Зажицький О. В. Розпізнавання нейронними мережами стану лопаток авіаційних двигунів у процесі віброакустичного моніторингу // Автореферат дисертаційної роботи, Київ, НТУУ «КПІ» 2008.

*Запропоновано підходи до розробки технічних засобів для механізації та автоматизації процесу забезпечення заданого теплового режиму відкритої агроєкосистеми. Розробка цих питань дає можливість розширення арсеналу методів і технічних засобів для систем точного землеробства*

*Ключові слова: заморозок, тепловий режим саду*

*Предложены подходы к разработке технических средств для механизации и автоматизации процесса обеспечения заданного теплового режима открытой агроэко-системы. Разработка этих вопросов дает возможность расширения арсенала методов и технических средств для систем точного земледелия*

*Ключевые слова: заморозок, тепловой режим сада*

*This article represents approaches to working out of means for mechanization and automation of process of maintenance of the process of ensuring a given thermal regime of open agroecosystem. Working out of these questions gives the chance expansions of an arsenal of methods and means for systems of exact agriculture*

*Keywords: frost, a thermal mode of a garden*

УДК 001.57:658:512

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОТ ЗАМОРОЗКОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

**А. В. Рудницкая**

Аспирант

Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства имени Петра Василенка  
ул. Артёма, 44, г. Харьков, Украина, 61050  
Контактный тел.: (057) 755-58-16, (057) 732-86-40  
E-mail: semaskacat@mail.ru

### 1. Введение

Актуальной является проблема обеспечения заданного теплового режима садов и питомников саженцев, находящихся в открытом грунте, в экстремальные промежутки времени года (весенние заморозки, зимние морозы, первые осенние морозы).

Это возможно осуществить на основе разработки мобильного комплекса технических средств для механизации и автоматизации процесса обеспечения теплового режима сада путем мониторинга теплового режима агроэкоэcosystemы и управления параметрами подвижного источника тепла. Разработка этих вопросов дает возможность расширения арсенала