

СИСТЕМА ВІДПРАЦЮВАННЯ МЕТОДИК НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Єременко В.С., Переїденко А.В.

Національний авіаційний університет

nau__307@ukr.net

У статті розглянуто процес реалізації автоматичної системи обробки й аналізу даних неруйнівного контролю з використанням середовища розробки LabVIEW 8.5. Система може бути використана для визначення основних параметрів сигналів та для обчислення достовірності контролю.

This report is devoted to realization the automatic data processing system of NDT measuring results using the LabVIEW 8.5 programming environment. System can be used for calculation signal data and certainty value of non-destructive testing.

Вступ

У наш час вимірювальні перетворювачі, прилади, системи і комплекси дають змогу проводити вимірювання високої точності в різних умовах. Проте виникає задача статистичної обробки великих масивів експериментальних даних і подальший їх аналіз. Обробка результатів вимірювального експерименту базується на статистичному аналізі отриманих даних і за великих обсягів інформації виникає необхідність в автоматизації даного процесу. Статистична обробка результатів експерименту складається з кількох етапів, серед яких: визначення статистичних характеристик, виключення аномальних значень, перевірка отриманих даних на відповідність теоретичному закону розподілу.

Застосування інформаційних технологій і сучасного програмного забезпечення в процесі проектування і розробки апаратури неруйнівного контролю відкриває нові можливості для створення апаратно-програмних комплексів реєстрації сигналів контролю, а також їх подальшої статистичної обробки та аналізу. Сучасні обчислювальні системи, пристрої збору і обробки сигналів дають змогу реалізувати алгоритми аналізу високої складності, що дає можливість виділяти з інформативних сигналів більшу кількість параметрів, які надалі можна застосовувати як інформативні, підвищуючи тим самим достовірність контролю [1]. Таким чином, задача розробки і впровадження нових методик обробки інформаційних сигналів датчиків систем неруйнівного контролю є достатньо актуальним.

Постановка завдання

Сучасні програмні засоби математичного аналізу, такі як *MatchCAD* від компанії *MathSoft*, *MatLab* (*The MathWorks inc.*), *Statistica* (*Statsoft inc.*), дають змогу вирішувати широке коло задач, пов'язаних з обробкою експериментальних даних, використовуючи різні алгоритми, закладені як вбудовані функції. Однак ці програмні засоби не дають можливості виконувати узгодження з різними джерелами даних, а також з функціональними програмними модулями, розробленими на інших мовах програмування.

Існуюче програмне забезпечення, яке виконує операції статистичної обробки та аналізу результатів експерименту і за допомогою яких

можна виконувати відпрацювання методик неруйнівного контролю авіаційних конструкцій, є вузькоспеціалізованим, що виключає або накладе істотні обмеження на модернізацію (наприклад, зміна і доповнення переліку алгоритмів, за допомогою яких відбувається аналіз), ускладнює їх інтеграцію з іншими програмними модулями і продуктами, що у свою чергу також не дає змоги повною мірою проводити обробку інформативного сигналу і не забезпечує необхідну достовірність контролю.

Виходячи з вище переліченого автори поставили завдання щодо створення автоматичної системи статистичної обробки й аналізу результатів вимірювань, яка доватиме змогу визначати основні параметри розподілу вхідної величини, перевіряти відповідність закону розподілу отриманих вибірок теоретично заданому, виконувати перевірку гіпотези про Гауссівий закон розподілу, зберігати проміжні та кінцеві результати аналізу даних експерименту. Необхідною умовою при створенні зазначеної системи була реалізація можливості її взаємодії із зовнішніми джерелами даних на високому рівні, що дало б можливість використовувати як джерела даних як текстові файли з фізичного носія даних, так і первинні вимірювальні перетворювачі та інші зовнішні пристрої, що функціонують в режимі реального часу і здійснюють зв'язок із комп'ютером через високошвидкісні інтерфейси передавання даних (USB, PCI, PCIe), з подальшим оцифровуванням аналогових сигналів від них.

Також однією із поставлених задач була розробка методики проведення неруйнівного контролю кришки лабіринту авіаційної турбіни.

Для проведення моніторингу технічного стану об'єкта контролю (ОК) в сучасних засобах контролю застосовується технологія з безперервною реєстрацією сигналів. При цьому в основному інформативним параметром сигналів датчиків є амплітуда сигналу. Сигнал, амплітуда якого перевищує заданий поріг, фіксується апаратурою контролю. Така технологія для забезпечення проведення повноцінного моніторингу вимагає або багатократного контролю з різними рівнями амплітудного порога, або застосування додаткових рівнів реєстрації для забезпечення можливості спостереження за виникненням дефекту й визначенням тенденції його розвитку.

У зв'язку з цим виникає необхідність в реєстрації, запам'ятовуванні і збереженні, достатньо великого обсягу інформації. Рішення про результат контролю приймається відповідно до заданих критеріїв бракування.

Інформацію про стан об'єкта контролю містить вимірювання амплітуд сигналів від дефекту. Для підвищення інформативності бази даних для моніторингу технічного стану об'єкта контролю необхідно формувати на основі оцінок інформативних параметрів сигналів, отриманих у процесі контролю. Ці інформативні параметри за своєю фізичною природою є випадковими дискретними величинами. Враховуючи, що зміни технічного стану об'єктів спостереження в процесі експлуатації виявляються через зміни параметрів вимірювань, а також їх статистичних закономірностей, формування бази даних для моніторингу доцільно здійснювати за статистичними портретами [2].

У процесі контролю ОК формується масив з N вимірювань. Через обробку цих вимірювань можна обчислити кількісні показники контролю будь-якої елементарної ділянки об'єкта контролю. Загальними показниками під час проведення діагностичних робіт є: середні значення і вибіркові дисперсії вимірювань. Якщо отримати вимірювання інформативних параметрів на еталонних зразках, які відповідають якісним і дефектним виробам, то їх можна використовувати для формування вирішальних правил контролю об'єктів, визначення порогових рівнів аномалій і бракування, за допомогою яких можна отримати функції прийняття рішень. Таким чином, статистичний портрет об'єкта контролю при обробці результатів вимірювань включає такі вихідні дані для моніторингу: порогові рівні дефектів, середні значення вибірок вимірювань, вибіркові дисперсії.

Об'єктом контролю є кришка лабіринту авіаційної турбіни, яка являє собою дві ідентичні складові одиниці: півкільце верхнє і півкільце нижнє з напайкою на внутрішній частині деталі тонкого шару мельхіору з нанесеними насічками. Товщина напайки мельхіору $1,45 \pm 0,15$ мм, висота насічки — 0,5 мм. Для діагностування кришки лабіринту був використаний набір ультразвукового обладнання: дефектоскоп Einstein II фірми MODSONIC, похилий високочастотний перетворювач MODSONIC MBW 70 N4 з робочою частотою 4 МГц і прямий роздільно-сумщений перетворювач MODSONIC MMEB4H з частотою введення ультразвукових коливань в об'єкт контролю 4 МГц. Зовнішній вигляд зазначених датчиків поданий на рис. 1. Основним типом дефекту є порушення суцільності й відшарування. Наявність насічок на мельхіоровому покритті обумовлює необхідність сканування тільки основної частини кришки лабіринту. Наявність насічок на мельхіоровому покритті дає можливість розсіювати основну частину енергії донного сигналу. Під час проведення неруйнівного контролю кришки лабіринту авіаційної турбіни була створена база даних сигналів від різних дефектів. Недоліком є тонкий шар сплаву (товщина $2,15 \pm 0,15$ мм) основної

частини конструкції кришки лабіринту авіаційної турбіни.

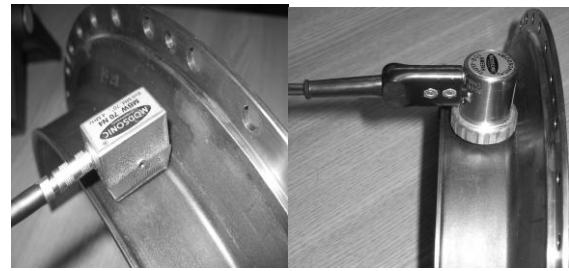


Рис. 1. Похилий (а) та роздільно-сумщений (б) датчики

Завдання контролю кришки лабіринту було розділене на два завдання — контроль дефектів в основній поверхні деталі (рис. 2) за допомогою прямого роздільно-сумщеного датчика і контроль дефектів в краєвих зонах деталі (рис. 3) з використанням похилого перетворювача.

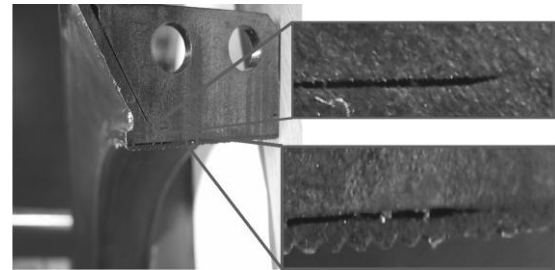


Рис. 2. Дефект в основній зоні кришки лабіринту

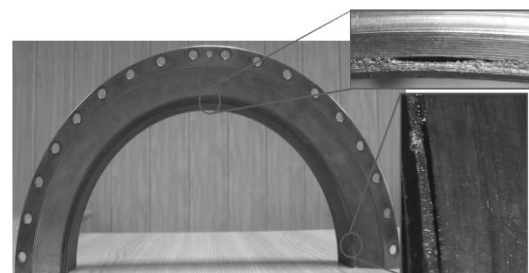


Рис. 3. Наявність дефекту в краєвій зоні

Для обчислення порогових рівнів набиралася статистика на півкільцях, за якими визначалися параметри рівня бракування. Для виявлення дефектів у краєвих зонах півкільця кришки лабіринту, які не піддаються контролю прямими сумщеними або роздільно-сумщеними датчиками, використовувалися похилі перетворювачі MBW 45 N4, MBW 60 N4 і MBW 70 N4 з кутами введення ультразвукових коливань 45° , 60° і 70° відповідно.

Практичним шляхом було встановлено, що для контролю краєвих зон кришки лабіринту придатним є похилий перетворювач з кутом введення коливань 70° . Діаграми сигналів з різних дефектних зон, які були отримані даним перетворювачем наведені на рис. 4, 5, 6, 7.

Зміна середнього значення амплітуди прийнятого сигналу зумовлена зміною розмірів дефекту. Таким чином, можна відзначити наявність зв'язку між сформованими за результатами вимірювань

неруйнівного контролю статистичними портрета-

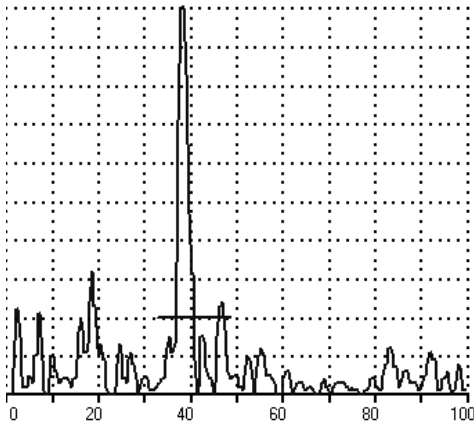


Рис. 4. Видимий дефект у краєвій зоні

ми і технічним станом об'єкта контролю.

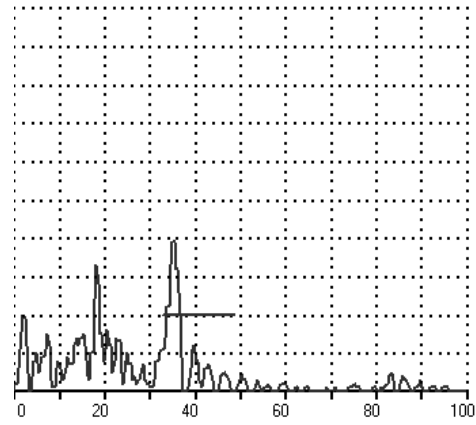


Рис. 5. Прихований дефект у краєвій зоні

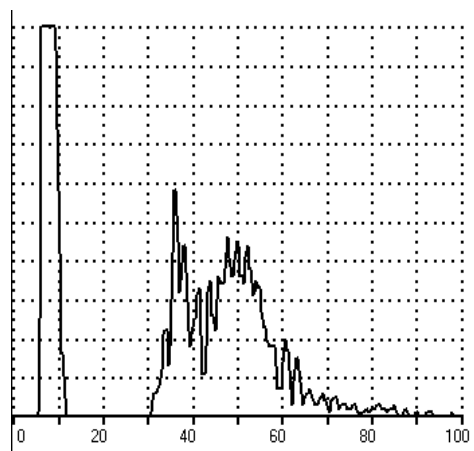


Рис. 6. Видимий дефект у центральній зоні

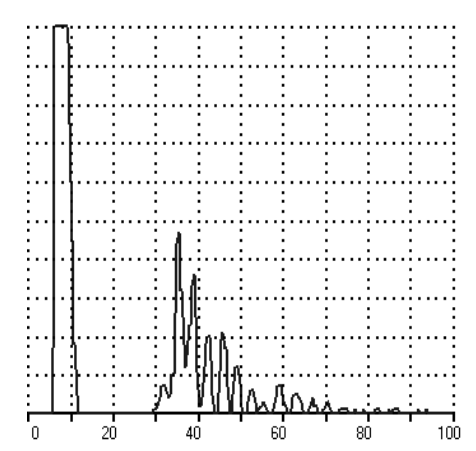


Рис. 7. Прихований дефект у центральній зоні

Це дає підстави використовувати їх як базу даних для прийняття рішень процесі моніторингу.

Для статистичної обробки результатів і підвищення достовірності неруйнівного контролю на кафедрі інформаційно-вимірювальних систем Національного авіаційного університету була створена спеціальна інформаційна система статистичної обробки даних. Як середовище розробки був використаний програмний пакет фірми *National Instruments LabVIEW 8.5*.

Основним принципом побудови системи в середовищі *LabVIEW* є можливість перетворення персонального комп'ютера у вимірювальний комплекс з необхідними метрологічними характеристиками. Програмування відбувається графічно, тобто відсутній звичайний текстовий опис алгоритму на мові програм високого рівня таких, як *C*, *C++*, *Pascal* тощо. Інженерів досить скласти блок-схему алгоритму та внести її до програми.

Основний програмний код системи статистичної обробки даних складається з трьох окремих програмних функціональних модулів (підпрограми обчислення основних параметрів сигналу, підпрограми розрахунку параметрів і побудови гістограм, модуль оцінювання гіпотези про закон розподілу результатів вимірювань).

Існує можливість підключення та інтеграції в основний код програми системи обробки і аналізу результатів вимірювання раніше створених програм на мовах високого рівня, працювати з динамічними бібліотеками *DLL*, розширювати систему додатковими програмними модулями та функціями [3; 4].

Функціональні можливості даної системи:

- візуалізація оцифрованого сигналу;
- розрахунок інформативних параметрів інформаційного сигналу датчика;
- запис значень будь-якого з указаних інформативних параметрів;
- побудова часових залежностей інформативних параметрів;
- перевірка гіпотези про Гауссовий закон розподілу параметрів;
- побудова теоретичного закону розподілу параметрів;
- визначення ймовірності працездатного стану;
- визначення ризиків виробника і замовника при контролі параметра;
- обчислення характеристик достовірності контролю;
- розрахунок і побудова гістограм;
- робота в режимі реального часу.

Інтерфейс системи статистичної обробки аналізу результатів вимірювань подано на рис. 8.

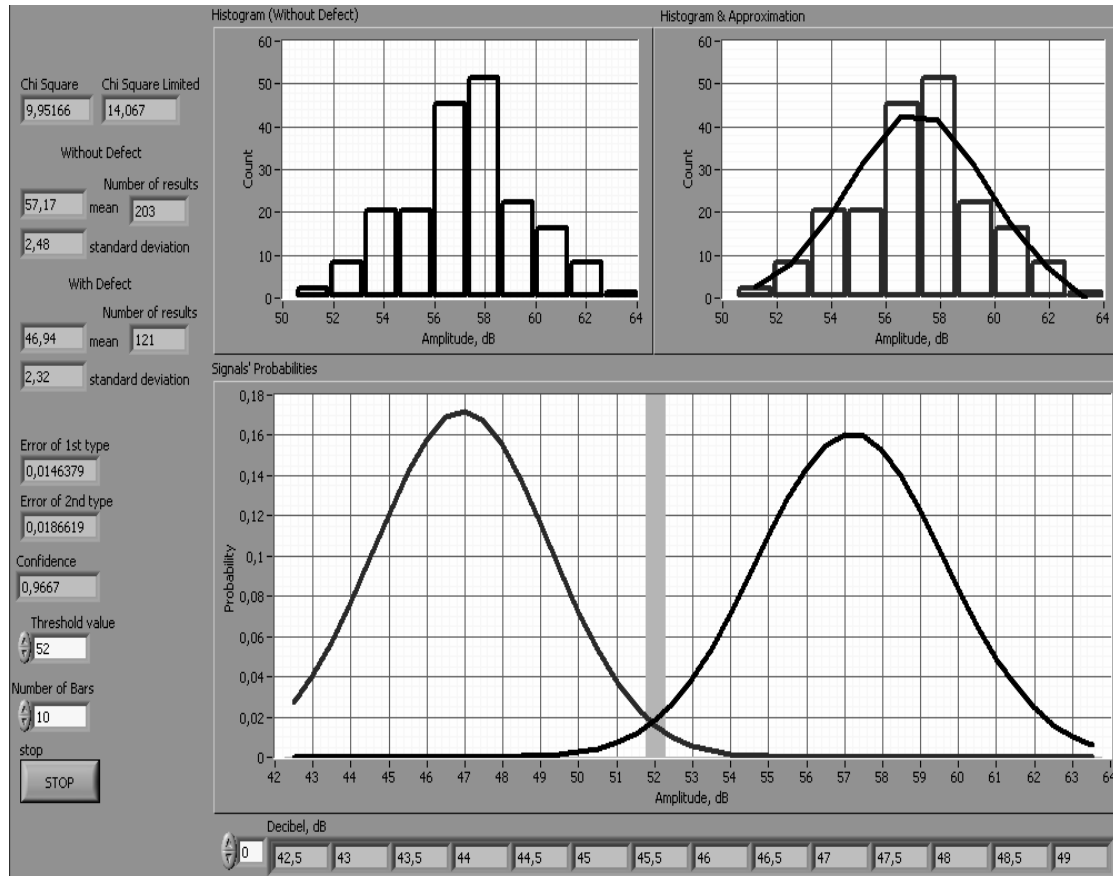


Рис. 8. Інтерфейс системи обробки даних

На основі експериментально отриманих даних з використанням розробленої системи статистичної обробки можуть бути обчислені математичне сподівання, дисперсія і середньо-квадратичне відхилення вибірки експериментальних даних.

Використовуючи критерій згоди Пірсона перевіряється несуперечливість гіпотези про Гауссовий закон розподілу отриманих результатів вимірювання. Обчислюються помилки першого і другого роду, а також достовірність контролю.

Використовуючи критерій Неймана—Пірсона [5], згідно з яким поріг порівняння визначається так, щоб ймовірність прийняття помилкових рішень не перевищувала заданого значення, було обчислено оптимальне порогове значення рівня відображеного сигналу від бездефектної зони кришки лабіринту авіаційної турбіни за формулою:

$$\bar{x}_0 = \bar{x} - \psi(1 - P_{i.i.}) \sqrt{\bar{D}}, \quad (1)$$

де $P_{n.n}$ — імовірність помилкового перевищення порогу, значення якої визначаються в межах від 0,01 до 0,1; $\psi(x)$ — функція, зворотна інтегралу ймовірності Гауса.

Середні значення за вибіркою та вибіркові дисперсії обчислюються відповідно за формулами:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k), \quad (2)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\bar{x} - x(k))^2, \quad (3)$$

де N — загальна кількість вимірювань по всьому об'єкту контролю.

З використанням розробленої системи статистичної обробки були визначені оптимальні значення порогового рівня, складена карта дефектної зони кришки лабіринту. Так само був проведений аналіз залежності достовірності контролю від вибору параметрів строб-імпульсу і порогового значення амплітуди відображеного сигналу.

Документування результатів обробки вимірювань неруйнівного контролю здійснюється у вигляді таблиць і графіків для їх подальшого використання в завданнях моніторингу технічного стану кришки лабіринту авіаційної турбіни.

Програмний код інформаційної системи статистичної обробки даних подано на рис. 9. Результати обстеження краєвих зон деталі похилим суміщеним перетворювачем подано в табл. 1, 2.

У табл. 3, 4 наведено результати обстеження центральної зони кришки лабіринту прямим роздільно-суміщеним перетворювачем. Розроблена система обробки даних неруйнівного контролю може використовуватися у складі як зі стандартними готовими дефектоскопами та вимірювальним обладнанням, так і з індивідуально розробленими вимірювальними комплексами на базі сучасних аналого-цифрових (АЦП) і цифро-аналогових (ЦАП) перетворювачів, які дають можливість

виконувати операції дискретизації і квантування значень, використовуючи спеціальні інтерфейси сигналів, а також передавати отримані масиви каналів передавання даних (USB, COM, LPT).

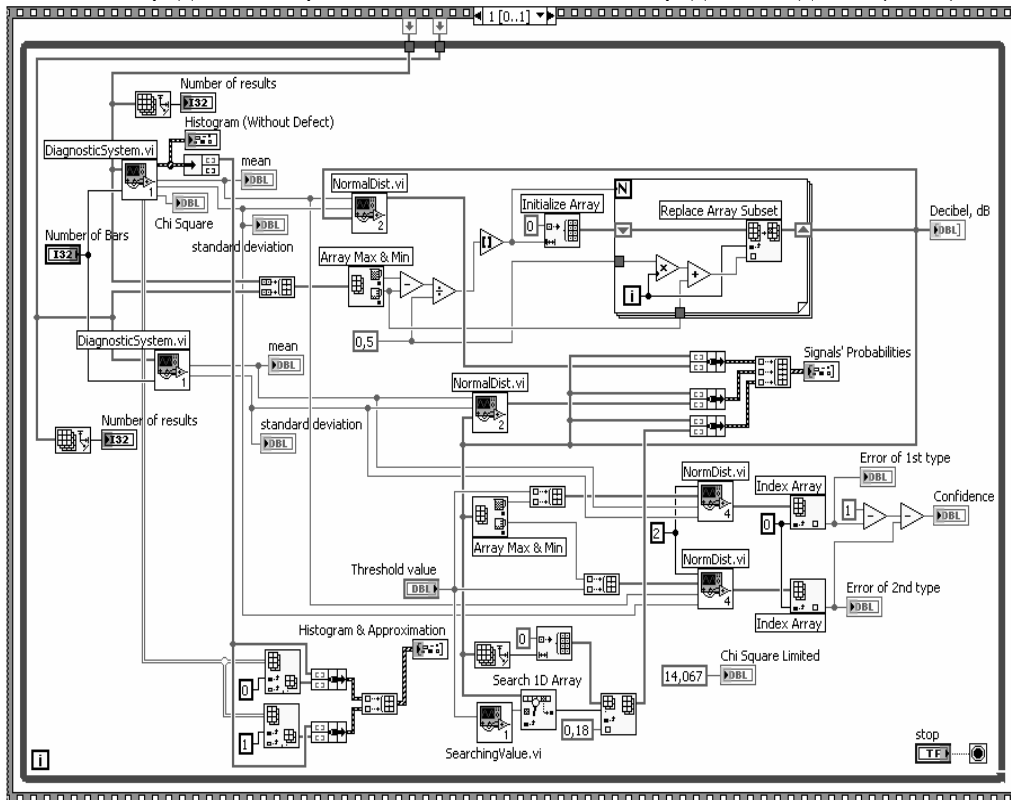


Рис. 9. Програмний код системи обробки даних

Таблиця 1

Значення амплітуд сигналів у красвій зоні

| Тип зони | Мінімальний рівень, дБ | Максимальний рівень, дБ | Математичне сподівання, дБ | СКВ, дБ | Дисперсія, [дБ] ² |
|-------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|---------|------------------------------|
| Бездефектна | 50,50 | 64,00 | 57,17 | 2,48 | 6,16 |
| Дефектна | 42,50 | 51,00 | 46,94 | 2,32 | 5,38 |

Таблиця 2

Залежність помилок 1-го та 2-го роду від рівня стробу в красвій зоні

| Рівень стробу, дБ | 52,0 | 51,5 | 51,0 | 50,5 | 52,5 | 53,0 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Помилка 1-го роду | 0,014 | 0,025 | 0,040 | 0,063 | 0,008 | 0,005 |
| Помилка 2-го роду | 0,019 | 0,011 | 0,006 | 0,003 | 0,030 | 0,046 |
| Достовірність | 0,967 | 0,964 | 0,954 | 0,934 | 0,962 | 0,949 |

Таблиця 3

Значення амплітуд сигналів у центральній зоні

| Тип зони | Мінімальний рівень, дБ | Максимальний рівень, дБ | Математичне сподівання, дБ | СКВ, дБ | Дисперсія, [дБ] ² |
|-------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|---------|------------------------------|
| Бездефектна | 49,00 | 64,50 | 55,27 | 3,12 | 9,70 |
| Дефектна | 46,00 | 52,00 | 48,12 | 2,60 | 6,76 |

Таблиця 4

Залежність помилок 1-го та 2-го роду від рівня стробу в центральній зоні

| Рівень стробу, дБ | 51,0 | 50,5 | 50,0 | 51,5 | 52,0 | 52,5 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Помилка 1-го роду | 0,034 | 0,065 | 0,116 | 0,016 | 0,007 | 0,002 |
| Помилка 2-го роду | 0,125 | 0,099 | 0,077 | 0,155 | 0,189 | 0,228 |

| | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Достовірність | 0,841 | 0,836 | 0,807 | 0,829 | 0,804 | 0,770 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

У цьому випадку виникає необхідність у написанні програми-драйвера для ініціалізації і роботи обраного аналого-цифрового перетворювача, якщо такої програми немає у поставленому комплекті обладнання.

Подібна операція реалізується без особливих проблем з використанням функціональних можливостей програмного пакету LabVIEW.

Функціональна схема вимірювального комплексу для проведення робіт неруйнівного контролю, до складу якого входить розроблена система обробки і аналізу даних, набір стандартних датчиків, дефектоскоп або використаний замість нього аналого-цифровий перетворювач, подана на рис. 10.

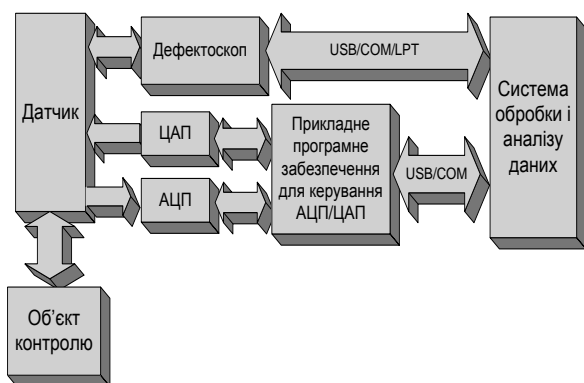


Рис. 10. Функціональна схема системи неруйнівного контролю

У випадку необхідності для збудження первинного перетворювача (датчика) може бути застосований модуль цифро-аналогового перетворення. Керування роботою АЦП і ЦАП виконується за допомогою спеціального прикладного програмного забезпечення. Такі особливості надають розробленій системі універсального характеру використання. Зовнішній вид системи відпрацювання методик неруйнівного контролю авіаційних конструкцій зображено на рис. 11.

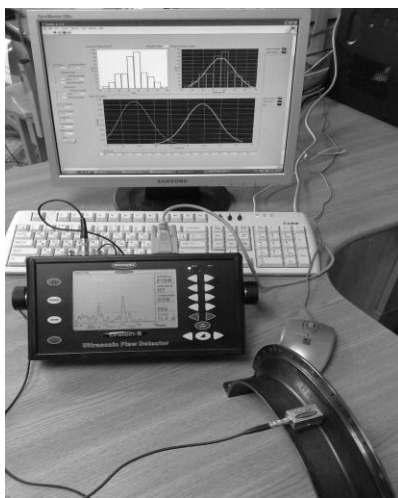


Рис. 11. Вид системи відпрацювання методик неруйнівного контролю

Висновки

Запропонований підхід дає можливість отримати більше інформації про технічний стан об'єктів, що підлягають контролю, спрощує процес визначення появи аномалій, тенденції їх розвитку, підвищує достовірність прийняття рішення, що, у свою чергу, може значно підвищити якість проведення вимірювальних робіт, знизити часові витрати на обробку й аналіз результатів вимірювань, дати інженерові новий клас інструментів діагностики об'єктів контролю та оптимізації рішень.

Високий ступінь універсальності системи досягається завдяки модульній структурі підсистеми аналізу та обробки даних, яка дозволяє без ускладнень додавати необхідні або виключати непотрібні методики аналізу сигналу.

Принципи, закладені в систему, на етапі проектування, дають змогу виконувати її модернізацію й адаптацію до зміни умов роботи без внесення значних змін до структури програмного забезпечення.

Подана система успішно застосовується для відпрацювання методик неруйнівного контролю авіаційних конструкцій, а також у навчальному й дослідницькому процесі з тематики неруйнівного контролю в науково-дослідній лабораторії на кафедрі інформаційно-вимірювальних систем Національного авіаційного університету.

ЛІТЕРАТУРА

1. Клименко С.М., Михайленко В.І., Сарафанкж Б.М. Алгоритм мікропроцесорної обробки результатів ультразвукового контролю // Матеріали 4-ої Національної науково-технічної конференції і виставки «Неруйнівний контроль та технічна діагностика». — Київ, 2003. — С. 273 — 276.
2. Еременко В.С., Овсянкін А.М., Бохенко А.В. Повышение информативности акустического контроля конструкций из полимерных композиционных материалов. // Физические методы и способы контроля сред, материалов, и изделий (серия); вып. 11: «Электромагнитный, ультразвуковой и оптический неразрушающий контроль». — Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 2006. — С. 56 — 59.
3. Суранов А.Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям / А.Я. Суранов. — М.: ДМК пресс, 2007. — 536 с.
4. Евдокимов Ю.К. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. — М.: ДМК Пресс, 2007. — 400 с.
5. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль. справ.: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. — Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов,

Ю.В. Ланге. — М.: Машиностроение, 2004. — 864 с.

Стаття надійшла до редакції 18.05.09