

на основе физического моделирования и разработанных условных критериев подобия, характеризующие скорость обработки соответствующей информации и функциональные возможности устройства соответственно. Визуализация основных характеристик в безразмерных координатах позволяет ускорить процесс проектирования или выбрать направления по усовершенствованию и обеспечению высокой эксплуатационной технологичности беспроводных маршрутизаторов.

В дальнейшем планируется рассмотрение качественных характеристик сетевых процессоров однопроцессорных беспроводных маршрутизаторов на ядре ARM или MIPS, в основе которых лежит гарвардская архитектура и набор команд RISC.

Литература

1. Таненбаум Э. С. Компьютерные сети / Э. С. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд., – СПб. : Питер, 2012. – 960 с.
2. Лукашенко В. М. Анализ значимых параметров объекта перемещения на основе теории неполного подобия и размерностей / Б. А. Шеховцов, В. М. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, М. Г. Лукашенко // Тр. III Междунар. НПК “Умение и нововведения”. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2007. – Т. 10. – С. 35 – 38.
3. Классификация современных микроконтроллеров для лазерных комплексов / В. М. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, Р. Е. Юпин [и др.] // Materiály VIII mezinárodní vědecko – praktická conference “Aktuální vymoženostivědy – 2012”. – Díl 20. Fuzika. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura : Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. – 2012. – 45 – 48 с.
4. Хьюкаби Д. Маршрутизаторы Cisco. Руководство по конфигурированию / Д. Хьюкаби, С. Мак-Квери, Э. Уитакер. 2-е изд., – Диалектика-Вильямс, 2011. – 736 с.

*Надійшла до редакції
14 січня 2013 року*

© Лукашенко В. М., Рудаков К. С., Лукашенко А. Г., Миценко С. А., 2013

УДК 621.45.017

ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ LABVIEW ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

Павловський О.М.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

Представлена модель-віртуальний прилад системи вібраційної обробки сигналів авіаційного двигуна, що розроблена із використанням середовища графічного програмування NI LabVIEW. Модель системи має два рівня функціонування. Перший рівень призначено для виявлення недопустимих значень вібрацій елементів конструкції авіаційного двигуна. Застосовано слідкуючий фільтр, для відстежування рівня вібрації на всіх режимах функціонування. Другий рівень виконує діагностичні функції та виявляє дефекти на стадіях їх утворення. Для цього застосовується вейвлет-розкладання виміряного вібраційного сигналу. При

розкладанні використовується вейвлет сімейства Добеші db10 з розкладанням на 5 рівнів. Подальший розвиток системи дозволить збільшити спектр діагностуємих дефектів на ранніх стадіях їх утворення.

Ключові слова: авіаційний двигун, система обробки вібраційних сигналів, віртуальний прилад, LabVIEW.

Вступ

Вібраційні процеси в газотурбінних двигунах (ГТД) використовуються для контролю їх функціонального технічного стану, тому що мають високу інформативну цінність і дозволяють виявити дефекти та пошкодження на ранніх стадіях їхнього розвитку. Системи вібраційного контролю вимагають постійного вдосконалення, з метою підвищення достовірності, збільшення швидкодії, розширення функціональних можливостей [1, 2]. Для розробки і аналізу таких систем використовуються математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь, структурних та функціональних схем, блок-діаграм.

Сучасні програмні та апаратні засоби створення моделей пропонують широкий спектр можливостей вирішення задач моделювання. Головною проблемою при побудові будь-якої імітаційної моделі є необхідність побудови комплексних математичних моделей і розробки програмного коду імітаційної моделі. У сучасних системах імітаційного моделювання ця проблема вирішується за допомогою автоматизації побудови коду імітаційної моделі на підставі різних графічних схем (візуальних моделей) і з використанням методів об'єктно-орієнтованого проектування. Такий підхід значно полегшує завдання створення імітаційної моделі і робить саму модель більше зрозумілою для користувачів. У статті приведена модель створена за допомогою середовища NI LabVIEW. LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) – це середовище розробки і платформа для виконання програм, створених графічною мовою програмування "G" фірми National Instruments (США). LabVIEW використовується в системах збору і обробки даних [3], а також для керування технічними об'єктами та технологічними процесами.

Програми LabVIEW називаються віртуальними приладами (ВП, virtual instruments - VI), бо вони функціонально і зовні подібні реальним приладам. Однак вони також подібні до програм на популярних мовах програмування (C, Pascal іт) [3].

У цілому, ефективність використання середовища LabVIEW у наукових дослідженнях полягає в тому, що залишаючись у його рамках, можна розробляти як математичну модель об'єкта, так і додавати до моделі реальні експериментальні дані за допомогою апаратних засобів вводу-виводу, сполучених з реальним об'єктом, тощо.

Постановка задачі

Метою даної роботи є створення та аналіз програмної моделі – віртуального приладу системи дворівневої обробки вібраційних сигналів. Програмна модель дворівневої системи повинна забезпечувати виконання подібних функцій [2]:

Для першого рівня

- Виділення основної роторної гармоніки шляхом смугової фільтрації, на стаціонарних і нестаціонарних режимах;
- Порівняння амплітуди роторної гармоніки з пороговими значеннями, які відповідають Підвищеній і Небезпечній вібраціям. У разі перевищення порогів - вивід світлової індикації.
- Запис даних у файл.

Для другого рівня

- Вейвлет - розкладання до 5-го рівня.
- Розширений аналіз апроксимацій і деталей.
- Відображення спектрів елементів Вейвлет-розкладання.
- Отримання статистичної інформації.

Модель створюється за допомогою системи графічного програмування NI LabVIEW, що розширює її функціональні можливості використанням графічних засобів оформлення інтерфейсу.

Програмна модель системи обробки вібраційних сигналів як віртуальний прилад у системі NI LabVIEW

Модель системи обробки вібраційних сигналів виконана у вигляді віртуального приладу, лицьова панель якого представлена на рис. 1. Для більш ефективного та інтуїтивно зрозумілого керування системою оператором, інтерфейс лицьової панелі розроблений на блоковому принципі.

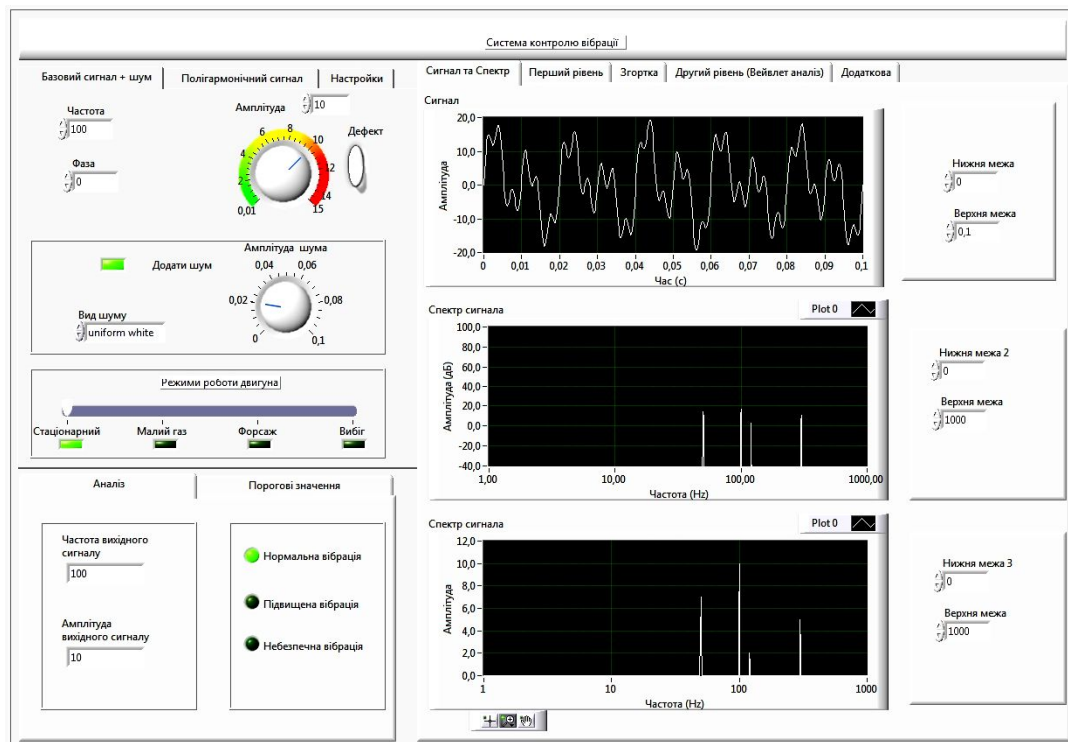


Рис. 1. Загальний вигляд лицьової панелі системи

Блок генерації та керуванням сигналу розташований у верхньому лівому куті лицьової панелі. Він призначений для формування вхідного вібраційного збурення на діагностичну модель робочого колеса ГТД. На першій вкладці блоку («Базовий сигнал + шум») задаються основні характеристики роторної вібрації. На цій вкладці передбачена можливість додавання завади у вигляді шуму.

Нижче розташоване вікно «Режими роботи двигуна», у якому задається стаціонарний чи один з перехідних режимів. Моделлю передбачені наступні режими: «Стаціонарний», «Малий газ», «Форсаж» та «Вибіг».

Діагностична модель робочого колеса ГТД реалізована відповідно до [4], з урахуванням виразів для імпульсних характеристик роторних елементів (лопаток без пошкодження).

$$g_*(t) = \frac{1}{\omega_{1*}} e^{-ht} \sin \omega_{1*} t ,$$

де $\omega_{1*}^2 = \omega_*^2 - h^2$; ω_* - власна частота моделі лопатки без пошкодження; h - коефіцієнт демпфірування.

Для інтерактивного внесення моделі та параметру пошкодження передбачено перемикач «Дефект», при ввімкненні якого формується імпульсна характеристика лопатки з тріщиноподібним пошкодженням.

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\omega_0 t ,$$

$$\text{де } a_0 = \frac{4(1-\zeta)}{\pi\omega_*\zeta}; \quad a_k = \frac{4(1+\zeta)^3(1-\zeta)^2}{\pi\omega_*\zeta[(\zeta+1)^2-4k^2][(\zeta+1)^2-4\zeta^2k^2]} \cos \frac{\pi k}{\zeta+1};$$

$\omega_0 = 2\omega_*\zeta/(1+\zeta)$; $\zeta = \sqrt{1-\vartheta}$; ϑ - відносне змінювання жорсткості лопатки на півциклах деформування за наявності тріщини (параметр пошкодження).

Для відповідності моделі вібраційного збурення наведеній у [4], на вкладці «Полігармонічний сигнал» (рис. 2,а) забезпечується можливість задати до чотирьох додаткових гармонік.

На рис. 3,б приведений вигляд вкладки «Настройки» блоку генерації та керування сигналом. На вкладці розташовані три поля, що слугують для керування процесом моделювання. Перше поле надає можливість задати кількісні параметри сигналу, що генерується. Тут можна вказати кількість точок, та частоту дискретизації вибірок, також задаються специфічні характеристики сигналу значення яких змінювати не рекомендується.

Поле «Параметри дефекту» слугує для завдання параметрів початкових дефекту (дефектів) і буде розглянуто далі. В останньому полі задаються параметри спроектованого слідкуючого фільтра для організації першого рівня обробки інформації: порядок фільтра, ширина смуги пропускання та частота дискретизації.

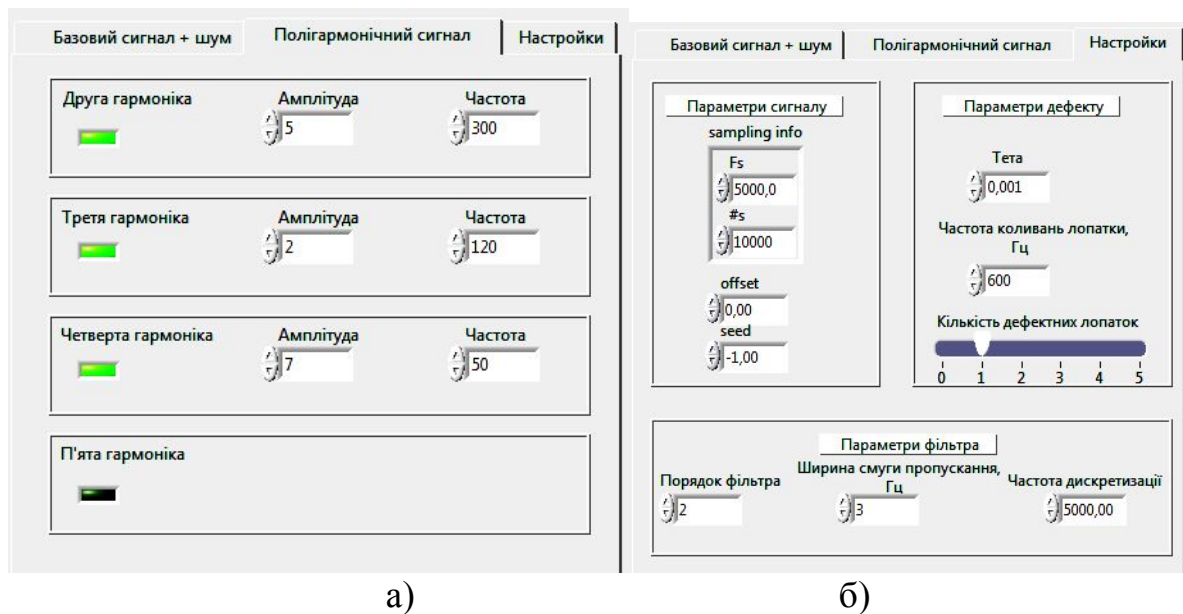


Рис. 2. Панель для формування вібраційних сигналів, де:
 а) Вкладка «Полігармонічний сигнал»; б) Вкладка «Настройки»

Блок із вкладками «Аналіз» та «Порогові значення» призначений для відображення інформації про амплітуду і частоту основної роторної гармоніки, у випадку перевищення амплітудою граничних значень, що відповідають підвищеній або небезпечній вібрації, загоряється відповідний світловий індикатор і з цього моменту починається дублюючий запис сигналу у файл.

Основний блок системи - блок графічного відображення даних. Блок знаходиться ліворуч від блоку генерації та керуванням сигналу. Призначений для відображення у вигляді графіків і супутньої інформації всіх процесів, щомоделюються, відображення як проміжних, так і кінцевих результатів обробки.

Моделювання першого рівня системи контролю вібрації

Згенерований, як зазначено вище, сигнал вхідного вібраційного збурення подається на програмну діагностичну модель бездефектного чи дефектного робочого колеса. Реакція моделі робочого колеса є вимірюваним вібраційним (віброакустичним) сигналом, який фактично є вхідним сигналом для дворівневої системи контролю вібрації двигуна.

У відповідності до [2], перший рівень системи обробки вібраційних та віброакустичних сигналів призначений для виділення з вимірюваного сигналу вузькосмугових складових, що відповідають основним роторним гармонікам контрольованих ступенів двигуна, визначення усередненого значення амплітуди вібрації на цих гармоніках та порівняння його з установленими пороговими значеннями (нормами).

Вібраційний сигнал надходить на слідкуючий фільтр який виділяє одну інформативну (роторну) складову [2]. Виділення цієї складової забезпечується тим, що слідкуючий фільтр має вузьку смугу пропускання, центральна частота

цієї смуги відповідає частоті обертання відповідного ротора при всіх режимах роботи двигуна, тобто центральна частота смуги пропускання фільтра, що стежить, змінюється синхронно зі зміною частоти обертання ротора.

Для стаціонарного режиму частота обертання i , відповідно центральна частота смуги пропускання вузько смугового фільтру є сталою. Для нестационарних режимів частота обертання i і центральна частота фільтру є змінними функціями часу. Після виділення із сигналу складової на основній роторній гармоніці для визначення неприпустимого стану ГТД, вона спочатку порівнюється із пороговим значенням, що відповідає небезпечному рівню вібрації, і у разі перевищення приймається рішення про зміну стану контрольованого об'єкта, з подальшим впливом на певні органи керування і виведення даних на інформаційне табло. Якщо поріг не перевищено, значення вібрації не перевищує небезпечного рівня, то воно порівнюється із наступним пороговим значенням, що відповідає підвищеній вібрації. При перевищенні цього порогу, реакція системи аналогічна перевищенню рівня небезпечної вібрації об'єкта.

У моделі віртуального приладу, перший рівень обробки реалізований повністю у відповідності до наведеного вище алгоритму. На рис. 3,а при перевищенні порогових значень підвищеної вібрації на панелі вкладки «Аналіз» загоряється жовтий індикатор, а при перевищенні порогового значення небезпечної вібрації – червоний. Рівні порогових значень можна змінювати в залежності від вимог, їхні значення задаються у відповідній вкладці «Порогові значення».

При перевищенні будь-якого із порогових значень відбувається дублюючий запис сигналу у файл із розширенням *.xls, що відповідає файлам, які підтримуються програмою Microsoft Excel пакету MS Office. Частина блок-діаграми, що відповідає за запис файлу, наведена на рис. 3,б.

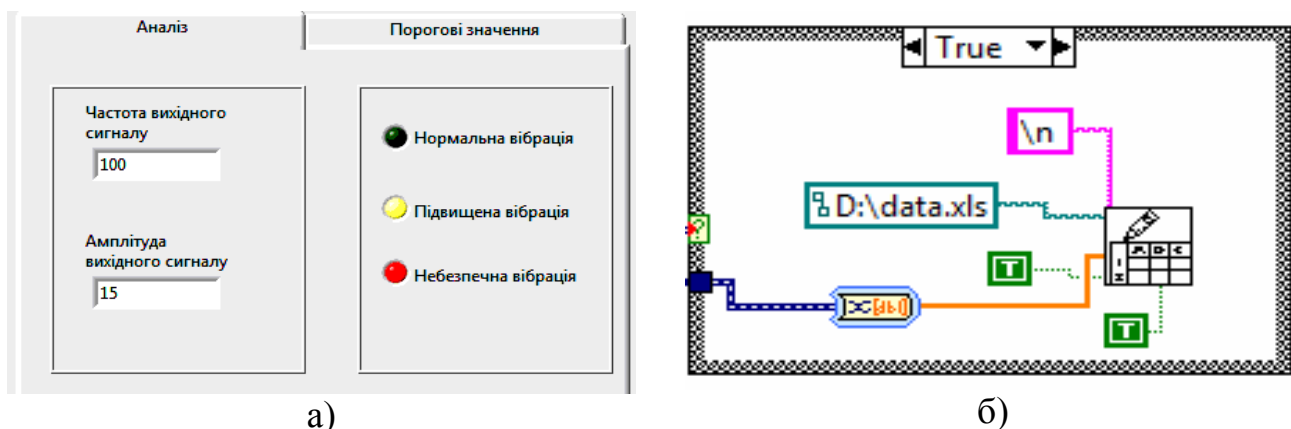


Рис. 3. Особливості роботи системи, де: а) Реакція системи на подолання порогових значень вібрації; б) Блок-діаграма запису інформації у файл

Цифрова фільтрація для першого рівня системи

Для першого рівня системи обробки вібраційних та віброакустичних сигналів у віртуальному приладі було обрано НІХ-фільтр Баттерворта [5].

На першому рівні слідкуючий фільтр повинен виділити одну інформативну (роторну) складову із сигналу, що надходить на його вхід, це досягається вузькою смугою пропускання. Ширина смуги пропускання дорівнює 3 Гц.

Оптимальним порядком для фільтра Баттерворта, для заданої ширини смуги пропускання та ступеню пригнічення складових сигналу за межами смуги пропускання є четвертий порядок, за якого забезпечується пригнічення поза смугою пропускання на 30 дБ. Використовуючи більш високі порядки фільтру, можна досягти більш істотного пригнічення, однак це призводить до значного збільшення часу установки фільтру і, як наслідок, знижує швидкодію системи в цілому. Залежно від розв'язуваних завдань, можна також використовувати фільтри другого (пригнічення 15 дБ) або третього (20 дБ) порядків. Результати отримані для сигналу довжиною 10000 точок і частотою дискретизації 5 КГц.

Як видно з представлених на рис. 4а і рис. 4б, спектрах, вузькосмуговий фільтр виокремлює основну роторну гармоніку, пригнічуючи решту складових сигналу, що аналізується.

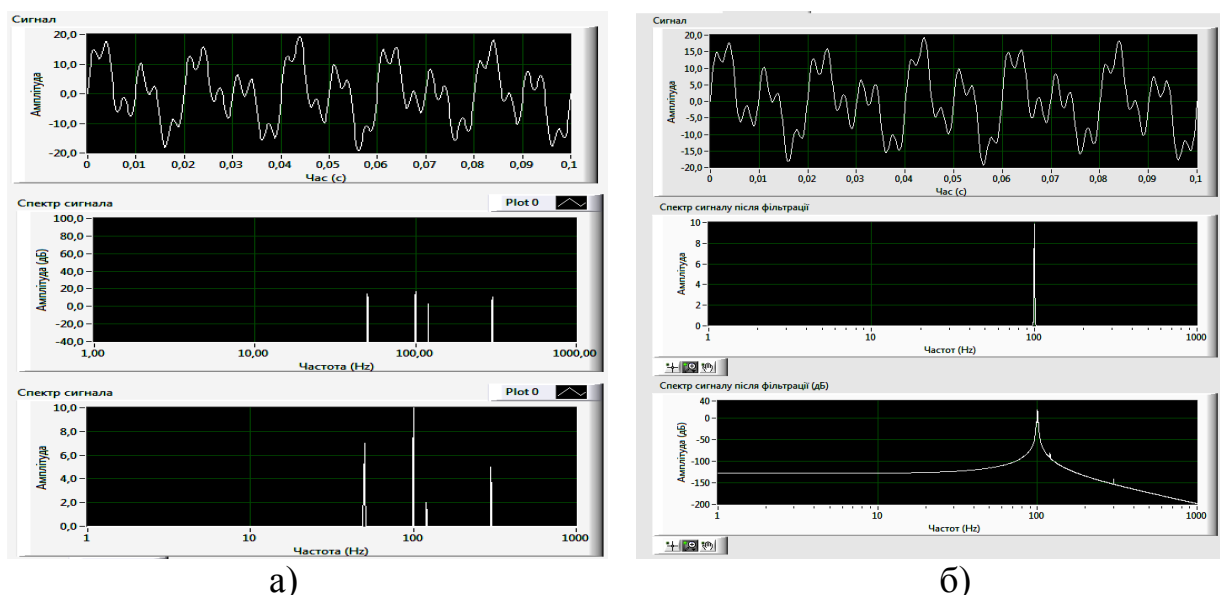


Рис. 4. Вкладки вікна аналізу, що ілюструють роботу вузькосмугового фільтру, де: а) вкладка «Сигнал та спектр до фільтрації»; б) вкладка «Перший рівень - Сигнал та спектр після фільтрації»

При виборі одного із нестационарних режимів роботи двигуна, відбувається зміна частоти обертання ротору в залежності від обраного режиму.

Для кожного варіанту використовується функція затримки, яка регулює швидкість зміни частоти обертання ротора. Для режимів «Малий газ» та «Вибіг» її значення дорівнює 250мс, для режиму «Форсаж» - 100мс.

Основною відмінною рисою застосування фільтру є те, що в існуючих системах використовуються стаціонарні фільтри зі сталим значенням центральної частоти у смузі частот пропускання. Центральна частота смуги частот пропус-

кання фільтра настроєна заздалегідь на відоме значення частоти обертання ротору на стаціонарних режимах. Можливі значні флуктуації частоти обертання, або її змінювання на відповідних нестационарних режимах призводять до некоректної роботи фільтра. У представленій системі, для контролю вібрації на нестационарних режимах, реалізовано алгоритм слідкування. Відповідно до цього, на кожній ітерації модуль фільтру отримує поточне значення частоти головної роторної гармоніки, і це призводить до автоматичного перерахунку коефіцієнтів передатної функції вузько смугового фільтру.

Моделювання другого рівня системи обробки вібраційних сигналів

На другому рівні проводиться обробка вібраційних сигналів за умови, що не було перевищене значення жодного із небезпечних порогів, тобто вібрація відповідає нормі. Для віртуального приладу діагностична задача виявлення початкового пошкодження роторного елемента (лопатки робочого колеса) вирішується із застосуванням таких методів обробки інформації: попередньої вейвлетної фільтрації та статистичної обробки результатів вейвлет-розкладання. Результати вейвлет-розкладання використовуються як вибірки окремих реалізацій, для яких проводиться статистичний аналіз. За результатами статистичного аналізу відбувається формування діагностичних ознак, на основі яких повинно прийматись рішення щодо загального стану контролюваного об'єкта, а також стадії можливого утворення дефекту. Моделювалось робоче колесо, що має 21 лопатку.

Обробка інформації проводиться у два етапи. На першому етапі застосовується вейвлет-розкладання виміряного вібраційного сигналу. При розкладанні використовується вейвлет сімейства Добеші db10 з розкладанням на 5 рівнів. Для реалізації Вейвлет-розкладання в системі LabVIEW був використаний блок *Multiresolution Analysis*, конфігураційне вікно якого наведено на рис. 5.

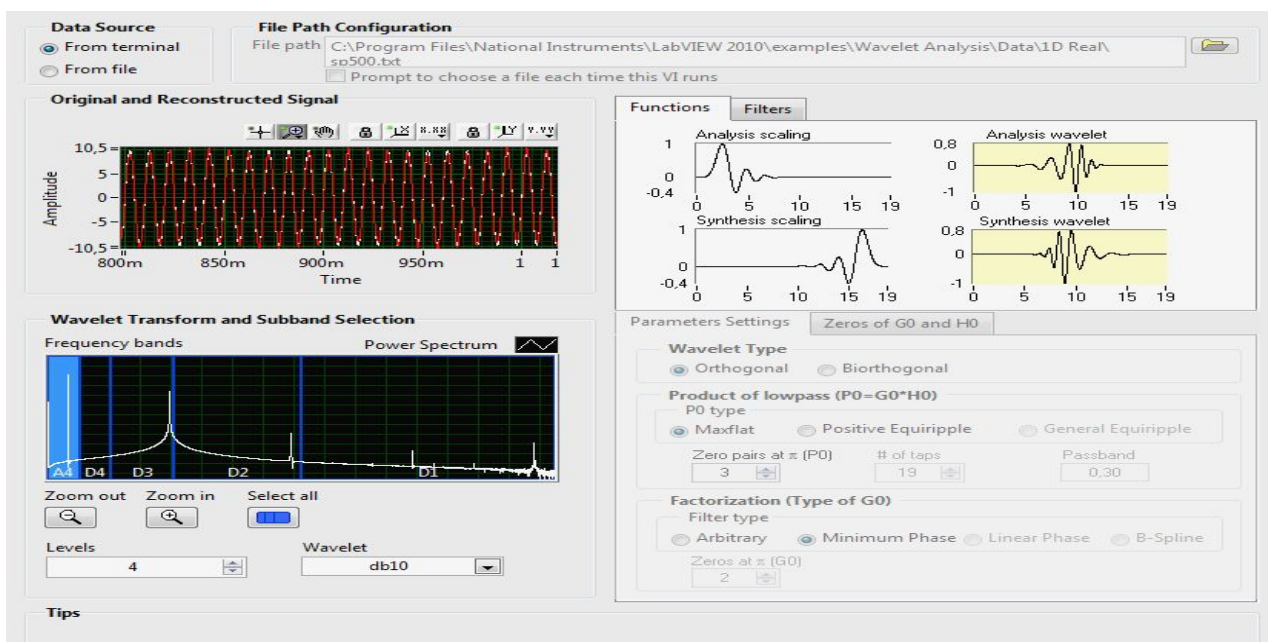


Рис. 5. Конфігураційне вікно блоку Multiresolution Analysis

На другому етапі визначаються частота та усереднена амплітуда елементу розкладання, постійна складова, середньоквадратичне значення, а також мінімальне та максимальне значення. Приведені характеристики необхідні для формування діагностичної ознаки початкового дефекту роторного елементу.

Для підтвердження можливості визначення впливу пошкодження однієї чи кількох лопаток ($N_{\text{деф}}$) на робочому колесі, було проведено модельні експерименти для різних значень частоти роторної вібрації. Результати розрахунку постійної складової апроксимації останнього рівня розкладання в умовних одиницях наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність постійної складової апроксимації від дефекту

Частота роторної вібрації, Гц	Параметр \mathcal{G} та кількість дефектних лопаток								
	$N_{\text{деф}}=1$			$N_{\text{деф}}=2$			$N_{\text{деф}}=5$		
	$\mathcal{G}=0,01$	$\mathcal{G}=0,05$	$\mathcal{G}=0,1$	$\mathcal{G}=0,01$	$\mathcal{G}=0,05$	$\mathcal{G}=0,1$	$\mathcal{G}=0,01$	$\mathcal{G}=0,05$	$\mathcal{G}=0,1$
100	0,00026	0,00134	0,0028	0,00052	0,0026	0,0056	0,0013	0,0067	0,014
200	0,00021	0,0011	0,0022	0,00042	0,0022	0,0045	0,0011	0,0054	0,0114
500	0,00018	0,00094	0,0019	0,00036	0,0018	0,0039	0,00092	0,0047	0,0098

Результати аналізу показали: при підвищенні частоти головної роторної гармоніки постійна складова апроксимації останнього рівня зменшується; збільшенні параметру пошкодження \mathcal{G} та кількості дефектних лопаток призводить до збільшення постійної складової апроксимацій вейвлет-розкладання.

Висновки

Розроблено та реалізовано програмну модель дворівневої системи контролю вібрації у вигляді віртуального приладу в системі графічного програмування LabVIEW фірми National Instruments. Розроблена програмна модель забезпечує:

- на першому рівні - виділення основної роторної гармоніки на стаціонарних та нестационарних режимах за допомогою вузькосмугового цифрового слідкуючого фільтру Баттерворта четвертого порядку, порівняння амплітуди вібрації на виділеній гармоніці з пороговими значеннями, що відповідають «Підвищеній вібрації» та «Небезпечній вібрації», запис інформації у файл;
- на другому рівні – вейвлет – розкладання широкосмугового сигналу вібрації, спектральний та статистичний аналіз елементів розкладання, графічне та чисельне відображення результатів обробки;
- моделювання різних типів дефектів роторних елементів та моделювання сумісної появи дефектів у різних конструктивних елементах роторної системи та дослідження;

Подальший розвиток системи вібраційної обробки сигналів авіаційного двигуна дозволить збільшити спектр діагностуємих дефектів на ранніх стадіях їх утворення.

Література

1. Pavlovskiy O. Multilevel vibration control system of aviation gas-turbine engines/O. Pavlovskiy, N. Bouraou, L. Yatsko // *Vibrations in Physical Systems*. –2012. –Vol.25. – P. 323 – 328.
2. Пат. 70117 Україна, МПК G01H 17/00. Система вібраційного контролю авіаційного двигуна [Текст] / Бурау Н.І., Павловський О. М., Сопілка Ю.В., Яцко Л.Л.; Патентовл. НТУУ «КПІ». – № U201113927; заявл.25.11.2011; опубл.25.05.2012, Бюл. №10.
3. Программирование в NI Labview [Електронний ресурс] // Режим доступу: [WWW.URL:http://www.labview.webhost.ru](http://www.labview.webhost.ru). – заголовок з екрану.
4. Бурау Н.І. Нестационарні коливання нелінійних (кусково-лінійних) систем. – Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2009. –104 с.
5. Бурау Н.І. Цифровая фильтрация в системе контроля вибрации авиационных двигателей / Н.І. Бурау, О.М. Павловський // *Вісник інженерної академії України*. – 2012. – №3-4. – С. 18 – 23.

*Надійшла до редакції
29 квітня 2013 року*

© Павловський О.М., 2013

УДК 658.511:519.237

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Роговой А.Н., Выслоух С.П., Волошко О.В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

Рассмотрены вопросы обработки информации при решении задач технологической подготовки производства. Для этого предлагается использовать эффективные методы многомерного статистического анализа, планирование экспериментов и искусственные нейронные сети.

Программно реализованы алгоритмы сжатия исходных массивов информации методами факторного, компонентного анализа и многомерного шкалирования, алгоритмы классификации и распознавания образов методами дискриминантного и кластерного анализа, а также алгоритмы моделирования методами регрессионного анализа, планирования экспериментов и искусственных нейронных сетей. Указанные программы представлены в виде системы автоматизированной обработки технологической информации. Приведены структурная и функциональная схемы разработанной системы, а также последовательность интерфейсных окон при применении данной системы.

Ключевые слова: *технологическая подготовка производства, обработка информации, многомерный статистический анализ, планирование экспериментов, искусственные нейронные сети.*

Введение

Повышение эффективности приборостроительного производства требует сокращения сроков технологической подготовки производства и повышения ее качества, которое существенным образом зависит от постановки задач, методов их решения и используемой информации.