

УДК 621.45.036

Сбродов Є. В.
провідний інженер-дослідник, ДП «Івченко-Прогрес»
м. Запоріжжя, Україна
аспірант, НУ «Запорізька політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна

Юзефович Р. М.
доктор техн. наук, проф.,
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,
м. Львів, Україна

ВІБРОДІАГНОСТИКА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ МЕТОДОМ ПЕРІОДИЧНО НЕСТАЦІОНАРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

Вібраційна діагностика є одним з ефективних і надійних інструментів для забезпечення безпеки, надійності та економічності експлуатації авіаційних двигунів, основною задачею якої є виявлення несправностей, які ще не призвели до відмов або аварій. Аналіз ознак дефектів і оцінка їх розвитку ґрунтуються на ретельному дослідженні структури вібраційного сигналу з урахуванням особливостей діагностованого двигуна. Для опису такої структури необхідно використовувати математичну модель сигналу, яка містить набір характеристик, що дозволяють оцінити технічний стан механізму. Серед ключових властивостей вібраційного сигналу авіаційного двигуна виділяються його повторюваність, пов'язана з циклічним характером роботи обертових деталей та вузлів, і стохастичність, яка зумовлена випадковими змінами: зміни навантаження, коливання параметрів мастильного шару, зміни сил тертя, зміни жорсткості опор, а також турбулентність та інші випадкові фактори.

Методи вібраційної діагностики, розроблені у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України [1] на основі моделей сигналів у вигляді періодичних та майже періодичних випадкових процесів, у тому числі виділення і спектрально-кореляційного аналізу модулюючих стаціонарних компонентів, з якими пов'язані важливі дані про характер та ступінь розвитку дефектів, забезпечують проведення широкого комплексу статистичних досліджень властивостей вібраційних сигналів.

При представленні вібраційного сигналу у вигляді періодично нестаціонарних випадкових процесів (ПНВП) його імовірнісні

Конструкція і міцність

характеристики: математичне сподівання (1), автокореляційна функція (2) і спектральна густина (3) є періодичними функціями в часі

$$m(t) = E\xi(t) = \overset{\circ}{m}(t+T), \quad \overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m(t), \quad (1)$$

$$b(t, u) = E \overset{\circ}{\xi}(t) \overset{\circ}{\xi}(t+u) = b(t+T, u), \quad (2)$$

$$f(\omega, t) = f(\omega, t+T). \quad (3)$$

де E – оператор математичного сподівання.

Математичне сподівання $m(t)$ описує детерміновані періодичні коливання; кореляційна функція $b(t, u)$ характеризує періодичну мінливість t кореляційних зв'язків між значеннями стохастичної складової сигналу, розділеними часовим інтервалом u ; спектральна густина $f(\omega, t)$ – розподіл потужності випадкової складової коливань на площині “частота-час”.

Визначення періоду кореляції ПНВП є необхідною умовою для оцінки його імовірнісних характеристик. Точність визначення періоду, отримана виходячи з технічних характеристик двигуна, не задовольняє вимогам стохастичної обробки реалізацій сигналів методами ПНВП. Крім того, значення періоду може бути окремим діагностичним параметром. Попередні дослідження [1] показали, що необхідні методи можуть бути створені на основі аналізу часової мінливості оцінок характеристик першого та другого порядку вібраційного сигналу [2]. Постановка задачі виявлення прихованих періодичностей в термінах стохастичного оцінювання ймовірнісних характеристик ПНВП дозволяє усунути існуючі протиріччя традиційних підходів, розділивши пошук детермінованих періодичних коливань і закономірностей періодичної мінливості флуктуаційних процесів.

Список літератури

1. Яворський І. М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Під редакцією академіка НАН України З.Т. Назарчука. Львів, Україна: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2013.

2. Method for analysis of periodically non-stationary properties of vibrations for a gas-turbine engine with unbalanced rotor / Yuzefovych R. M., Torba Yu. I., Javorskyj I. M. et al. // Proceedings of International Conference “Welding and Related Technologies” (WRT 2024), Yaremche, Ukraine, 7–10 October 2024.