

УДК 629.735.035.3'7:681.51(042.3)

## ВІБРОАКУСТИЧНА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ

*К.С. Корнієнко, Н.В. Бабій*

*Національний авіаційний університет, Україна, 03058 м. Київ,  
просп. Космонавта Комарова, 1, e-mail: mef@nau.edu.ua*

**Вступ.** Основним типом силової установки, який застосовується в даний час в авіації є газотурбінний двигун (ГТД). Основу ГТД складає багатоступінчаста лопаткова машина, яка включає набір обертових (соплових) апаратів компресора і турбіни. Технічний стан ротора турбокомпресора багато в чому визначає ресурс і надійність силової установки і, отже, безпеку польотів літального апарата. У зв'язку з цим контроль і діагностування стану ГТД по вібраційних параметрах являє собою один з важливих напрямків у загальній системі технічної діагностики. Вібраційний аналіз має порівняно з іншими методами ряд характерних рис, пов'язаних з тим, що останні звичайно фіксують результати силового навантаження, а за допомогою вібраційних методів здійснюється безпосередній контроль самого динамічного силового впливу.

**Характеристика ГТД як вібраційної системи.** ГТД є складною динамічною системою, що складається, як правило, із трьох ступенів: компресор і турбіна високого тиску, компресор і турбіна низького тиску, компресор і вільна турбіна, що може бути зв'язана з електрогенератором. Вочевидь, що для такої системи необхідна своєчасна і достовірна технічна діагностика її стану. Одним з основних елементів технічної діагностики є вібродіагностика. Вібрації, тобто механічні коливання, визначаються як реакція системи на дію збурювальних сил. Внутрішні і зовнішні збурювальні сили, мають в основному механічне і газодинамічне (аеромеханічне) походження. Опис поведіння такої системи під дією навантажень може бути заснований на вивченні вібраційного спектра, що є сукупністю простих гармонійних коливань, на які може бути розкладений складний коливальний рух різних точок двигуна. Спектр ГТД має, як правило, комбіновану структуру і являє собою суму широкосмугового вібраційного шуму і лінійчатого спектра, що складається з ряду дискретних гармонійних складових. Найбільший внесок в утворення шуму вносять збурювальні навантаження, що мають аеродинамічну природу, дискретні ж складові обумовлені силами як механічного, так і газодинамічного походження.

Вібродіагностика виконується за допомогою інформаційно-вимірювальних систем. Особливості контролю роторної вібрації пов'язані з діапазоном частот. Для вібродіагностики ГТД необхідний частотний діапазон від 0 до 10кГц із роздільною здатністю в 1Гц. Розрізняють три піддіапазона діагностики:

- 0...10 кГц дозволяє виявляти основні гармоніки, що руйнують двигун;
- 50...80 кГц дозволяє виявляти дефекти у підшипниках у системі приводів;
- 200...800 кГц використовує методи акустичної емісії, що дозволяють виявляти дефекти типу мікротріщин на лопатках.

**Використання вейвлет-аналізу для вібродіагностики технічного стану ГТД.** Для розробки ефективного методу оцінки технічного стану вузлів ГТД, запропоновано використовувати неперервне вейвлет-перетворення. Неперервне вейвлет-перетворення являє собою розкладання аналізованого сигналу в базисі аналізуючої вейвлетної функції. Базис вейвлет-перетворення будується шляхом масштабних перетворень і переносів материнського вейвлету  $\psi(t)$  із безперервними значеннями базисних параметрів – масштабного коефіцієнту  $a$  і параметру зсуву  $b$ :

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), a, b \in R.$$

де  $\Psi_{a,b}(t)$  – дочірній вейвлет базису.

В інтегральній формі неперервне вейвлет-перетворення сигналу  $s(t)$  може бути виражене як

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt,$$

де  $*$  – оператор комплексного спряження.

Таким чином, неперервне вейвлет-перетворення сигналу  $s(t)$  із аналізуючим вейвлетом  $\psi(t)$  являє собою згортку сигналу із комплексно-спряженим дочірнім вейвлетом. Вейвлет-перетворення може бути розглянуте як спеціальна операція фільтрації з вейвлетом як ядром фільтра. Найчастіше на практиці вейвлет-аналіз сигналів виконується без урахування особливостей настроювання вейвлетів, які істотно впливають на результати перетворення і можливість їхньої правильної інтерпретації. Застосування вейвлет-перетворення без урахування частотних характеристик вейвлету може дати спотворену інформацію щодо особливостей аналізованого сигналу. Для успішного використання вейвлет-перетворення необхідний ретельний аналіз параметрів материнського вейвлету. Це дозволить гнучко управляти настроюванням вейвлету для одержання необхідних аналізуючи властивостей вейвлет-перетворення і правильно інтерпретувати одержувані результати.

**Висновки.** Для вибору найбільш ефективного вейвлету для аналізу вібраційних сигналів були проаналізовані вейвлет Морле і вейвлет Мексиканський капелюх як найпоширеніші типи вейвлетів, що використовуються в задачах неперервного вейвлет-аналізу нестационарних сигналів. Ці вейвлети більше за інших за формою подібні до імпульсних складових вібраційних сигналів, що робить їх найбільш відповідним засобом аналізу сигналів такого виду.

#### Літературні джерела

- 1 Дорошко С.М. Контроль и диагностирование состояния газотурбинных двигателей по вибрационным параметрам / С.М. Дорошко. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с
- 2 Герман М. Вибрация авиадвигателей / М. Герман, Б. Пугановский, И. Смирнов. – М.: Гражданская авиация, 1974. – 262 с.