

УДК 621.51.226.2.53

А.А. ХОРИКОВ, А.Г. ШАТОХИН, И.Ю. ГОЛОВЧЕНКО

НИЦ Центрального института авиационного моторостроения, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА АЭРОУПРУГИХ ПРОЦЕССОВ В ТУРБОМАШИНАХ

Проведен анализ функциональных возможностей современных методов и средств регистрации и автоматизированной обработки динамических процессов для исследования аэроупругих явлений в турбомашинах. Приведены примеры эффективного использования указанных методов и средств при анализе сложных аэроупругих явлений в компрессорах и турбинах.

высокочастотные измерительные каналы, временная и частотная области, цифровые регистраторы-анализаторы, аэроупругие процессы

В связи с ростом аэроупругой нагруженности и увеличением ресурсов турбомашин возрастает необходимость более надежной диагностики колебаний элементов турбомашин как на этапе стендовых испытаний, так и в процессе эксплуатации. Например, уровень динамических напряжений в лопатках, измеренный путем тензометрирования, может измениться как вследствие изменения нестационарных аэродинамических сил, действующих на лопатки, так и вследствие изменения динамических характеристик самих лопаток. Поскольку тензометрирование лопаток турбомашин в процессе эксплуатации практически невозможно, изменение уровня напряжений по мере выработки ресурса является неопределенным. Вместе с тем, при колебаниях рабочие лопатки являются вращающимися источниками возмущений потока, обусловленными видом аэроупругих колебаний лопаток.

Разработанные в ЦИАМ экспериментальные методы исследования аэроупругих колебаний рабочих колес компрессоров и турбин ГТД базируются на регистрации, обработке и анализе высокочастотных пульсаций давления и вибраций при испытаниях на установившихся и переходных режимах [1]. Реализация этих методов стала возможной благодаря применению высокочастотных измерительных каналов стендовых ИИС (датчики, усилители) и внедрению в ЦИАМ с 2001 г. совре-

менного цифрового регистратора МІС-310 фирмы НПП "Мера", а затем и МІС-300М, работающих в диапазоне частот 0 – 28,8 кГц.

В МІС-310 и МІС-300М применяются программные комплексы: ПОС – пакет обработки сигналов, под управлением операционной системы DOS; DAN-2000 – динамический анализатор сигналов на переходных режимах под управлением Windows и WinPos – пакет обработки сигналов также под управлением Windows. В табл. 1 представлен перечень алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС), входящих в ПОС, DAN-2000 и WinPos.

Накопленный опыт работы с указанными приборами показал, что они обладают также полным набором функций современного анализатора зарегистрированных сигналов и являются фактически серийными приборами нового класса – цифровыми регистраторами-анализаторами динамических процессов. Наряду с новыми функциями регистратора - анализом во временной и в частотной области регистрируемых процессов в реальном масштабе времени, в МІС-310 и МІС-300М установлены современные программные комплексы цифровой обработки сигналов (ЦОС), обеспечивающие обработку зарегистрированных динамических процессов в полном объеме во временной и в частотной областях. Обработка, отображение и документирование полученных результатов осуществляется с помощью: ПОС, WinPos и DAN-2000.

Таблица 1

Перечень алгоритмов цифровой обработки сигналов

ПОС
Спектральный анализ Гармонический анализ Корреляционный анализ Фильтрация Третьоктавный спектр Преобразование Гильберта, огибающая Плотность распределения вероятности Математическое ожидание, дисперсия, СКО, асимметрия, эксцесс Интегрирование Дифференцирование
WinPos
Автоспектр Взаимный спектр Комплексный спектр Функции когерентности, некогерентности Передающая функция Автокорреляция Взаимная корреляция Плотность вероятности Вероятностные характеристики Рекурсивная фильтрация Нерекурсивная фильтрация Огибающая пик-детектором Преобразование спектра Логарифмирование Интегрирование Дифференцирование Нормирование Центрирование Арифметические операции
DAN-2000
Зависимость параметров от частоты вращения ротора и от времени Пик Пик-Пик Среднее СКЗ СКЗ в полосе

Указанные программные комплексы, основу обработки сигналов в частотной области которых составляет один из алгоритмов БПФ, используются для обработки зарегистрированных сигналов, представленных в форматах "УСМЛ" и "Мера". В ПОС и WinPos в основном применены стандартные алгоритмы, представленные в литературе по ЦОС и используемые в аппаратуре передовых фирм (B&K, NI, dp, LMS, HP, Sony и др.) для обработки стационарных эргодических случайных процессов во временной и в частотной области. В их состав входит

основной набор функциональных возможностей (ОНФВ), включающий измерение и анализ: параметров формы сигнала, линейного спектра, спектра мощности, взаимного спектра, передаточной функции, функции когерентности, когерентного спектра мощности, корреляционной функции, взаимной корреляционной функции, импульсной характеристики, гистограммы, плотности вероятности, функции распределения. Сюда же включаются основные математические операции: +; -; ×; ÷; d/dx; ∫dx. Преимуществом процедуры БПФ в составе WinPos является представленный пользователю ряд блоков (порций) БПФ: 32; 64; 128; 256; 512; 1024; 2048; 4096; 8192; 16384; 32768; 65536; 131072; 262144, обеспечивающий получение высокого разрешения по частоте.

В ряде примеров сочетание новых методов диагностики колебаний с функциональными возможностями цифровых регистраторов-анализаторов позволило решить ряд сложных практических задач (диагностика видов колебаний, отстройка от резонанса, устранение различных видов флаттера, вращающегося срыва и т.д.). На основании вышесказанного можно сделать вывод о целесообразности широкого внедрения указанных регистраторов-анализаторов для исследования динамических процессов и диагностики состояния турбомашин, с учетом их современных функциональных возможностей и существенно меньшей цены, чем у зарубежных аналогов.

Литература

1. Хориков А.А., Шатохин А.Г. Обобщение опыта исследования динамической нагруженности элементов ГТД по результатам спектрального анализа пульсаций потока // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: НАКУ «ХАВ», 2002. – Вип. 31. – С. 82.

Поступила в редакцию 28.05.2004

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.Л. Шубенко, ИПМаш НАН Украины, Харьков.