

В.Ф. МИРГОРОД¹, И.М. ГВОЗДЕВА¹, Д.С. БУРУНОВ¹¹АО «Элемент», Одесса, Украина

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНДА В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ГТД

Рассмотрен подход к повышению надежности диагностических выводов о техническом состоянии силовых установок на базе газотурбинных двигателей, основанный на построении диагностических моделей изменения состояния в виде отклонений от исходных (либо эталонных) статических характеристик и анализе многомерных трендов временных рядов таких отклонений. Описаны основные этапы по реализации предлагаемого подхода. Трендовый анализ выполняется на основе метода главных компонент с оптимальной аппроксимацией выделенной трендовой компоненты. Для детализации изменения трендов в долгосрочной эксплуатации и краткосрочной динамике анализу подвергаются трендовые поверхности: двумерные тренды по длине выборки и окну анализа.

Ключевые слова: техническое состояние, диагностическая модель, временные ряды, трендовый анализ.

Введение

Необходимость перехода к эксплуатации сложных технических объектов ответственного применения, в частности, газотурбинных двигателей (ГТД) и силовых установок (СУ) на их основе по техническому состоянию требует разработки алгоритмических и программно-аппаратных средств оценки такого состояния СУ в их жизненном цикле. Важнейшей частью таких средств является подсистема трендового контроля и анализа, позволяющая выявить возникновение изменений в состоянии СУ по термогазодинамическим и вибропараметрам и оценить характер таких изменений. Проблемным вопросом усовершенствования методов трендового контроля и анализа, важным для решения научно-практических задач повышения достоверности диагностических выводов, является снижение вероятностей ошибок принятия решений о техническом состоянии диагностируемых объектов.

1. Формулирование проблемы

Статистики тренда различных типов (Хальда-Аббе, кумулятивных сумм и др.) для задач диагностирования технического состояния ГТД, с учетом выработки ресурса, детально рассмотрены в фундаментальной работе [1]. Вопросам исследования изменения параметров авиационных и наземных СУ в длительной эксплуатации посвящены работы [2,3]. Следуя работам [4] и [5], окончательное решение по диагностической ситуации необходимо принимать по диаграмме совместных трендов. Таким образом, возникает необходимость рассмотрения совместных трен-

дов различных параметров ГТД и применения методов многомерного трендового анализа.

Целью настоящего исследования является обоснование многомерного трендового анализа временных рядов, которые являются параметрами регистрации технического состояния ГТД в его жизненном цикле.

2. Решение проблемы

Объектом исследования являются процессы изменения технического состояния СУ. Исходные данные представлены в виде баз данных регистрации основных параметров ГТД в составе авиационных силовых установок и газоперекачивающих агрегатов.

Предложенный подход к диагностированию состояния СУ состоит из последовательно реализуемых следующих этапов:

- построение индивидуальных диагностических моделей по данным стендовых испытаний и эксплуатации в виде нелинейных регрессионных зависимостей относительно режимной переменной для приведенных к стандартным атмосферным условиям термогазодинамическим параметрам ГТД;
- выделение отклонений от индивидуальных диагностических моделей с учетом статистических моделей порождения данных;
- факторный анализ отклонений и уточнение формул приведения;
- трендовый анализ отклонений параметров ГТД от диагностических моделей, а также трендовый анализ вибропараметров;
- оценка распределения и коррелированности остаточных отклонений после выделения трендов.

Существенными особенностями предлагаемого подхода являются следующие отличия:

- нелинейная регрессионная диагностическая модель ГТД является индивидуализированной применительно к конкретному экземпляру двигателя;

- проводится углубленный трендовый анализ применительно к отклонениям параметров ГТД в процессе его эксплуатации от индивидуальной диагностической модели;

- применяется совокупность разработанных методов трендового анализа высокой эффективности [6], в частности, многомерного анализа [7], позволяющая разделить исследуемые временные ряды на взаимосвязанные трендовые, периодические и стохастические компоненты;

- для детализации изменения трендов в долгосрочной эксплуатации и краткосрочной динамике анализу подвергаются трендовые поверхности: двумерные тренды по длине выборки и окну анализа.

На рис.1, рис.2 и рис.3 приведены результаты формирования трендовых поверхностей для примера, рассмотренного в [6,7]. Окно анализа составило $k=20$ полетных циклов при длине выборки $n=218$.

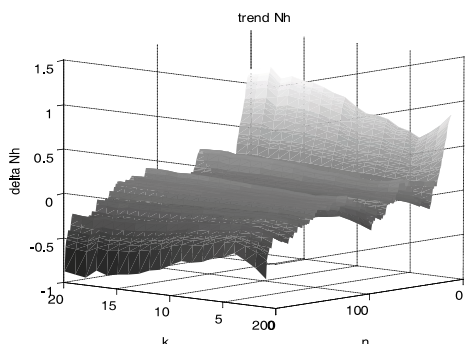


Рис.1. Трендовая поверхность отклонений оборотов турбины низкого давления

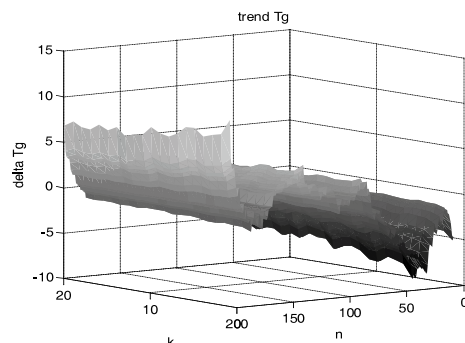


Рис.2. Трендовая поверхность отклонений температуры газов за турбиной

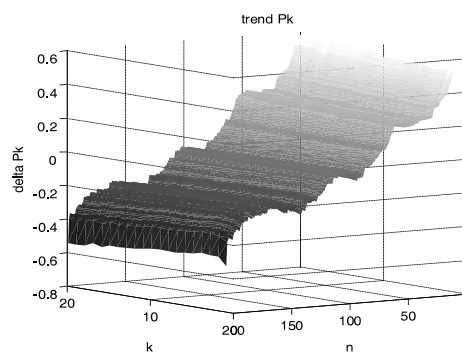


Рис.3. Трендовая поверхность отклонений степени повышения давления

Введение в рассмотрение трендовых поверхностей позволяет расширить множество альтернативных гипотез, под которыми понимаются следующие: опорная гипотеза H_{0k} отсутствия краткосрочного тренда и альтернативная H_{1k} об его наличии, опорная H_{0n} отсутствия долгосрочного тренда и альтернативная H_{1n} об его наличии. Повышение надежности статистических выводов достигается объединением гипотез: решение о наличии тренда принимается при одновременном превышении решающих статистик краткосрочного и долгосрочного трендов соответствующих пороговых уровней. Такими статистиками могут быть выбраны однотипные, например, Хальда-Аббе с различными степенями свободы, либо Хальда-Аббе для краткосрочного тренда и F -критерий [4] для долгосрочного. Для первого варианта установлено, что вероятность ошибки II-рода равна произведению вероятностей этой ошибки для отдельных критериев, а вероятность ошибки I-рода близка к сумме вероятностей этой ошибки для отдельных критериев. Таким образом, достигается существенное снижение уровня ложных тревог о наличии тренда. Вероятность правильного решения изменяется незначительно.

Заключение

Переход от одномерного (скалярного) трендового анализа к анализу трендовых поверхностей позволяет расширить признаковое пространство принятия решений и, тем самым, повысить надежность диагностических выводов. Такой переход возможен на основе формирования многомерных массивов из данных регистрации технического состояния – диагностических параллелепипедов [7] и анализа трендовых поверхностей. Перспективы

дальнейших исследований заключаются в разработке методов прогноза развития многомерных трендов.

Литература

1. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, В.И. Кузнецов, И.И. Богаченко и др. – К.: Техника, 1998. – 312 с.
2. Елисеев Ю.С. Статистические методы формирования алгоритмов вычисления в полете тяги и других основных параметров газотурбинного двигателя, критериев и признаков технического состояния его узлов / Ю.С. Елисеев., Г.В. Добрянский., Т.Ф. Дема // *Авиационно-космическая техника и технология.*- 2003.- Вып. 6(41). – С. 81-89.
3. Миргород В.Ф. Сравнительный анализ методов диагностирования технического состояния двигателя газотурбинного привода по данным регистрации / В.Ф. Миргород., Г.С. Ранченко.// *Авиационно-космическая техника и технология.*- 2006.- №2 (28). – С.70-74.
4. Егоров И.В. Диагностирование технического состояния авиационных двигателей/ И.В. Егоров // *Научный вклад в создание авиационных двигателей: труды/ ЦИАМ* - М.: Машиностроение, 2000. – с.651-688.
5. Миргород В.Ф. Применение диагностических моделей и методов трендового анализа для оценки технического состояния газотурбинных двигателей / В.Ф. Миргород, Г.С. Ранченко, В.М. Кравченко // *Авиационно-космическая техника и технология.*- 2008.- № 9(56). – С.192-197.
6. Миргород В.Ф. Оптимальная аппроксимация трендовой компоненты временного ряда / В.Ф. Миргород., И.М. Гвоздева. // *Електротехнічні та комп'ютерні системи.* – 2011 – № 04(80). – С. 121-125
7. Миргород В.Ф. Трендовый анализ на основе диагностических параллелепипедов./ Миргород В.Ф., Гвоздева И.М.// *Системні технології: регіональний міжвузівський збірник наукових праць.* – Вип. 3(80). – Днепропетровск, 2012. – С. 97-104.

Поступила в редакцию 01.06.2013

В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева, Д.С. Бурунов. Побудова й аналіз поверхонь тренда в задачах оцінки стану силових установок на базі ГТД

Розглянуто підхід до підвищення надійності діагностичних висновків про технічний стан силових установок на базі газотурбінних двигунів, заснований на побудові діагностичних моделей зміни стану у вигляді відхилень від вихідних (або еталонних) статичних характеристик і аналізі багатомірних трендів часових рядів таких відхилень. Описано основні етапи по реалізації запропонованого підходу. Трендовий аналіз виконується на основі методу головних компонентів з оптимальною апроксимацією виділеної трендової компоненти. Для деталізації зміни трендів у довгостроковій експлуатації й короткостроковій динаміці аналізу піддаються трендові поверхні: двовимірні тренди по довжині вибірки й вікно аналізу.

Ключові слова: *технічний стан, діагностична модель, часові ряди, трендовий аналіз.*

V.F. Mirgorod, I.M. Gvozdeva, D.S. Burunov. Construction and analysis of surface trend assessment in the problems of power systems based on GTD

An approach to reliability growth of the test lead on the technical state of power plants based on gas-turbine engines, which based on the construction of diagnostic models of state change in the form of deviations from the baseline (or reference) static characteristics and on multivariate trends analysis of time series of such deviations is considered. The basic steps for the implementation of the proposed approach are described. Trend analysis is executed on principal component method base with the optimal approximation of the selected trend components. To detail the changing trends in the long-term operations and short-term dynamics the trend surface as two-dimensional trends along the length of the sample and the analysis window are analysis.

Key words: *technical state, diagnostic model, time series, trend analysis.*