

DOI 10.58351/2949-2041.2024.16.11.004

Марченко Юрий Глебович,
Преподаватель УрФУ, Екатеринбург,
Marchenko Iurii Glebovich, UrFU

Шаргунов Даниил Павлович,
Студент, УрФУ, Екатеринбург,
Shargunov Daniil Pavlovich, UrFU

Шарипова Евгения Кадыровна,
Студент, УрФУ, Екатеринбург,
Sharipova Evgenia Kadyrovna, UrFU

Кашин Павел Андреевич,
Студент, УрФУ, Екатеринбург,
Kashin Pavel Andreevich, UrFU

Бормотов Александр Сергеевич,
Студент, УрФУ, Екатеринбург,
Bormotov Alexander Sergeevich, UrFU

**ВОЗМОЖНОСТИ ТРЕНДОВОГО АНАЛИЗА
ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
POSSIBILITIES OF TREND ANALYSIS
OF GAS TURBINE AIRCRAFT ENGINE PARAMETERS**

Аннотация: В данной статье рассматриваются возможности трендового анализа для диагностики авиационного газотурбинного двигателя. Также рассматриваются контролируемые параметры двигателя; выявляемые и не выявляемые неисправности и отказы.

Abstract: This article discusses the possibilities of trend analysis for diagnosing an aircraft gas turbine engine. Monitored engine parameters are also covered; detectable and undetectable faults and failures.

Ключевые слова: Надежность эксплуатации, трендовый анализ, диагностика.

Keywords: Operational reliability, trend analysis, diagnostics.

Трендовый анализ параметров двигателя

В эксплуатации при комплексном воздействии повреждающих факторов (загрязнение, износ, попадание посторонних предметов и пр.) изменяются газодинамические, вибрационные, прочностные характеристики газотурбинного авиационного двигателя. По мере увеличения наработки влияние этих факторов на техническое состояние становится все более заметным: появляются и начинают развиваться неисправности деталей и узлов проточной части, уменьшается мощность, отказывают отдельные компоненты систем. При значительном уровне деградации накопленные повреждения существенно увеличивают вероятность внезапного отказа установки или приводят к существенному ухудшению ее выходных параметров, что ограничивает возможности дальнейшего применения.

Кроме средств контроля, подключаемых при техническом обслуживании, для ранней диагностики многих неисправностей и отказов могут применяться также различные аналитические методы, связанные с оценкой параметров, регистрируемых в процессе работы двигателя. Например, для большинства газотурбинных двигателей, эксплуатируемых на воздушных судах гражданской авиации, разработаны и внедрены алгоритмы и программы т.н. параметрической диагностики, которые осуществляют оперативный контроль за значениями основных параметров в течение работы двигателя и оценку за изменением параметров на



длительных (от нескольких десятков до сотен часов) интервалах наработки. Целью подобной обработки является обнаружение аномальных отклонений параметров, которые связаны с ухудшением технического состояния, появлением и развитием повреждений. Реализация подобных программ выполняется или в блоках мониторинга, непосредственно в процессе работы двигателя, или в наземных автоматизированных системах контроля на базе ПЭВМ, которые обладают необходимыми вычислительными ресурсами для накопления больших объемов информации и обработки в интервалах между циклами использования двигателей. При этом наибольшие возможности для ранней диагностики предоставляют удаленные центры и базы данных, создаваемые для того, чтобы накапливать данные по всему парку эксплуатируемых двигателей, вести учет и систематизацию данных, проводить комплексную обработку и анализ диагностической информации.

Наиболее часто применяемым математическим инструментом обработки данных для проведения углубленной диагностики технического состояния и превентивного выявления неисправностей двигателя являются методы трендового анализа. Алгоритмы, основанные на трендовом анализе, обеспечивают сопоставление значений одного или группы параметров в течение определенных интервалов наработки двигателя. Целью подобной обработки является обнаружение аномальных отклонений параметров, которые связаны с воздействием повреждающих факторов (загрязнение, износ, попадание посторонних предметов и пр.), приводящих к изменению газодинамических, вибрационных, прочностных характеристики и, как следствие, появлению неисправностей и отказов. Одной из важных особенностей методов трендового анализа является возможность применения эмпирических моделей развития повреждений для прогнозирования технического состояния двигателя в течение последующих интервалов ее работы.

Перечисленные возможности, наряду с простотой математического аппарата делают трендовый анализ унифицированным средством контроля для большинства автоматизированных систем диагностики.

При использовании трендового анализа необходимо понимать, что его возможности направлены на выявление неисправностей, которые развиваются в течение некоторого времени, и степень влияния которых на измеряемые параметры превышает совокупное влияние, оказываемое другими внешними и внутренними факторами (например, изменение параметра, обусловленное неисправностью, должно превышать погрешность измерения данного параметра). В таблице 1 представлена общая сводка неисправностей и отказов, которые можно определить с использованием методов трендового анализа.

Таблица 1

Неисправности, выявляемые с использованием методов трендового анализа

Контролируемые параметры	Выявляемые неисправности и отказы двигателя	Не выявляемые неисправности и отказы двигателя
Газодинамические параметры: температура газов за турбиной давление и температура за компрессором высокого давления; частота вращения; расход топлива, мощность	Множественные повреждения деталей проточной части (без локализации источника) – загрязнение, износ и повреждения рабочих лопаток компрессора; прогары, трещины камеры сгорания; закоксованность, обрывы, прогар и эрозия рабочих лопаток и лопаток соплового аппарата; загрязнение проточной части; отказы датчиков	Одиночные повреждения деталей турбокомпрессора – обрывы, забоины, сколы отдельных лопаток; увеличение радиальных зазоров в отдельно взятом рабочем колесе, сегментарное повреждение прирабатываемого покрытия



<p>Параметры топливной, масляной, гидравлической систем: перепад давления на фильтрах, температура и давление на входе и выходе насосов, расход рабочей жидкости, стружка</p>	<p>Утечки рабочей жидкости (значительные), засорение фильтров, засорение теплообменников, неисправности форсунок, неисправности насосов; отказы датчиков</p>	<p>Незначительные течи или подтекание рабочей жидкости</p>
<p>Параметры вибрационного состояния: осевые и радиальные перемещения, виброускорение, фаза колебаний, частота вращения, пульсации давлений жидкости и газа</p>	<p>Дисбаланс, вызванный несоосностью валов, неуравновешенностью роторов, обрывы рабочих лопаток, повреждения зубчатых колес, отказы и неисправности подшипников, отказы датчиков, касания роторных и статорных деталей, дефекты приводных агрегатов</p>	<p>Повреждения и дефекты дисков, статорных деталей проточной части, корпусов</p>
<p>Параметры, характеризующие работу механизации: угол открытия клапанов и направляющих лопаток, время открытия/закрытия, объем отбираемого воздуха</p>	<p>Неполное открытие/закрытие клапанов, подклинивание, разрегулировка направляющих аппаратов, отказы датчиков</p>	<p>Трещины на трубопроводах, дефекты монтажа соединений</p>

Выводы

Потенциальные возможности трендового анализа для диагностики весьма существенны. Однако, необходимо понимать, что трендовый анализ является лишь математическим методом обработки эмпирических данных, представляющим общую последовательность действий, и практический результат по выявлению неисправностей, приведенных в таблице, возможен лишь в случае адаптации метода для каждой задачи с учетом ее специфики и наличия данных для отработки алгоритмов.

В ряде случаев одного наблюдения за изменениями параметров может быть недостаточно для постановки диагноза о возможной неисправности. Для более точной диагностики необходимо применять дополнительные методы анализа отклонений параметров, получаемых при трендовом контроле. Например, для диагностики неисправностей проточной части применяются методы знаковых или диагностических матриц, искусственных нейронных сетей.

Список литературы:

1. В.П. Максимов, И.В. Егоров, В.А. Карасев. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
2. Технические средства диагностирования. Справочник. В.В. Ключев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др. Под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.

