

SELECTION OF GTE DIAGNOSTIC ALGORITHMS BY THE FUNCTIONAL PARAMETERS.

D.A. Ionov

In the present paper was made an optimal algorithm research of Gas Turbine engine's technical state diagnostic. New criterion functions for fours most active modules were taken with the help of regression analysis and allows appraising engine's technical state by the meaning of based-measured parameters. Developed algorithm allows to move to engine's technical state exploitation throw the whole life circle.

ВЫБОР АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГТД ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ.

Д.А. Ионов

В данной работе был осуществлен поиск оптимального алгоритма диагностирования ГТД. С помощью регрессионного анализа были получены функции цели для четырех наиболее активных модулей двигателя, позволяющие проводить оценку ТС ГТД по значениям штатно-измеряемых параметров. Разработанный алгоритм позволяет перейти к эксплуатации двигателей по техническому состоянию в процессе всего жизненного цикла.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, техническое состояние, диагностирование, функциональные параметры, регрессионная модель.

Keywords: gasturbine engine, technical state, diagnostics, functional parameters, regressive model.

Непрерывное совершенствование авиационной техники, в том числе авиационных силовых установок, приводит к возрастанию значения надежности при одновременном увеличении их ресурса. Это связано, в первую очередь с тем что для достижения требуемых летно – тактических характеристик рабочие режимы силовой установки приходится поддерживать вблизи границ устойчивости и прочности при необходимости оптимально сочетать многие параметры. Обеспечить в таких условиях высокую надежность авиационной техники невозможно без постоянной оценки ее технического состояния.

В течении семидесятых годов получил развитие метод обслуживания по состоянию, как средство более эффективного и экономичного технического обслуживания. Этот подход предусматривал проведение технического обслуживания основываясь на состоянии двигателя с точки зрения сохранения эксплуатационных характеристик, прочности конструкции и других характеристик двигателя при минимальных затратах средств, в отличии от обслуживания по установленному периодическому регламенту.

За последние годы наметилась тенденция создания интегрированных систем диагностирования с САУ. Одним из решений данной задачи является диагностирование по функциональным параметрам. Этот метод позволяет осуществлять непрерывную оценку ТС ГТД с помощью бортовых средств, а также углубленную оценку с помощью наземно-бортовых средств. С помощью параметрических методов в настоящее время выявляется 5...30% неисправностей двигателей при потенциале до 60%и более. Такой интерес обусловлен тем что параметры функционирования двигателя уже используются в системе управления двигателя и бортового контроля и не требуют дополнительных затрат на определения значения этих параметров в процессе работы. Проблема лишь в анализе полученных данных с целью постановки диагноза.

Решение поставленной задачи тесно связано с внедрением информационных технологий в процесс управления и эксплуатации ГТД. Для обеспечения существенного экономического эффекта за счет снижения материальных затрат на создание и доводку двигателей и их систем управления целесообразно применять математическое моделирование при рациональном сочетании численных и экспериментальных исследований. Математическое моделирование дает возможность избежать дополнительных материальных затрат и неоправданного технического риска, связанного с доводкой узлов двигателя и агрегатов регулирующей аппаратуры.

Разработанная математическая модель является моделью первого уровня сложности и представляет собой совокупность уравнений, условий и ограничений, принятых для описания реальных процессов в двигателе. Организация вычислительного процесса включает решение системы нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона и решение дифференциальных уравнений методом Эйлера (в динамике).

В модели учтены:

- инерция вращающихся масс роторов;
- отбор воздуха из компрессора и наружного контура на охлаждение турбины;
- полнота сгорания топлива;
- механический коэффициент полезного действия роторов;
- отбор мощности от вала ротора высокого давления на привод агрегатов;
- гидравлические потери полного давления по тракту.

Модель представляет собой совокупность модулей и реализована на алгоритмическом языке Фортран с компилятором Compaq Visual Fortran Pro V6.1 для операционной системы Microsoft Windows XP.

Для достоверности результатов, полученных путем проведения численных экспериментов, была проведена идентификация полной математической модели «двигатель-САУ». Для оценки адекватности математической модели были выполнены численные эксперименты по воспроизведению процессов приемистости: малый газ – полный форсаж; малый газ – максимал, – и сброса: полный форсаж – малый газ; максимал – малый газ.

Результаты идентификации показали, что разработанная модель двигателя правильно и с высокой степенью точности воспроизводит установившиеся и переходные режимы двигателя (см. рисунок 1).

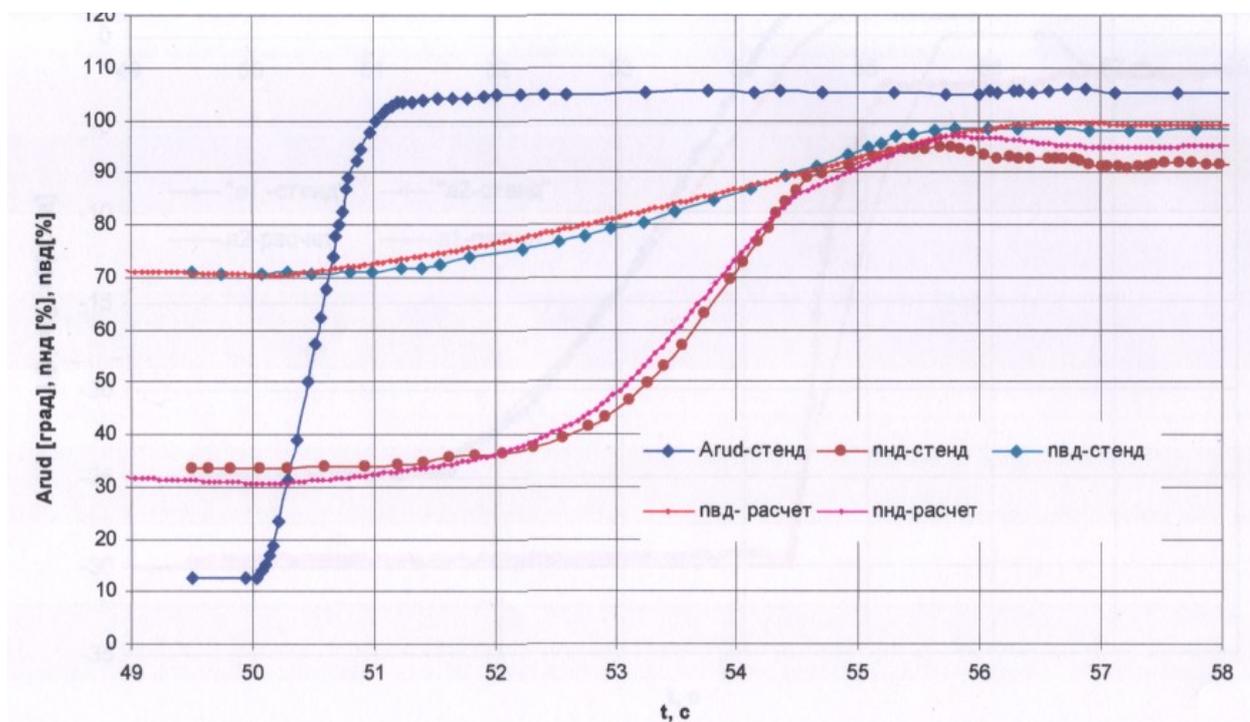


Рисунок 1. Полная приемистость, изменения положения РУД, частоты вращения компрессоров низкого и высокого давления.

Важную роль при переходе к современным бортовым цифровым системам диагностирования технического состояния ГТД играет разработка новых развитых алгоритмов вычисления параметров двигателя в полете. Основными требованиями к этим алгоритмам являются единые для всех режимов эксплуатации структуры вычисления параметров двигателя, использование в расчетах значений измеряемых параметров двигателя, независимость коэффициентов алгоритмов от режимов работы и условий эксплуатации двигателя. Этим требованиям отвечают алгоритмы построенные на основе регрессионного анализа.

Для решения задачи диагностирования в данной работе планируется построение четырех регрессионных зависимостей для исследуемых, наиболее активных модулей объекта – компрессоров низкого и высокого давления, а также турбин высокого и низкого давления.

Общий вид опорных функций (регрессионных зависимостей, по которым строится бортовая регрессионная диагностическая модель) может быть представлен в виде:

$$Y_i = a_{0i} \prod_{k=1}^N x_k^{a_{ki}}, \quad \text{где}$$

Y_i – обобщенный критерий технического состояния i -узла

x_k – измеряемый параметр (аргумент)

a_{ki} – показатель степени (весовой коэффициент параметра в i -узле)

Исходная информация для построения регрессионной модели функции цели и ограничений будет получена по результатам экспериментальных исследований или расчетным путем на базе полной математической модели изделия.

Для расчетных исследований на основе экспертного анализа были проведены следующие мероприятия:

- выбраны параметры изделия, характеризующие техническое состояние узлов и изделия в целом;
- определен диапазон изменения этих параметров;

В таблице 1 приведен список параметров и диапазон их варьирования.

№	Параметр	Отклонение параметра	
		max	min
1	T_{ex}^i	+10	-10
2	P_{ex}	+0,05 атм	-0,05 атм
3	σ_{II}	+1 %	-1 %
...
10	$\Delta n_{\text{к}}^0$	+5 %	-5 %
11	ΔT_4^0	+10°	-10°
...
...	$\Delta G_{\text{к}}$	+3 %	-3 %
...	$\Delta \eta_{\text{мнд}}$	+0,01	-0,03
...	$\Delta G_{\text{тнд}}$	+3 %	-3 %
...	$\Delta \eta_{\text{твд}}$	+0,01	-0,03
k	$\Delta G_{\text{твд}}$	+3 %	-3 %

Таблица 1. Список параметров влияния, используемых при оценке технического состояния двигателя.

Ортонормированная случайная выборка в факторном пространстве с равномерным распределением вектора Δx_i , $i = 1, 2, 3 \dots n$ образует матрицу планирования эксперимента $[n, N]$, каждая строка которой соответствует определенному численному эксперименту. Выбор плана численного эксперимента был осуществлен на основе теории планирования эксперимента с помощью программы для ПК. В этой программе учтены следующие факторы:

- элемент случайности, который реализован в виде генератора случайных чисел, позволяющий определить равномерную выборку в диапазоне изменения параметров;
- одновременное варьирование многими переменными, что дает возможность точнее оценить эффект влияния факторов с учетом их взаимодействия, что особенно важно при большом количестве факторов;

Для дальнейшего проведения численного эксперимента принято $N = 50$, т. е. 50 слов информации (опытов).

Следующим шагом является непосредственное построение регрессионных зависимостей для вычисления параметров. В качестве основного метода аппроксимации используется

метод эвристической самоорганизации (метод группового учета аргументов), позволяющий синтезировать регрессионные зависимости с большим числом аргументов в условиях ограниченности исходной информации.

На рисунке 2 приведены результаты расчета по регрессионной зависимости состояния диагностируемого узла для различных условий полета ($N=var$, $M=var$). Значения штатно измеряемых параметров, полученных по математической модели использовались как аргументы для расчета по регрессионной зависимости. На i , $i+3$, $i+10$ опытах вводились различные ухудшения. Из анализа графика видно, что регрессионная зависимость выявляет специально введенный дефект (резкое ухудшение функционала Y_i в отмеченных точках).

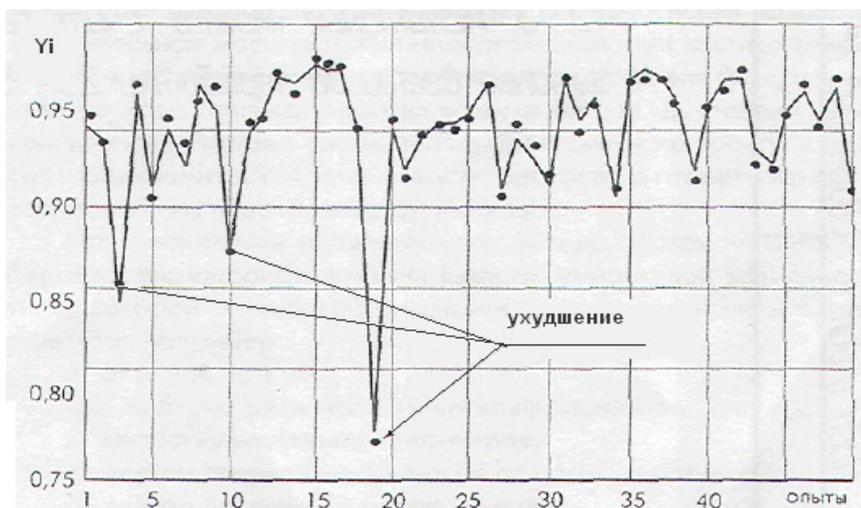


Рисунок 2. Состояние i -го узла.

Выводы

Разработанная зависимость проста, информативна и может быть использована для построения регрессионных моделей диагностики двигателя по функциональным параметрам и использоваться в бортовой цифровой системе управления.

Литература

1. Добрянский Г.В., Мартынова Т.С. Динамика авиационных ГТД. М.: Машиностроение, 1989. 240с.
2. Ахмедзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. М.: Машиностроение, 1983. 206с.
3. Новиков А.С., Пайкин А.Г., Сиротин Н.Н. Контроль и диагностика технического состояния газотурбинных двигателей. М.: Наука, 2007. 469с.

4. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико – экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 263с.
 5. Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. К.: Техніка, 1971. 372с.
-

Сведения об авторах:

Ионов Денис Александрович, аспирант кафедры «Теория воздушно-реактивных двигателей» Московского авиационного института (государственного технического университета).

Телефон: 369-88-43