

эффективности их охлаждения (Fluent, CFx...).

Используя 3D-изображение, сформировать исходные данные и расчетную схему и выполнить расчет на прочность внутренней сверхзвуковой створки (Ansys и др.)».

**«Индивидуальное задание по графической части сквозного группового курсового проекта:**

1) выполнить 3D модель вентилятора и средней опоры проектируемого двигателя,

2) выполнить сборку-разборку вентилятора в форме анимации».

Учитывая, что группа в составе 4 студентов выполняет проект всего двигателя, то

ей ставится задача:

«1) Выполнить в 3D проект всего двигателя с вырезом  $\frac{1}{4}$ .

2) Выполнить сборку-разборку двигателя в форме анимации»

Более 20 лет на кафедре КиПДЛА отработывает программа обучения конструкторов прочнистов названная «системой 5-й группы».

Обучение по такой программе формирует профессиональные навыки использования современных средств проектирования новых изделий, что позволяет студентам выпускникам начинать работать в коллективах ОКБ, в первую очередь авиационных предприятий, без всякого доучивания.

УДК 629.7.035

**НЕЧЕТКИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ОТКАЗОВ  
ГТД И ЕГО СИСТЕМ**

Куликов Г.Г., Арьков В.Ю., Фатиков В.С., Абдулнагимов А.И.

Уфимский Государственный авиационный технический университет

**FUZZY HIERARCHICAL MODELS OF FAULTS DEVELOPMENTS  
OF GAS TURBINES AND ITS SYSTEMS**

*Kulikov G.G., Arkov V.Yu., Fatikov V.S., Abdunagimov A.I. The problem of maintenance of system safety of aircraft and its systems is discussed. The technology of condition monitoring of gas turbines accounting for system faults on the basis of fuzzy hierarchical models of faults development is proposed. The use of the built in monitoring function in the distributed control system allows to trace the degradation process of the gas turbine engine and its systems. The given approach correctly estimates and predicts the development of system faults and provides workability of the whole power-plant in all range of external influences.*

Анализ систем автоматического управления, контроля и диагностики (САУКиД) типа FADEC, также силовой установки летательного аппарата (ЛА) показывает, что с каждым годом повышаются требования к обеспечению безопасности полета. Проблема мониторинга и диагностики состояния газотурбинных двигателей (ГТД) в полете при наличии отказов является актуальной в силу сложности количественной оценки технического состояния ГТД и его систем, а также отсутствия моделей процессов отказов и интеллектуальных алгоритмов контроля и ди-

агностики. Во многих нештатных ситуациях полностью неизвестно, какие отказы и их комбинации приводят к конкретному состоянию элементов ГТД и как они влияют на всю силовую установку в целом.

Для повышения качества информационных технологий мониторинга технического состояния ГТД предлагается интеллектуальный алгоритм обработки информации с привлечением логико-вероятностных и нечетких методов анализа отказов, которые способны обеспечить повышение качества определения технического состояния ГТД

при действии непредвиденных факторов. Такой подход развивает методы неразрушающего контроля - контроля надежности основных рабочих режимов и параметров ГТД, его отдельных элементов и узлов, не требующего его выведение из эксплуатации.

В настоящее время необходимым условием реализации интеллектуальных алгоритмов является всестороннее развитие моделей распределенного интеллектуального управления, направленных на оптимизацию управления, прогнозирование и обеспечение системной безопасности летательного аппарата и его систем. На основе этого предлагается формализованное представление ГТД в виде иерархической структуры как сложной системы, состоящей из подсистем и элементов (узлов) со встроенными функциями контроля.

Предлагается использовать иерархическую метамодель, которая интегрирует:

- Функциональную структуру ГТД;
- Структуру состояния её элементов и блоков (вместо традиционного дерева отказов);
- Структуру реконфигурации.

Для этого проводится декомпозиция ГТД на независимые подсистемы различного уровня иерархии по структурным и функциональным признакам (рис. 1), например:

- САУКД (FADEC);
- гидромеханическую исполнительную часть САУКД;
- топливные (основную и форсажную камеры);
- систему запуска;
- маслосистему;
- дренажную и др.

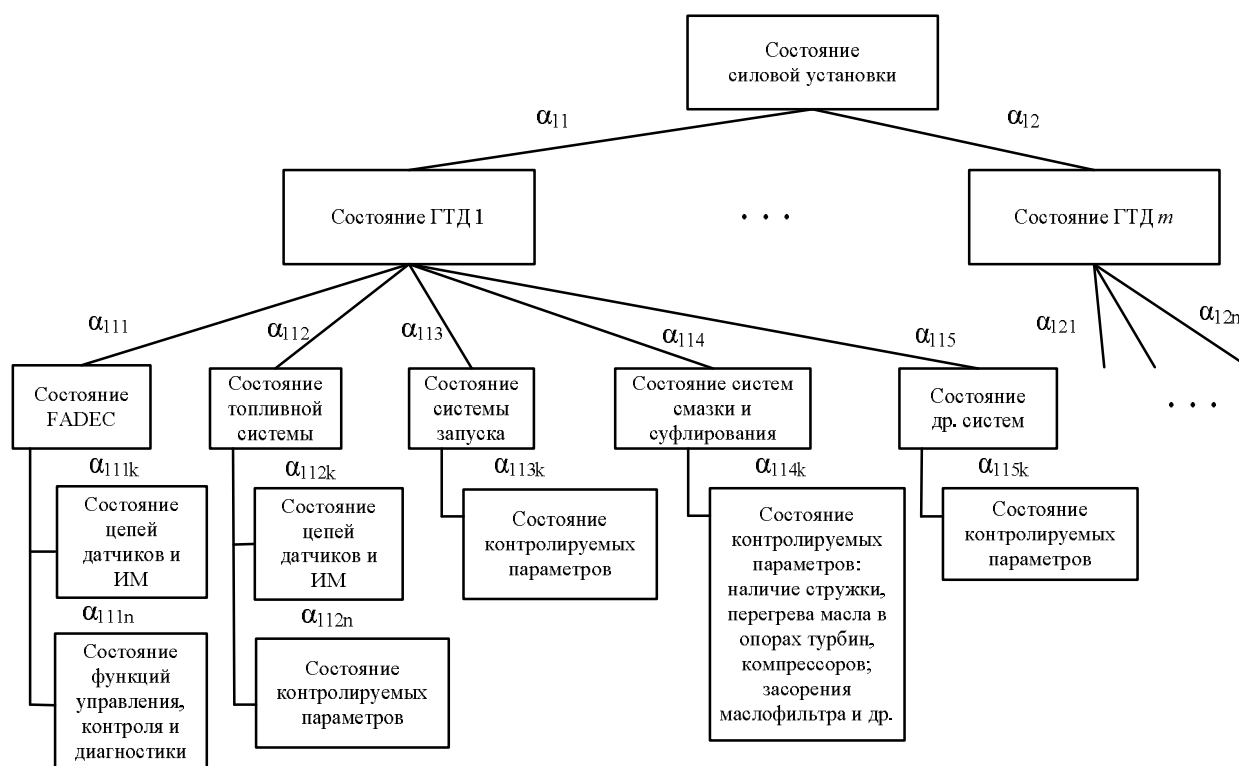


Рис. 1. Иерархическая структура состояния силовой установки (дерево состояний)

Предполагается, что в каждом элементе или подсистеме ГТД реализована встроенная функция контроля (ВФК) на аппаратном или программном уровнях. ВФК дает возможность отслеживать процесс деградации и устанавливать предотказное состояние на основе нечеткой логики определения отказов. Состояние вышестоящего элемента в иерар-

хии силовой установки формируется на основе базы правил отказов. Динамическая модель состояний определяется с использованием вероятностей текущего состояния ГТД и коэффициентов влияния отказов, вызвавших это состояние. Коэффициенты влияния отказов данного элемента на состояние подсистем верхнего уровня могут быть опреде-

лены по статистическим данным или экспертным оценкам.

Информация о техническом состоянии каждого элемента, узла или подсистемы собирается в FADEC и оценивается общее состояние силовой установки в целом с возможностью передачи информации в системы верхнего уровня.

Реализация данного подхода в САУ-КиД позволяет повышать достоверность

идентификации состояния ГТД, корректно оценивать и прогнозировать развитие системных отказов, сможет выводить ГТД в «щадящую» зону рабочей фазовой области при обнаружении отказов, эффективно принимать решения по реконфигурации системы и гарантировать работоспособность всей силовой установки во всем диапазоне внешних воздействий.

УДК 621.452

## МЕТОДИКА И ОПЫТ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОМПРЕССОРОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГТД

Кофман В.М.

Уфимский государственный авиационный технический университет

### METHODS AND THE EXPERIMENT OF THE PARAMETRIC IDENTIFICATION COMPRESSORS AND FANS MATHEMATICAL MODELS OF ACCORDING TO THE RESULTS OF THE GAS TURBINE ENGINE DEVELOPMENT TEST

*Kofman V.M. On the basis of the method insignificant deviations and the compressor characteristics presentation forms as a polynomial there has been worked out and tested methods of the parametric identification compressors and fans mathematical models according to the results of the gas turbine engine development test.*

Процесс доводки компрессоров (вентиляторов) ГТД является сложным и требующим значительных затрат времени и средств [1]. После выполнения проекторочных газодинамических и прочностных расчетов компрессора, выпуска конструкторской документации и изготовления первого экземпляра компрессора производятся его автономные испытания на специальных компрессорных стендах ЦАГИ. По результатам этих испытаний получают математическую модель (ММ) компрессора 1 приближения I уровня сложности.

ММ компрессора I уровня сложности по определению [2] представляет собой функциональные зависимости параметров компрессора от нескольких переменных

$$\pi_k^* = f_1(G_{в.пр.}, n_{пр}, Re_k, \alpha_{на}), \quad (1)$$

$$\eta_k^* = f_2(\pi_k^*, n_{пр}, Re_k, \alpha_{на}). \quad (2)$$

Как правило, по результатам лидерных испытаний компрессора выявляется необходимость изменения геометрических параметров его лопаточных венцов и программы регулирования направляющихappa-

ратов с целью достижения более высоких значений КПД и запасов газодинамической устойчивости. Введение изменений в конструкцию и программу регулирования компрессора требует экспериментальной проверки эффективности введенных мероприятий и проведения повторных дорогостоящих автономных испытаний компрессора на специализированном стенде или специальных испытаний компрессора в системе ГТД на заводском стенде.

Неотъемлемой частью процесса доводки компрессоров является параметрическая идентификация математических моделей (ММ) компрессоров по результатам их испытаний в системе ГТД. Результаты идентификации позволяют оценить изменение ММ первого приближения и эффективность введенных конструктивных мероприятий, а использование адекватных ММ компрессоров (вентиляторов) позволяет повысить точность расчета высотно-скоростных характеристик ГТД и целенаправленно проводить последующую доводку компрессоров и других узлов двигателя.