

УДК 62.506

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Г. Г. КУЛИКОВ

Факультет информатики и робототехники УГАТУ
Тел: (3472) 23 78 23 E-mail: kulikov@asu.ugatu.ac.ru

Рассматривается применение динамических моделей авиационных ГТД на различных этапах жизненного цикла САУ от проектирования до производства и эксплуатации. Прослеживается эволюция моделей от обобщенного среднестатистического двигателя к индивидуальным характеристикам конкретного изделия. Рассмотрены возможные перспективы использования стохастических моделей в проектировании и доводке САУ. Обсуждается роль методов идентификации динамических моделей в системе «неразрушающего» контроля и диагностики. Показаны возможности развития методов представления и обработки моделей в форме когнитивной компьютерной графики

Динамические модели; газотурбинный двигатель; автоматическое управление

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей статьи являются анализ и классификация динамических моделей газотурбинных двигателей (ГТД), используемых на различных этапах жизненного цикла электронных систем автоматического управления (САУ), включая создание, производство и эксплуатацию.

Специфика этого класса моделей заключается в том, что двигатель рассматривается как объект управления (ОУ). Система управления является неотъемлемой частью ГТД. Эти технические системы разрабатываются параллельно, совместно испытываются и эксплуатируются. Кроме самого двигателя, система управления дополнительно включает датчики, преобразователи и исполнительные механизмы, которые относят к неизменяемой части САУ.

В дальнейшем для простоты математические модели неизменяемой части рассматриваются как составная часть модели ОУ.

1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ САУ

Анализируя жизненный цикл двигателя и его САУ, можно выделить этапы научно-исследовательских работ, опытно-конструкторских работ, создания экспериментальных образцов, серийного производства и эксплуатации [1].

Проектирование САУ включает формирование аппаратной части системы путем комплексования стандартных блоков и частей (цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи, процессоры и системное программное обеспечение), а также разработку алгоритмического и программного обеспечения с применением моделей ОУ, куда входят синтез и экспериментальная доводка системы управления. После отработки САУ на полунатурном стенде проводят испытания на двигателе и в полете (рис. 1). Испытания ГТД совместно с САУ позволяют получить экспериментальные данные, по которым производится идентификация моделей для доводки системы. При этом модели приближаются к индивидуальным характеристикам конкретного двигателя, а по ним уточняют алго-

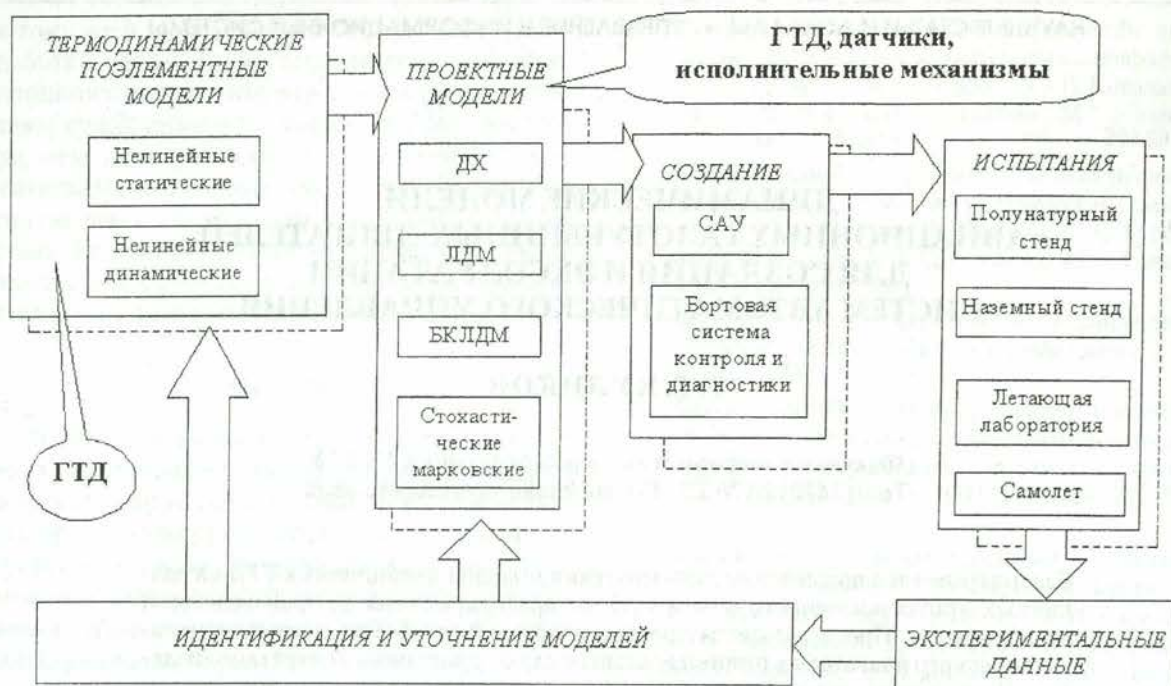


Рис. 1. Проектирование САУ ГТД

ритмы управления, синтезированные по среднестатистической модели.

На разных стадиях жизненного цикла САУ требуется различная точность и степень детализации математических моделей; различна и степень приближения к индивидуальным характеристикам двигателя и его САУ.

На этапе проектирования требуется знание обобщенных среднестатистических характеристик и параметров ОУ, а математическая модель ОУ существенно упрощается по сравнению с нелинейными поэлементными моделями, используемыми при проектировании ГТД. Проектную модель двигателя как ОУ получают именно путем упрощения термодинамических моделей. При создании САУ необходимо учитывать, что характеристики двигателя меняются в широких пределах под влиянием условий полета и состояния атмосферы, а также за счет постепенного старения и износа деталей. Ремонт и замена частей двигателя и системы управления также приводят к изменению характеристик. Поэтому так называемые проектные модели должны отражать характеристики класса двигателей в целом. В результате система управления разрабатывается для некоторого обобщенного ОУ, а после установки регулятора на конкретное изделие выполняется индивидуальная подстройка параметров САУ.

При экспериментальной доводке САУ и в серийном производстве математические модели используют для контроля соответствия характеристик регулятора техническим требованиям. Прежде всего, это относится к полунатурным стендам (ПНС) для испытаний электронных регуляторов, где математические модели имитируют реальный ОУ. Такая замена позволяет значительно сократить объем экспериментальных работ на реальных объектах и существенно понизить стоимость опытных работ. Современные полунатурные стенды для испытаний САУ содержат электронную модель объекта управления, имитаторы датчиков и исполнительных механизмов, а также устройство регистрации и анализа экспериментальных данных. Наиболее важным элементом подобных стендов являются модели реального времени. Как правило, это детерминированные линейные динамические модели в комбинации с нелинейной статической моделью.

На стадии эксплуатации требуются индивидуальные модели конкретного двигателя для текущих условий полета, которые могут быть определены методами идентификации. Такие модели необходимы для контроля и диагностики [2, 3], а также для оптимизации режима работы, в частности, при поиске наиболее экономичных режимов. Применение методов идентификации в качестве

средства неразрушающего контроля позволит перейти от эксплуатации по назначенному ресурсу к эксплуатации по состоянию (рис. 2). При этом контроль состояния ГТД и элементов САУ по идентифицированным моделям может дополнить традиционную схему предполетных подготовок и регламентных работ. В следующих разделах более подробно обсуждаются основные виды моделей ГТД как ОУ, а также тенденции развития технологий построения и использования этих моделей.



Рис. 2. Эксплуатация по назначенному ресурсу и по состоянию

2. КОМПЛЕКС ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГТД

При создании САУ разрабатывается комплекс динамических моделей на основе нелинейной поэлементной модели, состоящей из статической и динамической модели. *Нелинейная статическая модель* предназначена для исследования характеристик двигателя при его проектировании в ОКБ и включает, например, высотно-скоростные и дроссельные характеристики. Такие модели строятся на основе законов газовой динамики и включают более ста алгебраических и трансцендентных уравнений, причем часть характеристик задается в виде эмпирических зависимостей, графиков и таблиц. По ним можно рассчитать линию установившихся режимов с помощью численных итерационных методов.

Нелинейная поэлементная динамическая модель аналогична статической, но определяющие уравнения записываются в динамической форме. Они согласуют характеристики элементов двигателя в виде уравнений неразрывности потока и уравнений сохранения энергии. Записанные в алгебраической форме, они определяют статическую модель; дифференциальная запись определяет динамическую модель. Число определяющих параметров в этой модели зависит от схемы

двигателя и связано с аккумуляторами энергии. Поэлементная нелинейная динамическая модель предназначена для анализа переходных режимов работы двигателя, например, запуска, приемистости или сброса режима. Она может быть использована для анализа работы САУ, однако из-за высокой трудоемкости расчетов и малой наглядности применение таких моделей для проектирования САУ оказывается неэффективным.

Поэтому на основе этих моделей строится комплекс динамических моделей (КДМ), ориентированный на создание САУ [4]. Комплекс включает динамическую характеристику (ДХ), линейные динамические модели (ЛДМ), быстросчетные кусочно-линейные динамические модели (БКЛДМ) и стохастические модели, в частности, модели Маркова. КДМ создается путем упрощения нелинейной поэлементной модели, которая подразделяется на статическую и динамическую. Между ними существует аналитическая связь, позволяющая быстро получать динамические модели ОУ. Поэлементная статическая модель представлена следующей системой уравнений:

$$f_x = (\bar{X}, \bar{U}, \bar{V}) = \bar{0}, \quad \bar{Y} = f_y(\bar{X}, \bar{U}, \bar{V}), \quad (1)$$

где $\bar{X} = [n, p_r^*, T_r^*, T_c^*, p_c^*]^T$ — вектор координат состояния; $\bar{U} = [G_T, F_c]^T$ — вектор управляющих воздействий; $\bar{V} = [M_n, H_n, p_n, T_n]^T$ — вектор внешних условий; $\bar{Y} = [n_{пр}, p_k^*, \pi_k^*, \dots]^T$ — вектор наблюдаемых координат (элементы векторов приведены для одновального ГТД).

В поэлементной динамической модели система (3) трансформируется в систему дифференциальных уравнений относительно тех же векторов \bar{X} , \bar{U} и \bar{V} :

$$\dot{\bar{X}} = F_x(\bar{X}, \bar{U}, \bar{V}), \quad \bar{Y} = F_y(\bar{X}, \bar{U}, \bar{V}). \quad (2)$$

На установившихся режимах производные равны нулю и уравнения оказываются эквивалентными с точностью до коэффициента. Рассмотрим одно из определяющих уравнений для одновального двигателя в поэлементной статической модели и поэлементной динамической модели. Это уравнение неразрывности потока (5) между компрессором и камерой сгорания, где Z_1 — невязка, или нарушение равенства:

$$G_T - G_B - G_T = \Delta G_{в,дин} = Z_1 \Rightarrow 0. \quad (3)$$

Дифференцируя по времени уравнение состояния газа в камере сгорания

$$\frac{pV}{T} = mR, \quad (4)$$

получаем уравнение, связывающее динамическую добавку $\Delta G_{в.дин}$ с производными \dot{p} и \dot{T} :

$$\dot{p}_r^* = \frac{RT_r^*}{V_{кс}} \Delta G_{в.дин} + \frac{p_r^*}{T_r^*} \dot{T}_r^* \quad (5)$$

Использование уравнений вида (7), связывающих между собой системы уравнений (3) и (4), является основой методики определения параметров динамической модели по поэлементной статической модели с использованием дополнительной информации о конструкции двигателя (в уравнении (7) это объем камеры сгорания).

Линейная динамическая модель (ЛДМ) может быть получена из нелинейной поэлементной путем идентификации либо линеаризации, причем структура линейной модели задается априори из анализа термодинамической модели [5]. Обычно зона линейности для таких параметров, как частота вращения, температура и давление, составляет 3–5%. Чтобы определить коэффициенты ЛДМ, используется переходный процесс в окрестности установившегося режима. ЛДМ описывают свойства двигателя как ОУ в виде линейных дифференциальных уравнений или передаточных функций. Эти модели достаточно наглядны и удобны для анализа устойчивости и качества регулирования. В то же время их приближенный характер снижает точность результатов исследования.

3. ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Динамическая характеристика (ДХ) представляет собой графический образ нелинейной динамической модели ГТД [6]. Кроме статической линии $\dot{n} = 0$, ДХ одновалного ГТД дополнительно содержит линии постоянных ускорений $\dot{n} = \text{const}$. Для построения ДХ по статической модели рассчитывают ряд режимов, задавая определенные программы управления. Режимы работы двигателя формируют с различными значениями невязок, которые пересчитывают в соответствующие ускорения, как было показано выше. Для построения ДХ отбирают решения, где все невязки равны нулю, кроме невязки, определяющей баланс механической энергии на турбине и компрессоре. Расчет ДХ по поэлементной динамической модели выполняется путем задания законов регулирования

$\dot{n} = \text{const}$, $p_k = \text{const}$, $T_r^* = \text{const}$ и расчета соответствующих линий в плоскости параметров двигателя. ДХ могут сниматься экспериментально при наличии системы управления, обеспечивающей указанные законы регулирования.

ДХ нашли самое широкое применение, поскольку они наглядно отражают динамические свойства двигателя как ОУ и сохраняют основной вид нелинейностей этих характеристик [7]. С другой стороны, ДХ для двигателей сложных схем представляют собой модель в многомерном пространстве. Для ее упрощения и представления на плоскости или в трехмерном пространстве приходится вносить серьезные допущения и упрощения, и модель теряет свою наглядность.

4. АДАПТАЦИЯ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ САУ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Если известны условия работы и эксплуатации двигателя, то уже на этапе проектирования можно обеспечить изменение свойств САУ в области эксплуатации самолета. Характеристики ГТД для любых условий полета можно точно рассчитать по нелинейной поэлементной модели, но это требует объемных расчетов. Поэтому модель упрощают до ДХ в комбинации с формулами приведения и линейной интерполяцией [8]. Область эксплуатации подразделяется на три подобласти, различных с точки зрения подобия режимов (рис. 3). В области I ГТД описывается единой ДХ в приведенных координатах, и формулы приведения

$$n_{пр} = n \sqrt{\frac{288,15}{T_{вх}^*}}, \quad \dot{n}_{пр} = \dot{n} \frac{101325}{p_{вх}^*}, \dots \quad (6)$$

дают достаточно точные результаты. Для их использования необходимо, чтобы выполнялись условия подобия, включая неизменность геометрии проточной части, постоянство вязкости и влажности воздуха.

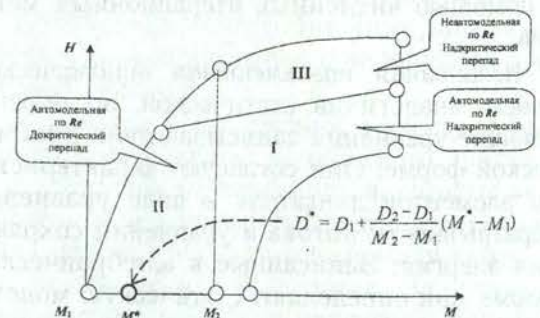


Рис. 3. Области адаптации САУ к внешним условиям

В других областях эти соотношения справедливы лишь на качественном уровне. В области II начинает сказываться изменение перепада давления на реактивном сопле, поэтому ДХ "расслаивается", и в каждой точке строится своя модель. В области III дополнительно учитывается влияние изменения чисел Re . При термодинамических расчетах обычно вводятся поправочные коэффициенты. В инженерной практике при проектировании системы управления динамическая характеристика для конкретных условий полета определяется путем линейной интерполяции между узловыми точками (рис. 4).

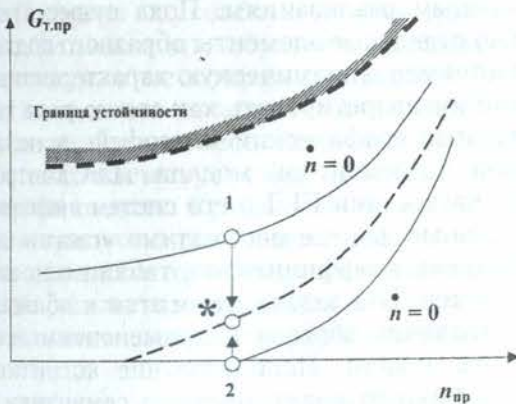


Рис. 4. Приведение параметров ГТД путем интерполяции

Если двигатель описывается единой динамической моделью, то достаточно ввести закон управления в приведенных параметрах

$$n_{пр} = \varphi(\alpha_{руд}). \quad (7)$$

Такое регулирование удерживает двигатель в области газодинамической устойчивости.

На переходных режимах используется программа поддержания ускорения \dot{n} , которое приводится только по давлению на входе в двигатель. Возможно также управление различными приведенными комплексами параметров. Для устойчивой работы во всей области эксплуатации дополнительно вводятся программы ограничения температуры и давления. Таким образом, САУ получает свойство адаптации по разомкнутой схеме на основе априорных знаний о свойствах ОУ, а программы управления, адаптивные к внешним условиям, будут зависеть от $p_{вх}^*$ и $T_{вх}^*$.

5. МОДЕЛИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Быстрочетные кусочно-линейные модели (БКЛДМ) сочетают нелинейные свойства ДХ

и линейные свойства ЛДМ. Исходными данными для БКЛДМ являются нелинейные статические линии и коэффициенты ЛДМ. Статические характеристики аппроксимируются кусочно-линейными зависимостями, построенными по 7–10 базовым точкам. Параметры статической линии между базовыми точками определяются путем интерполяции. Аналогично вводится интерполяция и для коэффициентов ЛДМ. При этом используется предположение, что параметры линейной модели на переходных режимах равны коэффициентам ЛДМ, относящейся к ближайшей точке статической линии. Окончательные расчетные соотношения (6) связывают матрицы коэффициентов ЛДМ A , B , C и D с координатами статической линии $X_{ст}$, $U_{ст}$ и $Y_{ст}$ с помощью параметра режима η .

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A(\eta)(X(t) - X_{ст}(\eta)) + \\ &+ B(\eta)(U(t) - U_{ст}(\eta)), \\ Y(t) &= C(\eta)(X(t) - X_{ст}(\eta)) + \\ &+ D(\eta)(U(t) - U_{ст}(\eta)) + Y_{ст}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\eta = \sum_{i=1}^n z_i x_i(t).$$

БКЛДМ обладает приемлемой точностью и может использоваться в реальном масштабе времени, поскольку она проще, чем нелинейная поэлементная динамическая модель. Это позволяет оперативно обрабатывать алгоритмы управления на моделях и проводить испытания САУ на ПНС [9]. В перспективе планируется использование БКЛДМ в бортовой системе контроля двигателя в качестве эталона исправного состояния.

6. СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ¹

Задачи синтеза САУ решаются в два этапа: вначале система управления проектируется для идеальных условий работы по детерминированным линейным или нелинейным моделям, а затем проверяется ее работоспособность в условиях помех. Многие методы моделирования одновременно используют детерминированную составляющую в виде параметров и составляющую шума. На тех стадиях жизненного цикла, где имеются экспериментальные данные, появляется возможность

¹Разделы 7–9 базируются на исследованиях, выполненных автором совместно с кандидатами техн. наук В. Ю. Арьковым и Т. В. Брейкиным.

повышения точности управления за счет учета случайных факторов. Повышение точности требует описания случайных факторов, не вошедших в детерминированные модели. Случайная среда возникает, когда невозможно описать систему с помощью детерминированных физических законов. Такие модели могут быть построены только путем идентификации по экспериментальным данным либо на этапе проектирования на основе прототипа.

Традиционные методы стохастического моделирования предполагают выявление точек приложения шумов и построения моделей возмущений в виде генераторов шума и формирующих фильтров. Задача существенно усложняется при моделировании распределенных возмущений и негауссовских процессов. Для описания сложных динамических систем с распределенными возмущениями было предложено использовать модели Маркова [10]. Управляемая марковская цепь описывается матрицей вероятностей переходов между дискретными состояниями системы (рис. 5).

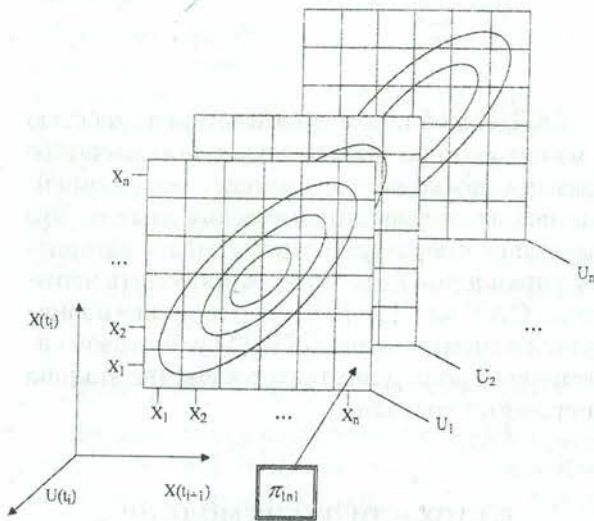


Рис. 5. Матрица вероятностей переходов марковской модели

Объединение детерминированной и стохастической составляющих динамики объекта в рамках единой модели дает возможность наиболее точно и адекватно имитировать поведение реальной системы. Кроме того, при использовании марковских моделей отпадает необходимость в идентификации моделей внешних и внутренних случайных возмущений, которые обычно не могут быть измерены непосредственно. Отметим, что математическое ожидание параметров марковской мо-

дели соответствует детерминированной модели.

Реализация марковской модели ГТД в испытательном ПНС приближает условия испытания САУ к реальным за счет моделирования случайных факторов.

7. КОГНИТИВНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

В настоящее время процесс проектирования системы управления еще не вышел на уровень образного представления. Синтез проводится по частотным характеристикам и временным реализациям. Пока существуют только отдельные элементы образного подхода, например, динамическую характеристику можно интерпретировать как своего рода когнитивный графический интерфейс к нелинейной поэлементной модели. Для контроля и диагностики ГТД и его систем экспериментальные данные необходимо «сжать» до нескольких коэффициентов, таблиц или поверхностей. Эта задача относится к области распознавания образов с применением экспертных знаний. Использование когнитивной графики позволит привлечь семантику к решению задач, связанных с созданием САУ, идентификацией и контролем состояния.

Образный анализ дает возможность провести линию или поверхность исходя из опыта эксперта-специалиста, и такой подход уже используется в некоторых областях знания [11]. Например, задача аппроксимации численных данных аналитической функцией во многих случаях решается когнитивным методом: исследователь выбирает функцию на основе экспертных знаний, даже если есть варианты, «более подходящие» по критерию минимума ошибки. Далее, в машиностроительных САПР используется трехмерная графика, и конструктор работает не с уравнением кривой или набором сплайн-функций, а с поверхностью, с графическим представлением, отражающим эту зависимость вместе с семантикой, с физическим смыслом.

Задача идентификации обычно решается на уровне математических формул, далеких от образного представления [12]. Но для марковской модели задача аппроксимации сводится к геометрическому пространственному анализу плоскости или поверхности. В частности, детерминированная составляющая динамической модели представлена в матрице переходных вероятностей прямой линией, проведенной по максимальным вероятностям. Таким образом, идентификация ди-

намических моделей тоже сводится к задаче распознавания. Вместо прямого оценивания коэффициентов, вначале необходимо распознать поверхность-образ, по которой определяются коэффициенты уравнения простым математическим приемом. При этом структура и порядок модели должны быть заданы априори. Кроме того, можно предварительно проводить когнитивный образный анализ корректности решения. Условия идентифицируемости будут определяться степенью разреженности стохастических матриц, что свидетельствует о полноте исходной информации для идентификации.

Построив марковскую модель, можно переходить к анализу образов и сравнивать поверхности, а не коэффициенты. Это позволит преодолеть некорректность задачи идентификации, когда небольшое отличие поверхностей соответствует существенной разнице в коэффициентах. Кроме того, графически задавать допустимые пределы для поверхности в пространстве гораздо проще, чем устанавливать пределы изменения для целого комплекса взаимосвязанных коэффициентов модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор математических моделей ГТД как объекта управления, применяемых на разных этапах жизненного цикла САУ, показал, что существует своеобразное противоречие между индивидуальными и среднестатистическими характеристиками двигателя. Чем точнее математические модели, тем ближе они становятся к конкретным экземплярам исходных объектов, упуская их общие свойства. При проектировании САУ строится среднестатистическая модель для целого класса двигателей. В то же время индивидуальные характеристики каждого двигателя отличаются от средней прогнозируемой модели. По характеристикам нескольких двигателей можно уточнить среднюю «проектную» модель двигателя. На этапе доводки среднестатистические модели помогают улучшить характеристики системы. Созданная для усредненного ГТД, система управления конкретным двигателем подстраивается индивидуально. Каждый двигатель имеет свои индивидуальные настройки и регулировочные характеристики. Поэтому на этапе эксплуатации требования к моделям качественно изменяются и полезную информацию несет индивидуальная модель, особенно если она используется для контроля и диагностики на аэродроме и в полете.

Методы неразрушающего контроля всегда используют сравнение эталона и индивидуальной модели, будь то модель-отражение реальной лопатки в зеркале, рентгеновский снимок или коэффициенты дифференциального уравнения [13]. Сравнение модели реального объекта производится или с моделью исправного состояния, или с моделью неисправности. Поэтому модель объекта управления на этапе эксплуатации трансформируется в инструмент неразрушающего контроля. Процессы проектирования САУ с применением моделей на сегодняшний день достаточно хорошо отработаны как технология и прошли практическую апробацию при создании и доводке в НПО «Молния» электронных систем управления ЭСУ-21, ЭСУ-27, БК-77 и других, устанавливаемых на самолетах МиГ-29, АН-70 и др. Проследив эволюцию моделей, можно утверждать, что область актуальных научных исследований смещается в сторону построения индивидуальных моделей двигателя, прежде всего, для контроля и диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Проектирование** авиационных газотурбинных двигателей: Учебник для вузов / Под ред. А. М. Ахмедзянова. М.: Машиностроение, 1999. 592 с.
2. **Биргер И. А.** Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
3. **Сиротин Н. Н., Коровкин Ю. М.** Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1979. 272 с.
4. Оптимизация многомерных систем управления газотурбинных двигателей летательных аппаратов / А. А. Шевяков, Т. С. Мартыанова, В. Ю. Рутковский, Г. Г. Куликов и др.; Под общ. ред. А. А. Шевякова и Т. С. Мартыановой. М.: Машиностроение, 1989. 256 с.
5. **Шевяков А. А.** Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. М.: Машиностроение, 1965. 547 с.
6. **Куликов Г. Г.** Принципы построения цифровых систем управления ГТД. Математические модели, используемые в САПР двигателей и двигательной автоматики // Черкасов Б. А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1988. С. 285–307, 323–343.
7. **Любомудров Ю. В.** Применение теории подобия при проектировании систем управления газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1971. 200 с.
8. **Куликов Г. Г.** Описание динамических свойств ГТД как нелинейного объекта управления в условиях нарушения подобия рядом

- динамических характеристик // Системное исследование двигателя и летательного аппарата в САПР: Тематич. сб. науч. тр. М.: МАИ, 1986. С. 40–45.
9. **Куликов Г. Г., Минаев И. И., Погорелов Г. И.** Основные принципы структурного и функционального построения полунатурных стендов и их применения при исследовании, отладке, доводке и испытаниях САУ двигательными и силовыми установками самолетов // Авиационная промышленность. 1994. № 11–12. С. 42–52.
10. **Куликов Г. Г., Флеминг П. Дж., Брейкин Т. В., Арьков В. Ю.** Марковские модели сложных динамических систем: идентификация, моделирование и контроль состояния (на примере цифровой САУ ГТД). Уфа: УГАТУ, 1998. 103 с.
11. **Зенкин А. А.** Когнитивная компьютерная графика / Под ред. Д. А. Пospelова. М.: Наука, 1991. 192 с.

12. **Льюнг Л.** Идентификация систем. Теория для пользователя / Пер. с англ.; Под ред. Я. З. Цыпкина. М.: Наука, 1991. 432 с.
13. **Patton R. J., Frank P. M., Clark R. N.** Fault diagnosis in dynamic systems, theory and application. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.

ОБ АВТОРЕ

Куликов Геннадий Григорьевич, профессор, зав. кафедрой АСУ УГАТУ. Дипл. инженер по автоматизации машиностроения (УАИ, 1975), д-р техн. наук по системному анализу, автоматическому управлению и тепловым двигателям (УАИ, 1990). Исследования в области АСУ и автоматического управления силовыми установками ЛА.



Издано в УГАТУ

На кафедре автоматизированных систем управления УГАТУ создана серия учебных пособий и монография, посвященные современным методам системного моделирования и проектирования интеллектуальных информационно-управляющих и экспертных систем на базе SADT-методологии, являющейся одним из направлений CASE-технологии и широко применяющейся как в нашей стране, так и за рубежом.

Рассматривается большое число примеров, иллюстрирующих преимущества и особенности практического применения рассматриваемых методов. В практическом аспекте издания дополняются серией методических указаний к лабораторным работам и приемами работы с пакетами программ IDEF/Design, BPwin, ERwin, EXSYS, ReSolver, MatLab (FUZZY), Lotus Notes и др.

Издания рекомендованы УМО Минобразования России для методической поддержки студентов специальностей «Автоматизированные системы обработки и управления» и «Информационные системы в экономике». Они будут полезны аспирантам и инженерам, работающим в области АСУ.

По вопросу приобретения изданий обращаться на кафедру АСУ. Информация представлена также на WWW-сервере кафедры <http://asu.ugatu.ac.ru>.

- 1. Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем.** Системное моделирование предметной области / Г. Г. Куликов, А. К. Набатов, А. В. Речкалов. Уфа: УГАТУ, 1998. 104 с. *Общесистемные принципы проектирования ИУС. Методология системного моделирования на основе функциональных, информационных, динамических и семантических моделей с применением IDEF. Формирование доступной CASE-технологии проектирования. Intranet-технология при системном проектировании. Комплексный анализ информационно-вычислительной сети. Примеры системного проектирования ИУС.*
- 2. Системное проектирование автоматизированных информационных систем** / Г. Г. Куликов, О. М. Куликов, Л. С. Полиенко, И. У. Ямалов. Уфа: УГАТУ, 1999. 100 с. *Анализ методологий проектирования АИС. Процедура обследования организации. Моделирование предметной области. Оптимизация моделей систем. Разработка экспертных систем на основе моделей системного проекта. Обзор CASE-технологий. Пример выполнения системного проектирования.*
- 3. Интеллектуальные информационные системы** / Г. Г. Куликов, Т. В. Брейкин, В. Ю. Арьков. Уфа: УГАТУ, 1999. 129 с. *Основы построения интеллектуальных информационных систем. Создание интеллектуальных систем на базе нечеткой логики, искусственных нейронных сетей, эволюционного программирования и теории марковских цепей. Принципы и алгоритмы настройки и адаптации систем искусственного интеллекта. Примеры использования CASE-технологий при разработке интеллектуальных систем.*
- 4. Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем** Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования / Г. Г. Куликов, А. К. Набатов, А. В. Речкалов и др. Уфа: УГАТУ, 1999. 223 с. *Теоретические основы и принципы проектирования экспертных систем на основе системного моделирования по SADT методологии. Организация интеллектуальной информационной поддержки на основе базы знаний, интегрированной в информационно-управляющую систему. Примеры реализации информационно-управляющих систем в организационном управлении и оперативном управлении производством моторостроительного предприятия.*