

УДК 681.518+681.3.06

В.Ф. МИРГОРОД, Г.С. РАНЧЕНКО, А.А. БЕВЗЮК

ОАО «Элемент», г. Одесса, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГТД АИ-450 ПО КАНАЛУ ИЗМЕНЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА

Для исследования динамики силовой установки и выбора оптимальных алгоритмов регулирования расходом топлива предлагается компьютерная математическая модель элементов системы, реализованная в среде MATLAB.

модель силовой установки, модель пространства состояний, компьютерная реализация, канал управления расходом топлива, MATLAB, алгоритмы регулирования

1. Постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами

Перспективные системы управления, применяемые в авиации, должны в настоящее время отвечать следующим требованиям:

- реализовывать принцип «полной ответственности» (FADEC), т.е. интегрировать не только САУ, но и автоматизированную систему контроля (АСК) силовой установки и автоматизированную систему диагностики силовой установки (АСД);

- обеспечивать управление, контроль состояния и диагностику не только ГТД, но и силовой установки в целом (двигатель, трансмиссия и винтовая группа) как в стационарных, так и в переходных режимах;

- обеспечивать возможность и условия перехода к управлению и эксплуатации силовой установки летательного аппарата по техническому состоянию.

Для выполнения указанных требований необходимо обеспечить разработку, анализ и компьютерную реализацию адекватных математических моделей всех элементов системы управления и их интеграцию в единую математическую модель, позволяющую на этапе создания и стендовых испытаний двигателя оценить качество выбранных технических решений.

2. Обзор публикаций и выделение нерешенных задач

Создание математических моделей и их компьютерная реализация являются необходимым этапом проектирования систем управления применительно к авиационным силовым установкам [1]. Приемлемую для практики точность обеспечивает подход, основанный на декомпозиции сложной нелинейной модели ГТД на нелинейную статическую и линейную динамическую субмодели [2], выполняемый в пространстве координат состояния объекта. При использовании указанного подхода, существенно упрощающего компьютерную реализацию моделей, остаются еще нерешенными вопросы интерполяции параметров линейной субмодели в промежуточных точках и связанные с этим проблемы устойчивости. Требуют адекватного описания процессы формирования возмущающих и задающих воздействий, в частности, по фактическому расходу топлива, с учетом нелинейной динамики дозирующих механизмов [3].

3. Постановка задачи данного исследования

Целью настоящей работы является создание и компьютерная реализация интегрированной математической модели силовой установки, состоящей из ГТД типа АИ-450, нагружаемого на винтовую группу, с учетом нелинейной динамики насоса-дозатора

(НД) и алгоритмов регулирования цифрового регулятора (РДЦ-450), а также исследование режимов управления ГТД в сопоставлении с данными стендовых испытаний.

4. Изложение основного материала с обоснованием полученных научных результатов

Основой для компьютерной реализации математического описания силовой установки являются модели, предложенные в [2], разработанные и параметризованные под руководством С.В. Елифанова для АИ-450 применительно к вертолетному варианту использования. Реализованные отличия касаются программной среды и интерполяции параметров модели динамики. Математические модели НД, построенные по данным стендовых испытаний при работе с РДЦ-450, созданы впервые и учитывают специфику перехода на гидромеханический резерв. Для оценки

эффективности различных алгоритмов регулирования расхода топлива построена математическая модель РД-450 – цифрового регулятора, осуществляющего позиционирование рабочего органа электромагнитного исполнительного механизма НД.

Математические модели объекта и элементов системы управления, реализованы в среде MATLAB 6.5 – Simulink 4, имеющей значительные возможности по реализации различных численных методов регулирования и широкий спектр инструментальных и программных средств.

Программный блок моделирования построен по иерархической структуре и содержит ряд вложенных подсистем, реализующих либо отдельные элементы интегрированной модели (РДЦ, НД, ГТД и др.), либо отдельные функциональные зависимости (статическая модель, динамическая модель, винт и др.).

Модель силовой установки (рис. 1) содержит:

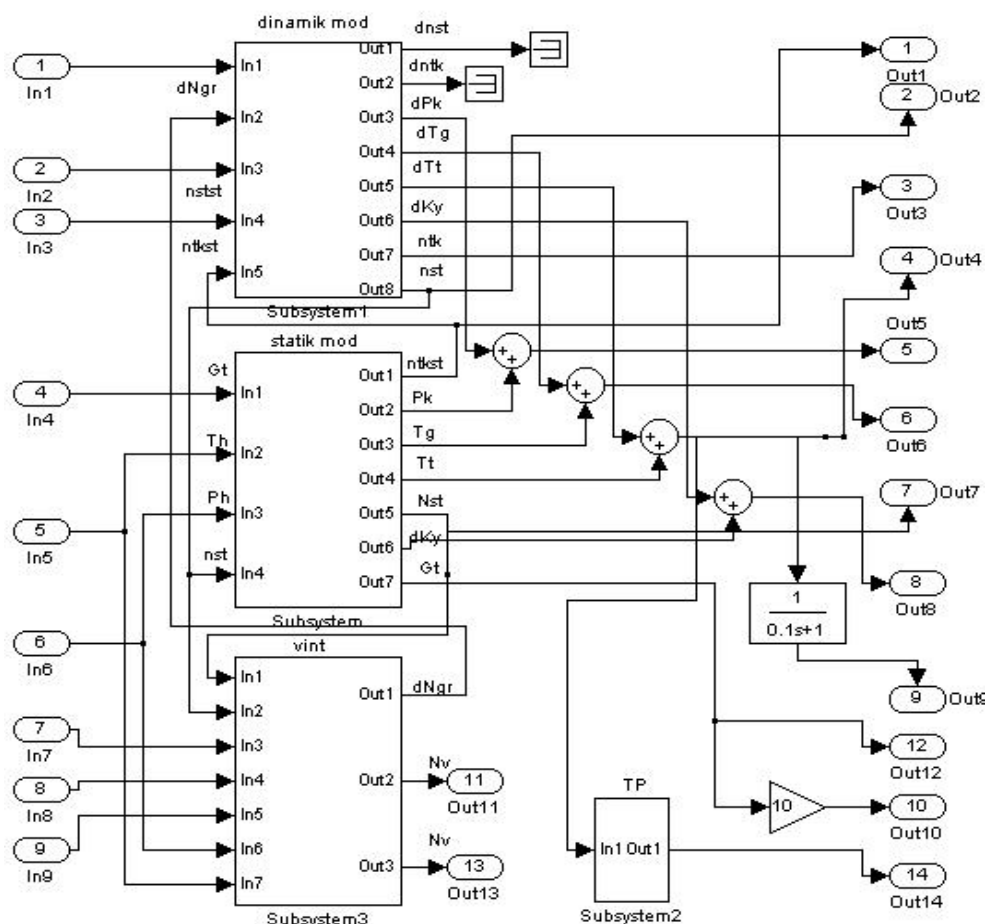


Рис. 1. Структурная схема модели силовой установки

- подсистемы статики, динамики, винтовой группы;
- нелинейную модель датчика температуры;
- блок задания внешних условий P_n (атмосферное давление), T_n (температура среды) и условий полета V_v , V_g (вертикальная и горизонтальная компоненты скорости), H (высота полета);
- блоки индикации.

Выходными параметрами являются переменные:

n_{TK} – частота вращения ротора турбокомпрессора, об/мин;

n_{CT} – частота вращения ротора свободной турбины, об/мин;

P_K – давление воздуха за компрессором, Па;

T_g – температура газа за камерой сгорания, К;

T_{CT} – температура газа за свободной турбиной, К;

δK_y – запас устойчивости компрессора, %;

N_{CT} – мощность на валу свободной турбины, Вт;

N_b – потребляемая мощность винта Вт.

Регулируемыми параметрами — переменные:

G_T – расход топлива, кг/ч;

ϕ_b – угол установки лопастей винта, рад.

Подсистема статики реализует полиномиальные зависимости статических значений переменных состояния от приведенных значений G_T и n_{TK} , с учетом нелинейных зависимостей от внешних условий.

Структурная схема подсистемы статики представлена на рис. 2.

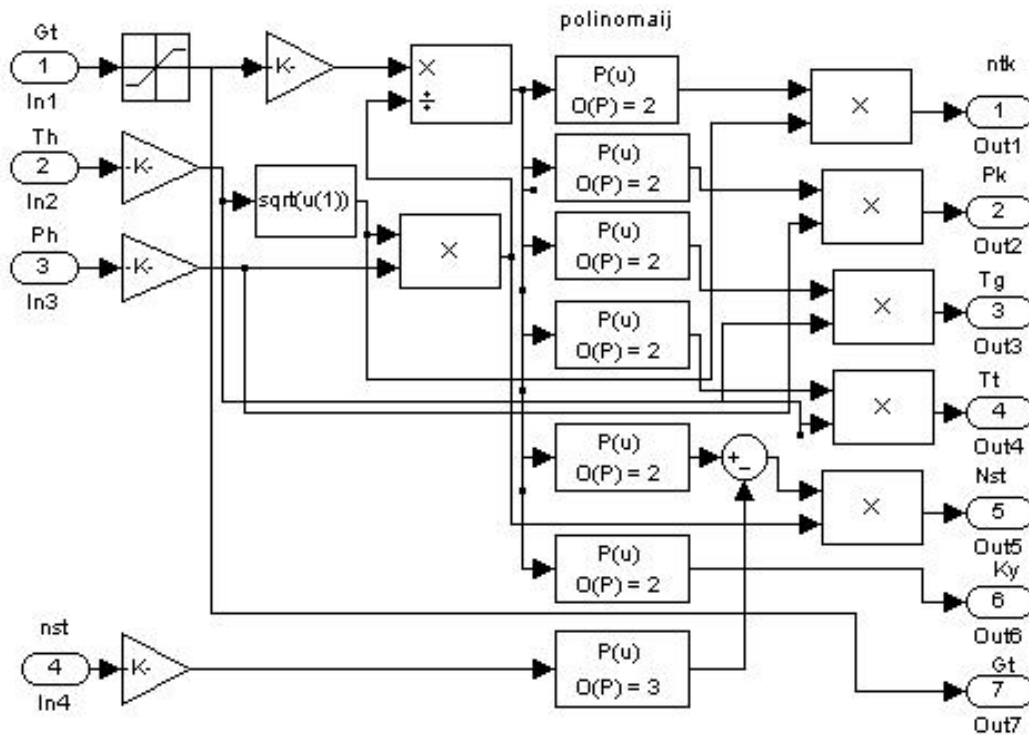


Рис. 2. Структурная схема подсистемы статики

Подсистема динамики (рис. 3) является реализацией модели пространства состояний [2]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \Delta \bar{x} &= A \Delta \bar{x} + B \Delta \bar{u} \\ \Delta \bar{y} &= C \Delta \bar{x} + D \Delta \bar{u} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $\Delta \bar{x} = [\Delta n_{TK}, \Delta n_{CT}]$ – вектор состояния;

$$\Delta \bar{u} = [\Delta G_T, \Delta N_{нагр}, \Delta N_{отб.ВД}, \Delta G_{отб}, \Delta M_{сг}] -$$

вектор управляющих и внешних воздействий;

$$\Delta \bar{y} = [\Delta P_K, \Delta T_g, \Delta T_T, \Delta(\delta K_y)] -$$

вектор отклонений параметров, не связанных с динамическими факторами.

Характер изменения переменных состояния модели при изменении заданного расхода топлива иллюстрируют диаграммы, приведенные на рис. 5.

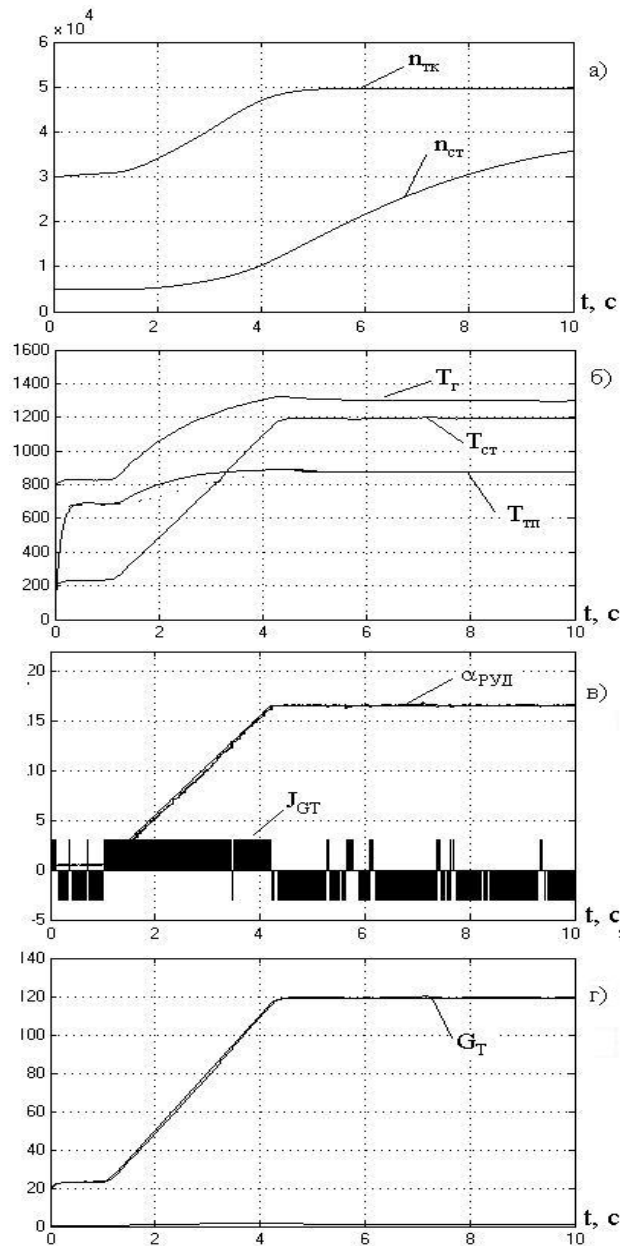


Рис. 5. Диаграммы изменения переменных состояния и управления: $T_{тп}$ – показания термопары; $\alpha_{руд}$ – положение рычага управления двигателем; $J_{ГТ}$ – ток управления расходом топлива $G_Т$

Сравнение полученных данных моделирования с базами данных стендовых испытаний двигателя подтверждает их достаточную степень соответствия модели ГТД для обработки алгоритмов регулирования РДЦ. Существенная отличия заключаются в расхождении результатов моделирования и фактически измеренных значений $T_г$.

5. Выводы и перспективы дальнейших исследований

Дальнейшие исследования направлены на детализацию полученных моделей, в результате которой должна быть выполнена параметрическая идентификация нелинейных статических и динамических зависимостей ГТД по каналу расхода топлива с использованием баз данных стендовых испытаний, что в перспективе позволит выполнить моделирование режимов двигателя, не воспроизведенных на стенде.

Таким образом, предложенные математические модели элементов системы управления ГТД АИ-450 по каналу расхода топлива и компьютерная реализация модели силовой установки в MATLAB дают возможность исследования поведения системы управления в стационарных и переходных режимах и выбора алгоритмов регулирования, удовлетворяющих заданным требованиям по точности поддержания заданного расхода и приемлемой динамики его изменения.

Литература

1. Гуревич О.С., Близнюков Л.Г., Трофимов А.С. Системы автоматического управления авиационными силовыми установками // Конверсия и машиностроение. – 2000. – № 5. – С. 50 – 61.
2. Епифанов С.В., Кузнецов Б.И., Богаенко И.Н. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей. – К.: Техніка, 1998. – 312 с.
3. Ранченко Г.С., В.Ф. Миргород. Особенности объекта управления в САУ расходом топлива авиационного двигателя и анализ режимов функционирования системы // Сб. научн. тр. НАКУ «ХАИ». – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 41/6. САУ и диагностика. – С. 115 – 118.

Поступила 12.04.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Герлига, ООО «Научно-исследовательский институт АЭС», Одесса.