



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «УГАТУ»)

К. Маркса ул., д. 12, г.Уфа, 450008. Тел.: (347) 272-63-07(347); факс: 272-29-18, e-mail: office@ugatu.su; <http://www.ugatu.su>
ОКПО 02069438, ОГРН 1030203899527, ИНН/КПП 0274023747/027401001

14.09.2019 № 20/0102-13

На № _____ от _____

В диссертационный совет Д212.125.08
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский
университет)»

Ученому секретарю диссертационного
совета, д.т.н., профессору
Зуеву Ю.В.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, д.4.

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Иванова Артема Викторовича "Технология комплексных полунатурных исследований систем автоматического управления соосных винтовентиляторов турбовинтовентиляторных двигателей", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

1. Актуальность работы

Поддержка жизненного цикла создания и эксплуатации технических объектов, к которым можно отнести турбовинтовентиляторные двигатели (ТВВД) и их системы управления, контроля и диагностики (САУКиД) типа FADEC, как предмет исследования данной диссертации, базируется, прежде всего, на использовании их системотехнических и математических моделей (ММ). Необходимая степень адекватности моделей обеспечивается методами структурно-параметрической идентификации их функциональной структуры и параметров по реальным данным объектов.

Научный подход решения этой проблемы - это обобщение и разработка новых методов системного и математического моделирования ТВВД и их САУКиД, включая методы имитационного моделирования (ИМ), методы планирования экспериментальных исследований для комплексного, эффективного решения проектно-доводочных и эксплуатационных задач, включая штатные и

аварийные состояния объекта. Необходимо отметить, что, интенсивно методы цифрового (количественного) математического моделирования в различных областях авиадвигателестроения активно начали применяться с 1970-х годов. Однако только в настоящее время они приобрели системный характер, что позволяет сегодня ставить и решать новые сложные задачи комплексного проектирования и производства систем управления и контроля газотурбинных двигателей (ГТД) 5-6 го поколений. Кроме того, непрерывно повышающиеся требования к функциональной безопасности при их эксплуатации по состоянию требует разработки эффективной системы мониторинга и оценки состояния при выработке ресурса.

При этом для современного и перспективного двигателестроения становится актуальной и задача автоматизации самих процессов моделирования и идентификации моделей в течение их жизненного цикла (ЖЦ).

Общей методологической основой математической и информационной поддержки процессов ЖЦ ТВВД и его систем являются принципы CALS-технологии. В ее основе лежит идея много платформенной информационной интеграции данных ЖЦТВВД и их САУКиД. Информационную интеграцию можно осуществлять на положении, что все ИТ – информационные технологии, применяемые на различных стадиях ЖЦ, будут оперировать с математическими и информационными моделями и реальными данными, описывающими и воспроизводящими процессы создания, испытаний и эксплуатации ГТД и их САУКиД. В настоящее время такой подход находит свое развитие в теории создания "Цифровых гибридных двойников" процессов проектирования, производства и эксплуатации реальных объектов.

В работе развивается подход создания современных САУКиД турбовинтовентиляторных двигателей с соосными винтами (ВВ) с применением стенда полунатурного моделирования (СПМ), как необходимого эффективного метода совместного анализа модельных и экспериментальных данных. Разрабатывается методика идентификации математических поузловых моделей реального времени ТВВД для СПМ по экспериментальным полетным данным. Это соответствует необходимому условию машинного обучения и применения "Цифрового гибридного двойника" реального объекта.

2. Научная новизна и новые результаты

Работа выполнена на достаточно высоком научном и методическом уровне. Она позволяет отметить научную новизну проведенного исследования, которая включает следующие положения:

1. Разработана модифицируемая поузловая математическая модель реального времени ТВВД для информационной среды стенда полунатурного моделирования, позволяющая исследовать характеристики реальных узлов систем автоматического управления (САУ) и систем контроля и диагностики (СКД) в замкнутых каналах

управления при имитации различных внешних условий и наличии отказов отдельных элементов.

2. Разработан много платформенный аппаратно-программный комплекс для реализации комплексной технологии полунатурных исследований САУ соосных винтовентиляторов в замкнутых каналах управления.

3. Получены новые, по критериям полноты и адекватности, правила и алгоритмы реализации поузловой математической модели ТВВД реального времени для исследования замкнутых каналов управления на стенде полунатурного моделирования, позволяющие повысить достоверность и точность результатов исследований.

В теоретическом плане предложены новые алгоритмы и соответствующие программные модули расчета показателей идентификации статических и динамических параметров модели по экспериментальным данным. Получены качественные и количественные оценки значений базовых параметров процессов моделирования (быстродействие, допустимое количество итераций, точность и др.), определяющие эффективность реализации математических моделей в реальном времени. Определены условия и правила для автоматизированной информационной поддержки принятия технических решений по полученным в процессе испытаний результатам, включая этапы проектирования, производства и эксплуатации.

3. Достоверность полученных результатов

По сути, в диссертационной работе предложен новый подход к формированию интегрированной много платформенной информационной среды, включающей комплекс математических моделей, моделей инструментального окружения и вычислительных средств. Показано, что в данной среде эффективно реализуются известные и новые предложенные расчетно-экспериментальные методы и модели полунатурных исследований. Основные математические соотношения в моделях не противоречат базовым уравнениям термогазодинамики, теории лопаточных машин, теории автоматического регулирования и управления, теории планирования экспериментов. Используемые аппроксимирующие зависимости соответствуют известным эмпирическим зависимостям. Отличия расчетных и экспериментальных, в том числе и полётных данных, полученные в ходе исследований находятся в пределах требуемых точностей, задаваемых техническими условиями, что подтверждает достаточную степень адекватности предложенной модели, и подтверждает возможность для расчетных исследований процессов в динамике.

4. Практическая ценность работы

Практическая ценность заключается, прежде всего, в предложенных модифицированных системных и математических моделях ТВВД и их систем, реализуемых в форме программных модулей, встраиваемых в автоматизированную информаци-

онную среду, определяемую предложенной модификацией структуры СПМ, и подтверждается их внедрением на предприятиях:

- на ОАО «НПП «Аэросила», на стенде полунатурного моделирования (ММ ТВВД Д-27, ММ вспомогательного ГТД со свободной турбиной УБЭ-1700, ММ турбовинтового двигателя ТВ7-117СТ АО «Климов» для военно-транспортного самолета Ил-112В);

- в комплексном тренажере самолета Ил-112В (КТС-112В, ПТС-112В) для обучения летного состава и отработки им сложных ситуаций.

5. Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка используемой литературы 98 наименований и четырех приложений, изложена на 263 машинописных страницах.

Во введении автором обоснована актуальность темы исследования.

В первой главе определены и исследованы основные составляющие технологии проведения комплексных полунатурных испытаний: структурная организация современного СПМ, структура программного обеспечения (ПО) СПМ, структура и характеристики математических моделей СПМ и методы их взаимодействия с натурными объектами испытания (гидромеханическая часть ВВ и агрегаты САУ). Определены основные параметры ММ ТВВД для исследования режимов функционирования элементов САУ на СПМ в реальном времени.

На основе структурно-параметрического анализа характеристик СПМ, поставлена цель диссертационной работы и определены задачи научного исследования.

Во второй главе разработана нелинейная поузловая (поэлементная) термодинамическая математическая модель (НПММ) ТВВД на примере двигателя Д-27, включающая термодинамическую модель газогенератора (ГГ), динамическую модель ротора ГГ и свободной турбины, связанной с дифференциальным редуктором, обеспечивающим противоположное вращение переднего и заднего воздушных винтов. Предложен алгоритм расчета в реальном времени основанный на методе дихотомии.

В третьей и четвертой главах обосновано применение среды программирования LabView для реализации поузловой ММ ТВВД Д-27. Приведен программный код. Приведены результаты отработки ММ ТВВД Д-27 в составе СПМ и их сравнение с параметрами реального двигателя по $\pi_{к\sigma}^*$, G_T , $N_{ТВВ}$ во всем диапазоне режимов работы ММ.

В пятой, в шестой главах описана методика алгебраической коррекции в НПММ ТВВД Д-27 параметров G_T и $N_{ТВВ}$. Коррекция G_T проводится с помощью предложенного коэффициента идентификации $k_{и}$, равного отношению реального (полётного) и расчетного расходов топлива в КС. Приведены результаты ана-

лиза показывающие, что погрешность расчета уточненной ММ в части параметров G_T и $N_{ТВВ}$ является допустимой для моделирования совместной работы соосного ВВ, ТВВД и САУ на СПМ.

В седьмой главе исследована эффективность применения в среде LabView с НПММ ТВВД Д-27 современного метода оптимизации – генетического алгоритма (ГА).

В восьмой главе показано что комплексная технология полунатурных испытаний агрегатов САУ соосных винтовентиляторов в замкнутых каналах управления с применением поузловой ММ ТВВД дает высокую сходимость результатов полунатурных испытаний с результатами реальных испытаний соосных ВВ в составе ТВВД в широком диапазоне условий эксплуатации, а также при имитации отказных ситуаций.

Диссертация написана грамотно, объем диссертации находится в пределах нормы. Автореферат в достаточной мере отражает основное содержание диссертационной работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в достаточном объеме: в 11 научных статьях, 3 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Кроме того, результаты работы доложены на 8 международных отраслевых форумах и конференциях.

Тематика публикаций достаточно полно отражает основное содержание защищаемой работы.

6. Замечания и рекомендации по работе

1. В главе 1 было бы целесообразно провести анализ наблюдаемых тенденций в совершенствовании технологий создания современных САУКиД типа FADEC для современных и перспективных ГТД. Сформировать основные требования к интеграции стендового ПО с бортовыми и сервисными системами ПО.

2. Не освещен вопрос требований к СПМ для исследований САУ многодвигательных силовых установок (так силовая установка Ан-70 включает 4 двигательные установки Д-27).

3. В работе недостаточно внимания уделено вопросам интеграции предлагаемой информационной технологии моделирования с системами моделирования САУКиД типа FADEC (Matlab, Wisim и др.), с типовыми системами моделирования электро-пнеumo-гидромеханических устройств и др. Предложенные модели элементов САУ, остаются уникальными (специфическими), могут быть использованы, прежде всего, для исследования характеристик самой САУ.

4. Недостаточно внимания уделено вопросам интеграции модели двигателя и его систем в составе известных имитационных систем моделирования ЛА, например, "Аэродинамика" и др., это затруднит решение задачи оптимизации управления двигателя по критериям летательного аппарата.

5. К сожалению, разработанные теоретические и практические положения представлены в работе только на общепринятых инженерно-математических языках, что вызовет дополнительные трудности при разработке информационной технологии создания и эксплуатации универсального алгоритмического и программного обеспечения. Целесообразно было бы использование рекомендуемых для этих целей ГОСТ Р графоаналитических языков, CASE и CALS технологий, например, IDEF, STEP и др.

6. В целом по работе, можно констатировать, что результаты системотехнического анализа и синтеза в исследуемой предметной области СПМ достаточно полно формализованы и представлены в "цифровой" форме, что позволит в дальнейшем применять современные методы символьного анализа, нечёткой логики и нейронных сетей. Автору следовало бы исследовать эту перспективную возможность.

6. В работе встречаются жаргонные и размытые утверждения типа "... абстракция – для упрощения представления и реализации математических моделей...", "...огромный спектр возможностей для выбора и отработки ...» (см. стр.7 и 21 автореферата) и др.

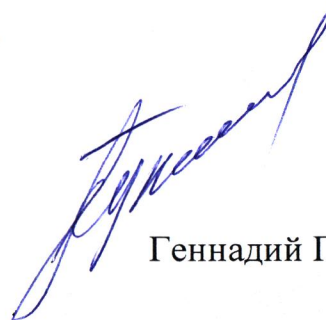
Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

7. Заключение

Диссертационная работа является завершённым научным исследованием, содержащим новое решение актуальной научно-технической проблемы в области создания и применения перспективных СПМ, выполнена на высоком научном уровне, отвечает требованиям п.9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного правительством РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Иванов А.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Официальный оппонент

Профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», доктор технических наук, профессор.



Куликов
Геннадий Григорьевич

Докторская диссертация защищена по специальности 05.07.05 – Тепловые, электродвигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Адрес: 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, д. 12.

Телефон: +7 (347) 272-63-07

e-mail: office@ugatu.su

Подпись официального оппонента

Куликова Геннадия Григорьевича заверяю:

Ученый секретарь ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», доцент.



Н.В. Ефименко