

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.08

**Соискатель:** Иванов Артем Викторович

**Тема диссертации:** Технология комплексных полунатурных исследований систем автоматического управления соосных винтовентиляторов турбовинтовентиляторных двигателей

**Специальность:** 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 18 февраля 2018 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалифицированную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Иванову Артему Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Абашев В.М., Агульник А.Б., Демидов А.С., Козлов А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Марчуков Е.Ю., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А., Чванов В.К.

Ученый секретарь диссертационного совета  
Д 212.125.08, д.т.н., профессор



Ю.В. Зуев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 18.02.2019 г. № 5

О присуждении Иванову Артему Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Технология комплексных полунатурных исследований систем автоматического управления соосных винтовентиляторов турбовинтовентиляторных двигателей» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 03.12.2018 г. (протокол № 24) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4, приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета - №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Иванов Артем Викторович, 1989 года рождения, работает начальником бригады разработки агрегатов систем автоматического управления конструкторского отдела систем автоматического управления в публичном акционерном обществе «Научно-производственное предприятие «Аэросила» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

В 2011 г. соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского». В 2016 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Технология производства авиационных двигателей» Ступинского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук Бабин Сергей Васильевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Технология производства авиационных двигателей» (Ступинский филиал), заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

- Куликов Геннадий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», кафедра «Автоматизированные системы управления», профессор;

- Гайдай Максим Станиславович, кандидат технических наук, публичное акционерное общество «ОДК – Сатурн», служба генерального конструктора, главный конструктор по системам автоматического управления

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация акционерное общество «ОДК – Авиадвигатель», г. Пермь, в своем положительном отзыве, подписанном Лисовиным И.Г., кандидатом технических наук, начальником отделения систем автоматического управления (САУ); Полуляхом А. И., кандидатом технических наук, начальником отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования САУ и утвержденном Иноземцевым А. А., доктором технических наук, членом-корреспондентом РАН, управляющим директором – генеральным конструктором, указала, что диссертация Иванова А.В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. Автором решена важная научная задача, имеющая практическую значимость для отрасли авиационного двигателестроения. Предложенная технология достоверного проведения полунатурных испытаний САУ воздушных винтов, в том числе, соосных винтовентиляторов, может быть рекомендована для внедрения в практику испытания САУ предприятий-разработчиков турбовинтовых и турбовентиляторных силовых установок (АО «ОДК», АО «ОДК – Авиадвигатель», ПАО «НПП «Аэросила», АО «ОДК – Климов», ПАО «Кузнецов», «АО «УНПП «Молния», АО «ОДК – СТАР»). Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, а ее автор, Иванов Артем Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ (все по теме диссертации), из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы. Из 11 печатных работ: 3 – статьи в научных журналах, 8 – тезисы докладов на конференциях; 1 работа написана автором единолично, 10 – в соавторстве.

Научные работы соискателя посвящены:

- исследованию эффективности существующих схем стендов полунатурного моделирования и применяемых методов для испытания САУ воздушных винтов;

- разработке технологии, повышающей достоверность проведения полунатурных испытаний САУ воздушных винтов и соосных винтовентиляторов;

- разработке, реализации и идентификации математической модели турбовинтовентиляторного двигателя;

- исследованию целесообразности применения методов нечеткой логики и генетического алгоритма при математическом моделировании турбовинтовентиляторного двигателя;

- результатам апробации поузловой математической модели турбовинтовентиляторного двигателя на полунатурном стенде.

Авторский вклад заключается в разработке предлагаемой технологии проведения полунатурных испытаний САУ, разработке программно-математического обеспечения стенда, обобщении результатов экспериментальных исследований.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значительные работы:

1 Иванов, А.В. Математическое моделирование ТВВД при испытаниях соосного винтовентилятора совместно с САУ на стенде полунатурного моделирования / А.В. Иванов, А.М. Данилихин, В.В. Баранов, В.И. Хилько // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2016. – Т.20. – №3 (73). – С. 89-94.

2 Иванов, А.В. Исследование применения генетического алгоритма при моделировании турбовинтового двигателя / А.В. Иванов // Вестник Московского авиационного института. – 2016. – Т.23. – №4. – С. 79-85.

3 Иванов, А.В. Применение нелинейной математической модели двигателя на стенде полунатурного моделирования при испытаниях

воздушных винтов совместно с системой автоматического управления / А.В. Иванов, А.М. Данилихин, В.В. Баранов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2018. – №1. – С. 4-9.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные):

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** доктора техн. наук, профессора **Куликова Г. Г.** содержит замечания:

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 алгоритмическо-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.

7. 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.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** кандидата техн. наук **Гайдая М.С.** содержит замечания:

1. Термин «технология» в названии работы не полностью отражает ее настоящее содержание. Автору следовало бы рассмотреть возможность применения терминов: «концепция», «методология» взамен указанному.

2. Термины: «особь», «популяция», «генотип», «фенотип», «хромосома» и др., используемые в главе 8 при описании генетического алгоритма, могут затруднительно восприниматься учеными технических наук. Целесообразно было бы использовать заменяющие термины-аналоги: «переменная», «массив данных», «значение функции» и др.

3. Не ясно для чего автор уделяет внимание описанию генетического алгоритма, если результат его применения отрицательный.

4. В работе достоверность результатов подтверждается автором материалами летных и стендовых испытаний. В конечном счете достоверность результатов должна быть подтверждена соответствием результатам

государственных стендовых испытаний. Автору следовало бы обратить на это внимание.

**Отзыв на диссертацию ведущей организации АО «ОДК – Авиадвигатель»** содержит замечания:

1. В представленной работе недостаточно внимания уделено обзору существующих зарубежных стендов полунатурного моделирования ведущих предприятий-разработчиков турбовинтовых силовых установок, что затруднило оценку мировой новизны.

2. В работе следовало бы больше внимания уделить описанию применяемой расчетной схемы математических моделей воздушного винта и двигателя, подробнее описать взаимодействие этих моделей.

**Отзыв на автореферат диссертации сотрудников АО «ОДК», главного конструктора, доктора технических наук Добрянского Г.В. и директора по НИР и ОКР производственного комплекса «Салют» АО ОДК» Потапова А.Ю.,** содержит замечания:

1. В автореферате не приведено отличие технологии комплексного полунатурного исследования САУ соосных винтовентиляторов ТВВД с применением разработанной диссертантом поузловой математической модели двигателя по отношению к технологии полунатурного исследования с применением других типов моделей. Также не ясно в чем заключается «комплексность» исследований заявленной автором в названии темы диссертации.

2. К сожалению, в автореферате не представлены результаты отработки конкретных систем управления на полунатурном стенде с использованием разработанной автором технологии комплексного исследования. Автор ограничился только сравнением результатов моделирования при применении на стенде поузловой математической модели с данными, полученными при использовании кусочно-линейной модели.

3. Из автореферата следует, что оценка адекватности и идентификация разработанной диссертантом математической модели проводилась на



основании данных двух полетов одного и того же конкретного экземпляра двигателя, что ставит под сомнение корректность утверждения автора о достижении требуемой точности модели, так как на полунатурном стенде проводятся исследования соосных винтовентиляторов и агрегатов управления для всего семейства двигателей Д-27.

4. Пункт 5 заключения не подтвержден материалами, представленными в автореферате.

5. Замечания по оформлению автореферата:

- на рисунке 8 автореферата отсутствует обозначение оси абсцисс;
- из текста на странице 20 и из рисунка 9 не понятна введенная автором терминология «расчетная точка переходного процесса»;
- в тексте автореферата отсутствуют обозначения отдельных переменных (например  $P_0$ ,  $T_0$ ).

**Отзыв на автореферат диссертации Гольберга Ф.Д.**, доктора технических наук, профессора, начальника сектора отделения систем управления авиационными силовыми установками ФГУП ЦИАМ содержит замечания:

1. В приводимой автором ММД, уравнения, описывающие процессы в газовых (воздушных) объемах, представлены в стационарном виде. В ММД, применяемых в ЦИАМ, эти уравнения представляются в нестационарной форме. Для рассматриваемых автором двигателей повышение точности расчета в этом случае может быть несущественным, однако, позволяет существенно упростить программу расчета – исключить дополнительные итерационные циклы. В то же время, необходимость таких итераций, автор рассматривает, как проблему применения всережимных термогазодинамических моделей.

2. В работе автор не рассматривает возможность отладки на полунатурных стендах законов управления ТВД по неизмеряемым параметрам, например, по суммарной величине тяги воздушного винта и

двигателя, что может существенно повысить эффективность реализуемых в САУ программ регулирования для повышения ЛТХ летательного аппарата.

3. В автореферате следовало бы более подробно описать построение стенда полунатурного моделирования и меньше внимания уделить описанию математической модели двигателя, так как эта тема хорошо изучена.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «ОДК – Климов»**, подписанный заместителем директора программы – заместителем главного конструктора по САУ Конашковым С.А. и утвержденный генеральным конструктором, кандидатом технических наук Григорьевым А.В., содержит замечания:

1. В работе не проведен анализ известных и применяемых основными фирмами-разработчиками ГТД, в том числе АО «ОДК – Климов» и ЦИАМ, методов идентификации математических моделей двигателей. Указанные методы могли бы быть применены для более корректного проведения процесса идентификации математической модели ТВВД Д-27.

2. В работе рассмотрено применение генетического алгоритма, как метода оптимизации процесса нахождения совместной точки работы узлов двигателя. Необходимо было бы рассмотреть традиционные численные методы, такие как метод Ньютона, парабол и т.п.

3. В автореферате не приведена количественная оценка преимуществ использования в стендах поузловой математической модели ТВВД по сравнению с линеаризованной моделью ТВВД в части погрешности переходного процесса по параметру частоты вращения соосного винтовентилятора.

**Отзыв на автореферат диссертации АО ЦНТУ «Динамика»**, подписанный руководителем программы Борисенко А.И., заместителем исполнительного директора по перспективным проектам, кандидатом технических наук Кобрусевым С.Л. и утвержденный исполнительным директором – первым заместителем генерального директора Белицким Ю.А., содержит замечания:

1. В автореферате недостаточно подробно описаны методы обеспечения работы комплекса математических моделей в режиме реального времени, что является основным вопросом применения таких моделей в составе тренажеров самолетов.

2. На рисунке 5 представлены графики зависимости расхода топлива от суммарной степени повышения давления в компрессорах ТВВД для двигателей № 1, 2, 3, 4, а на рисунке 6 график зависимости для двигателя № 3 отсутствует.

**Отзыв на автореферат диссертации ПАО «Ил»**, подписанный главным конструктором по аэродинамике, динамике полета и системе управления, кандидатом технических наук Кругляковой О.В. и утвержденный, первым заместителем генерального директора Черенковым П.Г., содержит замечания:

1. На странице 9 говорится о внедрении в промышленность результатов диссертационной работы и, в частности, о внедрении на тренажере самолета Ил-112В, однако, в автореферате отсутствует какое-либо описание данного факта.

2. Идентификация динамических характеристик ТВД, описанная в шестой главе, должна проводиться по результатам испытаний на летающей лаборатории и по результатам летно-конструкторских испытаний самолета.

3. В автореферате не представлены материалы апробации работы на воздушном винте АВ-112, упоминаемые на 21 стр. при описании 8 главы.

**Отзыв на автореферат диссертации Сумачева С.А.**, кандидата технических наук, руководителя обособленного подразделения г. Санкт-Петербурга ПАО «Туполев» содержит замечания:

1. Алгоритм, приведенный на рисунке 2 стр. 12 не оптимален. При выполнении условия  $P_c > P_n$  величину  $G_{в.кнд.пр.min}$  необходимо переопределить величиной  $G_{в.кнд.пр}$ , при невыполнении условия величиной  $G_{в.кнд.пр}$  необходимо переопределить  $G_{в.кнд.пр.max}$ .

2. В автореферате не приведены максимальные величины достигнутых погрешностей модели и не указаны режимы, на которых они получены.

**Отзыв на автореферат диссертации ОАО «КБ Электроприбор»**, подписанный ведущим конструктором ОКП Челмадеевым В.Ю., заместителем начальника отдела – заместителем главного конструктора ОКП Голодным А.И. и утвержденный заместителем генерального директора по науке – главным конструктором, кандидатом технических наук Северовым А.А., содержит замечания:

1. В описании шестой главы отмечено, что динамическая погрешность математической модели ТВВД не превышает 15%, однако, нет пояснений, как именно она была рассчитана.

2. В автореферате не указан шаг дискретизации при расчете математической модели ТВВД.

3. В автореферате не указаны численные методы решения дифференциальных уравнений, описывающих динамику роторов двигателя (низкого давления, высокого давления, переднего и заднего винта СВВ).

**Отзыв на автореферат диссертации АО «УНПП Молния»**, подписанный ведущим конструктором отдела 220, кандидатом технических наук Назаровым А.Ш., начальником конструкторского отдела по САУ Каримовым И.А. и утвержденный заместителем генерального директора – главным конструктором Юсуповым Р.З., содержит замечания:

1. Из автореферата неясно, рассматривалась ли автором в работе математическая модель двигателя на режимах запуска, в том числе при запуске в полете. Кроме того, большое внимание автором уделено вопросу идентификации математической модели двигателя, но при этом в автореферате не приведена информация об особенностях идентификации математической модели двигателя с изменяемой механизацией компрессора.

**Отзыв на автореферат диссертации ПАО «ОДК - УМПО»**, подписанный ведущим инженером-конструктором, кандидатом технических наук Гребенюком Г.П., главным конструктором, кандидатом технических

наук Болдыревым О.И., заместителем генерального конструктора – директором ОКБ «Мотор» Кузьминым С.В. и утвержденный управляющим директором Семивеличенко Е.А., содержит замечание – непонятна логика включения дополнительно к общепринятым основам теории ВРД, базирующимся на фундаментальных физических законах, сведений о методах эмпирического и теоретического уровней исследования представляющего собой тривиальное сопоставление терминов и трактовок, которые далее по тексту не используются.

**Отзыв на автореферат диссертации Макарьянца Г.М.**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского университета, содержит замечания:

1. В автореферате отсутствует обязательный структурный элемент общей характеристики работы – степень разработанности темы (ГОСТ Р 7.0.11-2011, п. 9.2.1).

2. В заключении отсутствуют рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследований, которые необходимо было привести согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011, п.9.2.3.

3. Автореферат напечатан объемом 1,75 п.л., однако, в положении о присуждении ученых степеней п.25: по диссертациям, принятым к защите, должен быть напечатан автореферат объемом до 1 авторского листа для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

4. Согласно п. 9 положения о присуждении ученых степеней: диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний. Однако в заключении в явном виде не отмечено, решение какой задачи, имеющей значение для отрасли, выполнено в работе.

5. На стр. 16 автореферата при описании содержания шестой главы некорректно употреблен термин идентификация. Как правило идентификация в математическом моделировании – построение регрессионной зависимости

по набору экспериментальных данных. Однако из смысла текста видно, что автором выполнено сравнение результатов моделирования процессов в двигателе с результатами натурных испытаний, т.е. проводилась оценка адекватности математической модели.

6. На стр. 16 автореферата в предпоследнем абзаце отмечено, что погрешность расчета уточненной ММ является допустимой. Однако не приводится количественная оценка погрешности, в связи с чем проверка сделанного вывода затруднительна.

7. На стр. 21 автореферата при описании седьмой главы сделан вывод, что генетический алгоритм для нахождения совместной точки работы компрессора и турбины в поэлементной нелинейной математической модели ТВВД Д-27 является неэффективным из-за недопустимо большого количества итераций для каждой расчетной точки переходного процесса при заданной точности расчета. Такой вывод является неточным, поскольку алгоритм позволяет найти решение с заданной точностью, а значит с этой точки зрения он эффективный. Если эффективность, по мнению автора, низкая из-за низкой скорости вычислений, то чтобы делать такой вывод нужно приводить сравнение с другими более скоростными алгоритмами или с заданной величиной времени расчета.

8. При описании разработанной математической модели (стр. 10, глава вторая) в автореферате отсутствует информация об исходных данных, по которым строилась математическая модель (характеристики компрессора и турбины, инерционные свойства ротора, физические свойства газа в проточной части двигателя – какие особенности). Приведены лишь математические уравнения используемых физических законов, а также входные и выходные параметры математической модели.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли наук, к которой относится диссертационная работа Иванова А.В., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Куликова Г.Г., доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Автоматизированные системы управления» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах теории и производства воздушно-реактивных двигателей, а также их систем автоматического управления. Куликов Г.Г. является автором и соавтором многочисленных научных трудов, посвященных вопросам моделирования процессов проектирования и производства газотурбинных двигателей (ГТД), интеллектуализации систем управления, диагностики и контроля ГТД, а также применению в них современных нейросетевых методов.

Выбор Гайдая М.С., кандидата технических наук, главного конструктора по системам автоматического управления публичного акционерного общества «ОДК – Сатурн» обосновывается его большим опытом в области проектирования и экспериментальных исследований систем автоматического управления ГТД. В компетенции Гайдая М.С. находятся задачи формирования технических требований к агрегатам САУ, разработки математических моделей объектов управления (ГТД), проведения испытаний САУ в составе ГТД и объекта применения. Научные труды, автором и соавтором которых является Гайдай М.С., посвящены, в основном, бортовым моделям ГТД в САУ, самонастраивающимся регуляторам ГТД, а также совершенствованию исполнительных механизмов САУ.

Ведущая организация выбрана в соответствии с ее высоким уровнем достижений в области разработки турбовентиляторных двигателей и энергетических установок на базе ГТД, позволяющим определить научную и практическую ценность диссертации. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают большим опытом в разработке и испытаниях САУ двигателей типа ПС-90, ПД-14, а также владеют

методами математического моделирования ГТД, используемыми при проведении полунатурных испытаний.

Оппоненты и специалисты ведущей организации имеют публикации в международных и отечественных рецензируемых изданиях по теме работы, специалисты ведущей организации имеют патенты по частным вопросам управления турбовентиляторным двигателем.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** технология проведения полунатурных испытаний САУ соосных винтовентиляторов и воздушных винтов, позволяющая замкнуть каналы управления САУ на математические модели испытываемых объектов;

**предложены** методы корректировки поузловой математической модели двигателя по результатам стендовых и летных испытаний;

**доказана** целесообразность применения поузловых математических моделей ГТД в полунатурных испытаниях САУ соосных винтовентиляторов.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов, использованы** существующие численные методы расчета ГТД;

**изложен** алгоритм, позволяющий рассчитать совместную точку работы компрессоров и турбин трехвального газотурбинного двигателя при несоблюдении баланса мощностей узлов и позволяющий применить уравнения вращения роторов, записанные в нестационарной форме;

**разработаны** математические модели, позволяющие с высокой степенью точности воспроизводить динамические характеристики соосного винтовентилятора и турбовинтовентиляторного двигателя.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**



**разработана и внедрена** в ПАО «НПП «Аэросила» при создании соосного винтовентилятора СВ-27 и воздушного винта АВ112 методика проведения испытаний САУ соосных винтовентиляторов с заменой части натуральных изделий их математическими моделями, которая позволяет сократить временные и материальные затраты при создании турбовинтовентиляторных двигателей;

**определена** область применения разработанных математических моделей двигателя и соосного винтовентилятора – в тренажерах самолетов - для отработки управления силовой установкой по критериям летательного аппарата, что подтверждается применением математических моделей на летном тренажере самолета Ил-112В; в полунатурных стендах - для отработки функционирования САУ турбовинтовых и турбовинтовентиляторных двигателей, что подтверждается результатами испытаний САУ двигателей Д-27 и ТВ7-117СТ;

**получены** результаты функциональных испытаний винтовентилятора СВ-27, воздушного винта АВ112, эквивалентно-циклических испытаний регулятора РСВ-27, которые можно использовать для построения алгоритмов управления соосными винтовентиляторами и воздушными винтами при возникновении функциональных отказов, а также для управления по неизмеряемому параметру тяги.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном оборудовании, соответствующем современному уровню;

**теория** построена на использовании проверенных на практике уравнениях, описывающих рабочий процесс ВРД, его элементов и физических явлений;

**использованы** современные методики сбора и обработки данных;

**установлено** количественное и качественное совпадение результатов математического моделирования с результатами летных испытаний.

**Личный вклад автора состоит в:**

- **разработке и идентификации** математических моделей соосного винтовентилятора и турбовинтовентиляторного двигателя;
- **создании** программных модулей математических моделей соосного винтовентилятора и турбовинтовентиляторного двигателя;
- **реализации** программных модулей графических интерфейсов стенда полунатурного моделирования;
- **обработке и анализе** экспериментальных данных, полученных на полунатурном стенде, моторном стенде и при летных испытаниях турбовинтовентиляторного двигателя;
- **личном участии** автора в разработке стенда полунатурного моделирования и проведении испытаний.

На заседании 18 февраля 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Иванову А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета,  
доктор техн. наук, профессор

Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
доктор техн. наук, профессор

Зуев Юрий Владимирович

18 февраля 2019 г.