

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.06

Соискатель: Сметанин Сергей Анатольевич

Тема диссертации: Компенсация ухудшения характеристик авиационного газотурбинного двигателя в эксплуатации средствами автоматического управления

Специальность: 2.5.15. — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 18 сентября 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Сметанину Сергею Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Краев В.М., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Лесневский Л.Н., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного совета
24.2.327.06, д.т.н., доцент

Краев В.М.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ
Т.А. АНИКИНА



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06,
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 УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.09.2023 г. № 46

О присуждении Сметанину Сергею Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Компенсация ухудшения характеристик авиационного газотурбинного двигателя в эксплуатации средствами автоматического управления» по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 26.06.2023 г., (протокол заседания № 43) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Министерства науки и высшего образования РФ о создании диссертационного совета – №669/нк от 24.06.2022 г.

Соискатель Сметанин Сергей Анатольевич, 3 ноября 1989 года рождения, работает начальником отдела «Методы и системы автоматического управления авиационными силовыми установками» в федеральном автономном учреждении «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова».

В 2010 году окончил бакалавриат государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)» по направлению

«Прикладная механика». В 2012 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» по направлению «Прикладная механика». В 2022 году окончил аспирантуру федерального автономного учреждения «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» по направлению 2.5.15 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

В период подготовки диссертации соискатель работал начальником отдела «Методы и системы автоматического управления авиационными силовыми установками» в федеральном автономном учреждении «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова».

Диссертация выполнена в исследовательском центре «Системы автоматического управления» федерального автономного учреждения «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Гуревич Оскар Соломонович, заместитель генерального директора – директор исследовательского центра «Системы автоматического управления», федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова».

Официальные оппоненты:

Кретинин Геннадий Валентинович, доктор технических наук, профессор, главный специалист по перспективным разработкам «Опытно-конструкторского бюро имени А. Люльки» филиала публичного акционерного общества «ОДК – Уфимское моторостроительное производственное объединение»;

Лисовин Игорь Георгиевич, кандидат технических наук, начальник отделения систем автоматического управления акционерного общества «ОДК-Авиадвигатель»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – публичное акционерное общество «ОДК-

Сатурн», г. Рыбинск, в своем положительном отзыве, подписанном Лещенко И.А., доктором технических наук, старшим научным сотрудником, Добродеевым А.В., кандидатом технических наук, главным специалистом КО САУ и утвержденном генеральным конструктором Храминым Р.В., кандидатом технических наук, указала, что диссертация Сметанина С.А. является законченной научно-квалификационной работой, которая посвящена актуальной научной задаче, имеющей практическое и теоретическое значение, а полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке систем автоматического управления нового перспективного двигателя ПД-8 и других турбореактивных двухконтурных двигателей для улучшения их эксплуатационных характеристик. Рассматриваемая диссертационная работа соответствует всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Сметанин Сергей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, все по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и приравненных к ним опубликовано 5 работ. Из 16 публикаций: 1 – статья в научном журнале из списка ВАК, 4 – статьи в журналах, входящих в систему цитирования Scopus, 2 – статьи в сборнике научных трудов, 1 – статья в научном журнале, входящем в систему цитирования РИНЦ, 8 – тезисы докладов и материалы конференций. Все работы написаны в соавторстве.

Данные публикации посвящены исследованию влияния износа узлов двигателя в эксплуатации на характеристики ТРДД, оптимизации управления газотурбинным двигателем (ГТД) в процессе выработки его ресурса и разработке способов управления двигателем для снижения влияния кристаллического обледенения на работу двигателя.

Авторский вклад соискателя заключается в:

1. Анализе особенностей традиционных способов управления, применяемых в современных ГТД, и интеллектуальных методов управления.

2. Систематизации данных по изменению характеристик узлов двигателя при износе и кристаллическом обледенении;

2. Разработке динамической математической модели двигателя для учета влияния износа его узлов и их обледенения, синтезе алгоритмов регулятора тяги, математическом моделировании для решения задач работы;

3. Анализе и обосновании результатов расчетных исследований.

4. Проверке в эксперименте на двигателе-демонстраторе результатов теоретических исследований, включающей: разработку методики испытаний, введение бортовой математической модели двигателя в микроконтроллер системы управления, введение регулятора тяги в программное обеспечение демонстрационной САУ и его испытания, обработку и анализ результатов испытаний.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Gurevich O., Smetanin S., Trifonov M. Automatic control to reduce the effect of deterioration of gas turbine engine components on its performance characteristics // AIAA Propulsion and Energy 2021 Forum, virtual conference, August 9–11, 2021. 11 p.

2. Gurevich O., Smetanin S., Trifonov M. Analysis of the impact of control methods on turbofan performance in ice crystal conditions // AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum, virtual conference, August 24–26, 2020. 10 p.

3. Gurevich O., Smetanin S., Trifonov M. Compensating the effects of ice crystal icing on the engine performance by control methods // SAE Technical Papers. 2019. 6 p.

4. Гуревич О.С., Гольберг Ф.Д., Сметанин С.А., Трифонов М.Е. Оптимизация управления газотурбинным двигателем в процессе выработки его ресурса // Вестник Самарского университета. 2018. Т. 17, № 4. С. 47–56.

5. Gurevich O., Golberg F., Smetanin S., Romanenko N. Application of “virtual” controllers for integrated propulsion and aircraft control // 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2018), Belo Horizonte, Brazil, September 9–14, 2018. 8 p.

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

Отзыв на диссертацию официального оппонента Кренина Г.В., доктора технических наук, профессора, главного специалиста по перспективным разработкам «Опытно-конструкторского бюро имени А. Люльки» филиала ПАО «ОДК – Уфимское моторостроительное производственное объединение» содержит замечания:

1. Недостаточно подробно описаны методы идентификации бортовой математической модели двигателя, которые влияют на точность результатов моделирования.

2. Величины коэффициентов деградации характеристик узлов двигателя при их износе могут отличаться от принятых в работе в зависимости от схемы и характеристик конкретного двигателя.

3. Следует иметь в виду, что предложенные способы оптимизации управления при износе могут дать положительный эффект только когда у двигателя имеется запас по температуре газа.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Лисовина И.Г., кандидата технических наук, начальника отделения систем автоматического управления АО «ОДК-Авиадвигатель» содержит замечания и рекомендации:

1. В работе не дана оценка эффективности применения перспективных методов предиктивного управления двигателем, описанных в обзорной части диссертации (глава 1), в сравнении с традиционным регулятором частоты вращения вентилятора.

2. Моделирование износа двигателя выполняется путем ухудшения характеристик лопаточных машин, но при этом не рассматривается изменение характеристик камеры сгорания, вызванное, например, коксованием форсунок.

3. Расчетные исследования влияния кристаллического обледенения на характеристики двигателя выполнены для крейсерского режима работы двигателя, хотя такое обледенение может происходить и на режиме полетного малого газа.

4. Рекомендовать опробовать результаты настоящей работы при стендовых испытаниях двигателя ПД-14, реализовав бортовую математическую модель двигателя в отдельной вычислительной машине.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – ПАО «ОДК-Сатурн», содержит замечания:

1. В бортовой математической модели двигателя при расчете величины тяги не учитываются эффекты тепловой нестационарности элементов конструкции двигателя, приводящие к появлению тепловых потоков между ними и рабочим телом и способные оказывать на переходных режимах заметное влияние на условия совместной работы элементов.

2. В работе недостаточно обоснована возможность снижения средствами САУ удельного расхода топлива при износе либо повреждении элементов проточной части двигателя.

3. При математическом моделировании кристаллического обледенения не оценен эффект снижения температуры воздушного потока из-за таяния ледяных кристаллов во внутреннем контуре двигателя.

Отзыв на автореферат диссертации ОАО «НПП «Темп» им. Ф.Короткова», составленный Белуковым А.А., кандидатом технических наук, ведущим инженером-конструктором, содержит следующие замечания:

1. В тексте автореферата не приводится описание применяемой методики идентификации бортовой математической модели для обеспечения ее соответствия текущему состоянию двигателя.

2. Не отмечены проблемы, которые могут возникнуть при сертификации двигателя с САУ, содержащей бортовую математическую модель двигателя.

Отзыв на автореферат диссертации АО «Туполев», составленный Олишевским Д.А., кандидатом технических наук, начальником проектно-конструкторского центра «Силовые установки» и Челебяном О.Г., кандидатом технических наук, начальником отдела МО-3, содержит следующие замечания:

1. Из автореферата не ясно какой тягой предлагается управлять – внутренней тягой реактивного двигателя или эффективной тягой силовой

установки?

2. В главе 5 предлагается методика интегрированного управления двигателем и самолетом, при этом не рассматриваются вопросы связи двигательных и самолетных систем.

Отзыв на автореферат диссертации АО «НПП «Аэросила», составленный Ивановым А.В., кандидатом технических наук, начальником расчетно-конструкторского отдела, Анфимовым С.В., начальником бригады аэродинамики воздушных винтов и термогазодинамики ГТД расчетно-конструкторского отдела и утвержденный Астаховым А.А., заместителем генерального директора – главным конструктором, содержит следующие замечания:

1. При оценке влияния износа на характеристики узлов двигателя не представлена информация по центробежным колесам компрессоров и турбин. Все данные приведены для осевых узлов. Разработанная математическая модель справедлива также только для осевых узлов.

2. В работе не представлено обоснование необходимости компенсации значения тяги двигателя при износе его узлов. В настоящее время целевой функцией системы управления летательных аппаратов является поддержание скорости полета вне зависимости от влияющего фактора (износ узлов двигателя, встречный ветер и т.д.). Поддержание скорости полета не требует применения описанных в диссертации методов компенсации.

Отзыв на автореферат диссертации ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», составленный Лопатиным А.А., кандидатом технических наук, доцентом, зав. кафедрой РД и ЭУ и Симкиным Э.Л., кандидатом технических наук, доцентом кафедры РД и ЭУ, содержит следующие замечания:

1. Предложенный способ оценки и управления двигателем по рассчитываемой в БММД величине тяги, подтвержденный экспериментальной проверкой на двигателе-демонстраторе, за счет повышения температуры газа перед турбиной в пределах имеющегося запаса. Тем не менее повышение температуры газа перед турбиной приводит к

уменьшению ресурса рабочих лопаток турбины, особенно при высоких температурах атмосферного воздуха (выше температур по МСА). Этот вопрос не рассмотрен в диссертации.

2. В п. 3 выводов указано, что разработанная ММ двигателя верифицирована, однако в тексте автореферата не приведены результаты ее верификации ни для исправного двигателя, ни для двигателя с износом.

Отзыв на автореферат диссертации Производственного комплекса «Салют» АО «ОДК», составленный Добрянским Г.В., доктором технических наук, главным конструктором САУ АД, Мельниковой Н.С., доктором технических наук, главным специалистом по алгоритмам управления и диагностики САУ АД и утвержденный Скирдовым Г.П., генеральным конструктором, содержит следующие замечания:

1. Влияние исследуемых законов управления на изменение основных параметров двигателя в процессе выработки ресурса существенно зависит от степени двухконтурности конкретного типа ТРДД (АИ-25ТЛ - $m=1,98$; ПС-90 и ПД-8 $m=4,4$; ПД-14 $m=8,8$; ПД-35 $m=11$). Между тем, в автореферате не указывается двигатель, на базе математической модели которого проведены диссертантом исследования, получены результаты, приведенные на рис. 6, 8...10, и сделаны выводы.

2. В автореферате (глава 5, стр.19) указано, что «для реконфигурации управления двигателем в облаке ледяных кристаллов при отсутствии в настоящее время датчиков кристаллического обледенения» рекомендуется использовать значения разностей температуры и давления воздуха за вентилятором между величинами, фактически измеренными датчиками и рассчитанными на борту в цифровой системе автоматического управления. Однако, конкретных алгоритмов по применению этих параметров в качестве количественного источника информации о наличии в двигателе кристаллического обледенения в автореферате не приводится. При этом «Способы фиксации возникновения в двигателе кристаллического обледенения и методы борьбы с ними средствами САУ» автор выносит на защиту (смотри п.5, стр. 5 автореферата).

3. Из автореферата не ясно происхождение исходных данных,

приведенных в таблице 1 (стр.8) и таблице 2 (стр.12) по износу компрессоров и турбин, а также данных по влиянию кристаллического обледенения (см. рисунок 1, стр.9). При этом на основании указанных исходных данных строятся все дальнейшие выводы диссертанта. Необходимо было бы указать, что это оригинальные данные получены диссертантом, или дать в тексте ссылку на первоисточник.

4. Все публикации, приведенные в автореферате, выполнены диссертантом в соавторстве практически с одним и тем же коллективом. В автореферате нет ссылок на опубликованные работы диссертанта, выполненные им без соавторства.

5. Судя по автореферату (см. стр. 3) при анализе состояния вопроса по теме диссертации Сметанин С.А. ограничился только анализом исследований, проведенных учеными ЦИАМ им. П.И. Баранова.

6. При оценке новизны следовало бы более точно конкретизировать работу автора. Например (пункт 2 раздела «Новизна», стр.4), математические модели различных ТРДДФ, разработанные по методикам ЦИАМ им. П.И. Баранова (в том числе и с учетом технического состояния узлов двигателя) широко применяются во многих авиационных ОКБ, например, на ПК «Салют» АО «ОДК», и в учебных институтах. Диссертант, вероятно, впервые разработал подобную модель для конкретного типа ТРДД.

Отзыв на автореферат диссертации АО «ОДК-СТАР», составленный Титовым Ю.К., кандидатом технических наук, начальником сектора конструкторского отдела разработки программного и математического обеспечения САУ, Бетинской О.А., кандидатом технических наук, ведущим конструктором конструкторского отдела разработки программного и математического обеспечения САУ и утвержденный Остапенко С.В., первым заместителем управляющего директора – главным конструктором, содержит следующие замечания:

1. В автореферате не приводятся характеристики микроконтроллера, реализующего программу расчета БММД, и время расчета БММД в одном такте работы демонстрационной САУ, необходимые для оценки возможности ее введения в современный электронный регулятор.

2. При описании подготовки к эксперименту отсутствуют результаты идентификации БММД и оценка точности результатов расчета параметров рабочего процесса в двигателе.

Отзыв на автореферат диссертации ФГУП ГосНИИ ГА составленный Масленниковой Г.Е., доктором технических наук, начальником 341 отдела, содержит следующие замечания:

1. Не рассматривается вопрос, какие из приведенных в таблице 2 автореферата изменения характеристик отдельных узлов при износе носят необратимый характер, а какие могут быть компенсированы посредством ремонта или замены агрегатов двигателя;

2. В автореферате не приводится разработанная динамическая модель газотурбинного двигателя и ничего не сказано о способах ее верификации;

3. В автореферате не приведены алгоритмы разработанного метода управления величиной тяги с формированием параметра регулирования в бортовой математической модели двигателя;

4. На рис. 12 изменение параметров двигателя, управляемого посредством изменения оборотов компрессора и непосредственно через тягу существенно отличаются по времени выхода на заданный режим, что вероятно связано с какой-то неточностью моделирования, т.к. практически мгновенное изменение тяги, расхода топлива и других параметров двигателя при регулировании оборотов компрессора физически невозможно.

Отзыв на автореферат диссертации АО «ОДК-Авиадвигатель», составленный Саженковым А.Н., кандидатом технических наук, помощником управляющего директора, ученым секретарем НТС и Грибковым И.Н., начальником отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования систем автоматического управления, содержит следующие замечания:

1. Предложенный способ имитации износа компрессора путем прикрытия его входных направляющих аппаратов на повышенных режимах работы двигателя будет приводить к снижению расхода воздуха через компрессор, но не гарантирует ухудшение КПД компрессора, которое будет происходить при выработке ресурса в процессе эксплуатации. Результатов проверки этого в автореферате не приведено.

2. Не показаны особенности ухудшения характеристик ГТД при воздействии вулканического пепла и методов управления ГТД при попадании в вулканическое облако.

Отзыв на автореферат диссертации АО «ОДК-Климов», составленный Душиц-Коганом Г.Д., кандидатом технических наук, заместителем генерального конструктора по САУ, Рабецом Е.В., заместителем директора программы, заместителем главного конструктора по САУ дирекции программ САУ и утвержденный Елисеевым В.А., генеральным конструктором, содержит следующие замечания:

1. На приведенных на рисунке 12 автореферата графиков изменения параметров видно существенное отставание изменения величины тяги от величин частот вращения роторов. В то же время, вызывает сомнение релейное изменение частот вращения. Характер изменения величины тяги представляется нам более физичным. В противном случае следует говорить о существенном отличии виртуальной тяги от фактической.

2. Отсутствует оценка необходимого числа датчиков для измерения параметров двигателя для реализации модели в бортовой машине, в том числе для реализации виртуальной тяги, по которой ведется управление, и оценки ГДУ.

3. Отсутствует оценка влияния погрешности измеряемых параметров двигателя, реализующее его модель для управления, на погрешность величины виртуальной тяги.

Отзыв на автореферат диссертации ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), составленный Машониным О.Ф., доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Двигатели ЛА» и Гаджиевым Х.Р., кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Двигатели ЛА», содержит следующие замечания:

1. Автором разработана математическая модель двигателя с САУ для расчета параметров рабочего процесса двигателя при ухудшении характеристик его узлов. Однако, из автореферата непонятно: преимущества данной модели по сравнению с другими математическими моделями; каким

образом получены характеристики узлов двигателя по мере наработки в эксплуатации при различных видах износа и при различных уровнях обледенения.

2. Приведенные в таблице 3 данные по одновременному ухудшению характеристик узлов двигателя в зависимости от величины наработки не являются достаточно представительными, так как зависят от конкретного типа двигателя и условий его эксплуатации.

3. Предложенные автором 2 метода определения наличия обледенения подпорных ступеней требуют экспериментальной проверки в реальных условиях эксплуатации.

4. Выполненная автором экспериментальная проверка работы регулятора величины тяги на двигателе АИ-25Т Л подтвердила возможность компенсации снижения тяги двигателя при сохранении его устойчивой работы и управляемости, однако, двигатель АИ-25ТЛ значительно отличается от современных ТРДД и полученные результаты требуют экспериментальной проверки на ТРДД с подпорными ступенями и степенью двухконтурности более 8 ($M \geq 8$).

Отзыв на автореферат диссертации АО «Омское машиностроительное конструкторское бюро», составленный Федосеевым Н.И., ученым секретарем НТС и утвержденный Штеренбергом Л.Г., генеральным директором – главным конструктором, замечаний не содержит.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Сметанина С.А., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Кретицина Г.В., доктора технических наук, профессора, главного специалиста по перспективным разработкам «Опытно-конструкторского бюро имени А. Люльки» филиала публичного акционерного общества «ОДК – Уфимское моторостроительное производственное объединение» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой известностью и компетентностью в вопросах теории и расчета рабочего процесса в

газотурбинных двигателях. За последние 5 лет Кретиным Г.В. опубликовано в рецензируемых отечественных и международных журналах 6 статей по профилю диссертации.

Выбор Лисовина И.Г., кандидата технических наук, начальника отделения систем автоматического управления акционерного общества «ОДК-Авиадвигатель» в качестве официального оппонента обосновывается его большим опытом в области разработки систем автоматического управления авиационными ГТД. Компетентность Лисовина И.Г. подтверждается его публикациями и изобретательской деятельностью в области САУ ГТД. Лисовин И.Г. является автором множества печатных работ и патентов.

Выбор ведущей организации – публичного акционерного общества «ОДК-Сатурн» обусловлен тем, что эта организация является одним из лидеров отечественного двигателестроения, ведет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию двигателей нового поколения, обладает опытом технического сопровождения изделий, находящихся в эксплуатации. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, имеют широкие компетенции в вопросах разработки математических моделей ГТД и их САУ и являются экспертами области газотурбинных двигателей. Это позволяет им оценить актуальность, научную новизну и практическую значимость результатов диссертации, а также сформировать рекомендации по использованию этих результатов в промышленности.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана динамическая математическая модель турбореактивного двухконтурного двигателя, позволяющая рассчитывать изменение параметров рабочего процесса в двигателе на установившихся и переходных режимах его работы при ухудшении характеристик узлов в эксплуатации на основе систематизации данных по изменению характеристик узлов двигателя при износе в процессе выработки ресурса и при кристаллическом обледенении;

- разработаны методы автоматического управления, позволяющие поддерживать характеристики двигателя в эксплуатации путем выбора

оптимальных регулируемых параметров и применения бортовой математической модели двигателя в составе системы автоматического управления (САУ) для управления по неизмеряемому параметру тяги;

- предложены способы фиксации возникновения в двигателе кристаллического обледенения и методы борьбы с ним средствами САУ;

- разработаны алгоритмы управления режимом работы двигателя по рассчитываемой в бортовой математической модели двигателя величине тяги и выполнена их экспериментальная проверка на двигателе-демонстраторе.

Теоретическая значимость исследования обусловлена тем, что:

- получены новые данные о влиянии внешних факторов на параметры рабочего процесса в двигателе и их связи с методами управления, которые могут быть использованы для оптимизации управления двигателем и улучшения его эксплуатационных характеристик;

- показано существенное влияние способа управления двигателем на его чувствительность к кристаллическому обледенению и возможность защиты двигателя от обледенения средствами автоматического управления.

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

- разработанные методы управления газотурбинного двигателя (ГТД) позволят поддерживать требуемые параметры рабочего процесса двигателя при ухудшении характеристик его узлов в процессе выработки ресурса, снизить стоимость жизненного цикла двигателя, повысить эксплуатационную технологичность и безопасность эксплуатации;

- предложенные способы фиксации и управления при кристаллическом обледенении позволят повысить безопасность работы двигателя в условиях полета в облаке ледяных кристаллов и могут быть использованы для соответствия требованиям норм летной годности при сертификации двигателя;

- результаты диссертационной работы Сметанина С.А. использованы АО «ОДК-СТАР» при разработке САУ двигателей ПД-8 и ПД-35 и используются в ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова» при выполнении государственных контрактов, хоздоговорных работ и при испытаниях на

двигательном стенде У-7М, что подтверждено соответствующими актами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- корректность применения математических методов описания ухудшения характеристик узлов двигателя в эксплуатации, основанных на результатах экспериментальных исследований и данных эксплуатации;

- применение поузловой динамической математической модели двигателя для проведения исследований;

- отклонение результатов расчета в математической модели двигателя с экспериментальными данными, полученными при проведении испытаний на двигателе-демонстраторе, менее 1%.

Личный вклад соискателя состоит в:

- проведении сравнительного анализа традиционных и интеллектуальных методов управления с целью выявления их достоинств и недостатков;

- систематизации данных по изменению характеристик узлов двигателя при выработке ресурса в эксплуатации и при кристаллическом обледенении;

- разработке динамической математической модели двигателя для учета влияния износа его узлов и обледенения;

- разработке алгоритмов регулятора тяги и математическом моделировании работы двигателя с применением различных способов управления в ситуации ухудшения характеристик его узлов в эксплуатации;

- проведении эксперимента на двигателе-демонстраторе АИ-25ТЛ, включая разработку методики испытаний, введение бортовой математической модели двигателя в микроконтроллер системы управления, введение регулятора тяги в программное обеспечение демонстрационной САУ и его испытания, обработку и анализ результатов испытаний.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые ставили бы под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

На заседании 18 сентября 2023 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи исследования и разработки способов

управления ГТД, позволяющих поддерживать характеристики двигателя в эксплуатации, имеющей значение для развития авиационного двигателестроения,

присудить Сметанину С.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 14, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета 24.2.327.06

доктор технических наук,

профессор



Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.327.06

доктор технических наук,

доцент

18 сентября 2023 г.

Краев Вячеслав Михайлович