

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Кретицина Геннадия Валентиновича на диссертационную работу Сметанина Сергея Анатольевича «Компенсация ухудшения характеристик авиационного газотурбинного двигателя в эксплуатации средствами автоматического управления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Выполнение всего комплекса требований к современным газотурбинным двигателям (ГТД) магистральных самолетов, включающего в себя высокие показатели эффективности, надежности, большой ресурс, низкую стоимость жизненного цикла, возможно только при применении наиболее совершенных технологий в конструкции двигателя и в его системах.

В процессе эксплуатации основные параметры двигателя ухудшаются вследствие износа и воздействия на его узлы различных внешних факторов. Когда ухудшение параметров становится недопустимым, двигатель передается в ремонт. Для увеличения межремонтного времени работы двигателя в процессе его проектирования, как правило, закладываются некоторые «запасы» по предельно допустимым значениям температуры газа и частот вращения роторов. Для использования этих «запасов» необходима оптимизация методов автоматического управления.

Диссертационная работа Сметанина С.А. посвящена разработке методов автоматического управления, позволяющих поддерживать характеристики двигателя в эксплуатации без съема двигателя с крыла, что **является весьма актуальной задачей при проектировании перспективных авиационных двигателей.**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и двух приложений. Общий объем работы составляет 105 страниц. Работа включает 51 рисунок, 8 таблиц и 80 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, раскрываются научная новизна и практическая значимость полученных

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«30» 08 2023

результатов. Целью работы автор ставит исследование и разработку способов управления ГТД, позволяющих компенсировать ухудшение параметров двигателя при изменении характеристик основных функциональных элементов вследствие износа или кристаллического обледенения.

В первой главе выполнен обзор современных систем автоматического управления ГТД, традиционных и перспективных методов управления. Рассмотрены применяемые в системах управления турбореактивных двухконтурных двигателей (ТРДД) регулируемые параметры и дана оценка их эффективности. Показаны преимущества интеллектуальных методов управления с использованием бортовой математической модели двигателя. Выполнен анализ публикаций, посвященных выбору способов управления для сохранения требуемых характеристик двигателя в эксплуатации. Показано, что принятые в них допущения не позволяют дать объективную оценку эффективности разных законов управления. В выводах главы формулируются задачи исследования.

Во второй главе проведено аналитическое исследование влияния разных видов износа на характеристики узлов двигателя. На основе этого анализа определены закономерности изменения характеристик лопаточных машин при различных воздействиях, возможных в эксплуатации. Исследованы особенности влияния ледяных кристаллов на работу двигателя и изменение характеристик подпорных ступеней компрессора, подверженных кристаллическому обледенению.

Выполненные в этой главе оценка и систематизация экспериментальных данных сделаны впервые и имеют практическое значение для использования в проектных работах.

В третьей главе разработаны математические модели износа узлов при воздействии внешних факторов и кристаллического обледенения, которые совместно с термогазодинамической математической моделью ТРДД и его системы автоматического управления (САУ) позволяют воспроизводить изменение параметров рабочего процесса в двигателе во всем диапазоне режимов его работы при износе и нарастании наледи во внутреннем контуре ТРДД. Износ и кристаллическое обледенение моделируются путем

соответствующего изменения статических характеристик лопаточных машин в зависимости от воздействующих на них факторов. Методические результаты этого раздела могут рассматриваться как базовые для подобных исследований.

В четвертой главе приведены результаты математического моделирования влияния износа и кристаллического обледенения на характеристики ТРДД при применении традиционного способа управления режимом работы двигателя по частоте вращения вентилятора. Показано, что из-за изменения зависимости регулируемого параметра от величины тяги при ухудшении характеристик узлов двигателя применение такого способа управления приводит к значительной погрешности в поддержании тяги. Выполнена оценка изменения параметров рабочего процесса в двигателе при выработке ресурса и кристаллическом обледенении и получен важный вывод о наличии возможности компенсации ухудшения характеристик двигателя средствами САУ.

В пятой главе выполнено сравнительное исследование применяемых в современных ТРДД и перспективных методов управления, по результатам которого определены способы управления, позволяющие сохранять требуемую величину тяги при выработке ресурса в эксплуатации и минимизировать вероятность опасных последствий в условиях кристаллического обледенения. Математическим моделированием показано, что управление величиной тяги, рассчитываемой в бортовой математической модели, позволяет поддерживать тягу двигателя при ухудшении характеристик узлов в эксплуатации с погрешностью, определяемой точностью расчета бортовой модели и совершенством алгоритмов ее идентификации. Установлено, что для снижения негативного влияния кристаллического обледенения целесообразно управлять степенью повышения давления в двигателе и открывать клапан перепуска воздуха за подпорными ступенями по сигналу отклонения температуры и давления воздуха в тракте двигателя от ожидаемых в нормальных условиях значений. В выводах раздела предлагается применение принципа интегрированного управления двигателем и режимом полета для получения преимуществ

каждого из рассмотренных методов управления в наилучших для них условиях.

В шестой главе представлены результаты испытаний на двигателе-демонстраторе перспективного регулятора тяги, эффективность которого была подтверждена по результатам расчетных исследований. Для проведения испытаний предварительно выбраны коэффициенты алгоритма регулирования тяги и определена программа управления, позволяющая поддерживать требуемую величину тяги на дроссельных режимах работы двигателя в соответствии с ТУ на двигатель-демонстратор. По результатам испытаний разработанного регулятора показана возможность сохранения требуемого уровня тяги (компенсации 8-процентного снижения тяги по сравнению со штатным регулятором двигателя) при изменении характеристик компрессора за счет автоматического увеличения расхода топлива системой автоматического управления.

В заключении диссертации приведены основные результаты выполненного исследования.

Научную новизну содержат следующие результаты выполненной диссертационной работы:

- систематизированы данные по изменению характеристик узлов двигателя при износе и при кристаллическом обледенении;
- разработана динамическая математическая модель ГТД, позволяющая рассчитывать изменение параметров рабочего процесса в двигателе при ухудшении характеристик его узлов в эксплуатации;
- разработаны алгоритмы управления режимом работы двигателя по рассчитываемой в бортовой математической модели двигателя величине тяги и определены методы управления, позволяющие компенсировать ухудшение характеристик двигателя при выработке ресурса;
- впервые разработаны способы фиксации возникновения в двигателе кристаллического обледенения и методы борьбы с ним средствами САУ.

Теоретическая значимость работы заключается в определении и подтверждении возможности компенсации ухудшения характеристик двигателя в эксплуатации методами интеллектуального управления его

рабочим процессом, формировании способов их реализации, разработке методик и математического аппарата для проведения исследований влияния ухудшения характеристик узлов двигателя на его эффективность.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные методы управления могут быть применены для повышения эффективности и безопасности эксплуатации летательного аппарата путем поддержания требуемых характеристик двигателя в течение его жизненного цикла, снизить эксплуатационные расходы на проведение специальных форм обслуживания и расширить диапазон возможного применения самолета условиями полета в местах возможного скопления ледяных кристаллов.

Достоверность полученных автором результатов обосновывается использованием экспериментальных данных при построении математических моделей износа и кристаллического обледенения, математическим моделированием с помощью достоверных математических моделей, проведением испытаний на аттестованном двигательном стенде и удовлетворительной сходимостью данных расчетов и эксперимента.

Вместе с тем, по диссертации следует сделать ряд замечаний:

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.

Отмеченные в работе недостатки не снижают уровня выполненной работы. Диссертационная работа Сметанина Сергея Анатольевича выполнена на высоком научном уровне, отвечает критериям актуальности, научной новизны, практической и теоретической значимости и является законченной научно-квалификационной работой. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 5 рецензируемых изданиях, включенных в

перечень ВАК и приравненных к ним. Текст автореферата диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Считаю, что диссертация соответствует всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к работам 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».

Официальный оппонент,
главный специалист по перспективным
разработкам ОКБ им. А.Люльки –
филиала ПАО «ОДК-УМПО»,
доктор технических наук, профессор



Кретинин Г.В.

«28» августа 2023 г.

Адрес организации: 129301, г. Москва, ул. Касаткина, д. 13

Телефон: +7 (495) 783-00-77

Адрес эл. почты: kretinin.g@mail.ru

Подпись Кретинина Геннадия Валентиновича удостоверяю.

И.О. Начальник отдела кадров «ОКБ им. А.Люльки»

- филиал ПАО «ОДК-УМПО»



Самсонова Т.Г.

Т.Г. Самсонова

«28» августа 2023 г.

*Согласно ознакомлен
30.08.2023*

