

ЦИАМ



Федеральное автономное учреждение

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННОГО МОТОРОСТРОЕНИЯ
имени П.И. Баранова**

Авиамоторная ул., д. 2, г. Москва, 111116

тел.: +7 499 763-6167, факс: +7 499 763-6110, info@ciam.ru, www.ciam.ru
ОГРН 1217700087285, ИНН 7722497881, КПП 772201001, ОКПО 47368486

01.12.2022 № 2000-08/1957

На № _____ от _____ 2022 г.

О направлении отзыва на диссертацию

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю Вам отзыв ведущей организации на диссертационную работу Николаева Ильи Алексеевича на тему «Повышение фреттингостойкости элементов двигателей летательных аппаратов и энергетических установок с использованием твердых смазочных покрытий», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Приложение: Отзыв ведущей организации – на 7 страницах, 2 экземпляра.

С уважением,

Заместитель генерального директора –
Директор исследовательского центра
«Динамика, прочность, надёжность»

Ю.А. Ножницкий

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора -
директор исследовательского центра
«Динамика, прочность, надежность»
Федерального автономного учреждения
«Центральный институт авиационного
моторостроения имени П.И. Баранова»,

доктор технических наук

Юрий Александрович Ножницкий

«30» ноября 2022г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Государственного научного центра, федерального автономного учреждения
«Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»
на диссертационную работу Николаева Ильи Алексеевича
«Повышение фреттингостойкости элементов двигателей летательных
аппаратов и энергетических установок с использованием твердых смазочных
покрытий», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные
двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертация Николаева Ильи Алексеевича посвящена повышению
фреттингостойкости элементов двигателей летательных аппаратов и
энергетических установок с использованием твердых смазочных покрытий.

Актуальность темы.

Определяющую роль в обеспечении ресурса и надежности сопряженных
элементов двигателей летательных аппаратов (ДЛА) и энергетических
установок (ЭУ) играет способность трущихся поверхностей сопротивляться
различным видам износа. Одним из наиболее опасных видов износа является
фреттинг – износ, который может приводить к повреждению поверхностей
трения по адгезионному, абразивному и усталостному механизму, что в

Отдел документационного
обеспечения МАИ

условиях комплексной нагрузки на элементы ДЛА и ЭУ может повлечь значительное снижение их надёжности и ресурса. Наряду с различными конструктивными способами повышения фреттингостойкости контактирующих поверхностей применяются технологические способы, одним из которых является применение твердых смазочных покрытий (ТСП). Они могут обеспечить необходимую фреттингостойкость узлов трения при одновременном снижении коэффициента трения и обеспечении контролируемого износа, позволяя избежать возникновения усталостных трещин.

Поскольку разработка современных и перспективных ДЛА и ЭУ сопровождается ужесточением условий эксплуатации узлов трения, в том числе и тех, которые вынуждены работать в условиях фреттинга, то работа Николаева И.А. связанная с поиском новых технических решений для уменьшения фреттинг-изнашивания, является актуальной.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства. Государственная программа «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» устанавливает основные направления совершенствования авиационных двигателей военного и гражданского назначения, которые включают в себя требования по повышению основных технических параметров, ресурса и надёжности. Разработанная автором рецензируемой диссертации методика выбора ТСП, стойких к фреттинг-изнашиванию, может быть использована для увеличения ресурса и надёжности элементов ДЛА и ЭУ.

Целью работы Николаева Ильи Алексеевича является повышение фреттингостойкости элементов двигателей летательных аппаратов и энергетических установок с использованием ТСП. Решаемые диссертантом задачи включали: анализ процесса фреттинг-изнашивания и обоснование выбора твёрдых смазочных покрытий и плазменных методов их формирования для защиты от фреттинг-износа; исследование фреттинг-изнашивания ТСП, полученных плазменными методами, с использованием петель фреттинг-гистерезиса, с построением карт фреттинга и применением энергетического

подхода; разработку обобщенной методики исследования фреттинг-изнашивания ТСП для задаваемых условий эксплуатации; применение исследованных ТСП для повышения фреттингостойкости и износостойкости элементов ДЛА и ЭУ.

Используемые диссертантом методы исследования покрытий соответствуют современному уровню.

Оценка новизны, практической значимости результатов диссертации и рекомендации по их использованию. Новизна работы Николаева Ильи Алексеевича состоит в том, что:

1. С использованием петель фреттинг-гистерезиса для разработанных ТСП определены преобладающие механизмы изнашивания и энергии диссипации в контактах трения в зависимости от условий их работы;
2. Для разработанных ТСП получены коэффициенты и индексы скольжения, энергетические коэффициенты, коэффициенты объемного износа рекомендуемых покрытий, а также построены карты фреттинга;
3. Для пар трения, встречающихся в ДЛА и ЭУ, разработана и применена методика выбора ТСП, стойких к фреттинг-изнашиванию;
4. Работоспособность и фреттингостойкость разработанных ТСП подтверждена на практике.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики выбора ТСП, стойких к фреттинг-изнашиванию, и разработке рекомендаций по применению новых технических решений: покрытия, полученные плазменным напылением, рекомендованы для защиты замковых соединений вентиляторных лопаток ГТД и защиты от износа узлов поворота системы управления механизацией компрессора низкого давления; керамоподобные покрытия рекомендованы для защиты от заедания резьбовых поверхностей элементов системы обеспечения теплового режима космических аппаратов и для защиты от износа внутренней поверхности корпуса капиллярного насоса системы обеспечения теплового режима космических аппаратов.

Практическая ценность полученных результатов подтверждена результатами выполненных НИР и актами об их использовании на предприятиях авиакосмической отрасли: ОКБ им. А. Люльки (филиал ПАО «ОДК-УМПО»), ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, АО ГНЦ «Центр Келдыша». Кроме того, полученные результаты могут быть применены и на других предприятиях, таких как АО «ОДК-Климов», ПАО «Кузнецов» и др.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и заключений, выносимых на защиту, подтверждаются корректным использованием методов математической статистики, совпадением аналитических оценок и экспериментальных данных при определении и сравнении энергий диссипации в зоне контактов трения. Полученные в диссертации результаты прошли апробацию на научных конференциях, а также нашли применение при решении технических задач на предприятиях авиакосмической отрасли.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 6 приложений. Общий объем диссертации составляет 166 страниц (включает 132 рисунка, 23 таблицы).

В первой главе рассматриваются базовые представления о фреттинге и дается классификация методов защиты от него. Показано, что в газотурбинном двигателе фреттинг наблюдается в различных элементах с различными типами контактирующих поверхностей.. Обоснован выбор твердых смазочных покрытий и плазменных методов формирования покрытий. Содержательный обзор проблемы позволил четко и методично сформулировать задачи исследования.

Во второй главе рассмотрена модель упруго-пластического взаимодействия тел Герца-Миндлина-Вингсбо, в которой используется модель контакта Герца «сфера-плоскость». С помощью данной модели проведен анализ процессов контактного взаимодействия при фреттинге. Определён метод построения петель фреттинг-гистерезиса, и предложены основные критерии анализа трения в виде коэффициента и индекса скольжения, которые

позволяют определить режимы взаимодействия тел при фреттинге. Дано представление об энергетическом подходе и проведена оценка возможностей его использования для анализа процесса фреттинг-изнашивания.

В третьей главе содержится описание оборудования и методик исследований, представлены характеристики используемых материалов. Даны описания установок магнетронного распыления, микродугового оксидирования, плазменного напыления. Также дано описание комбинированной установки, на которой покрытия были получены методом осаждения в вакуумной дуге и химическим осаждением из пара с плазменным модифицированием. Приведены описания машин трения и результаты их модернизации для определения фреттингостойкости покрытий при различных режимах фреттинга и с использованием различных типов контакта.

В четвертой главе приведены результаты исследования и анализа характеристик ТСП, полученных различными плазменными методами, с использованием которых разработана и проверена на практике методика выбора ТСП, стойких к фреттинг-изнашиванию. Эта методика предоставляет конструкторам и технологам необходимую информацию по выбору ТСП при проектировании узлов трения и сопряжения поверхностей в ДЛА и ЭУ.

В пятой главе приводятся результаты разработки и рекомендации по практическому использованию результатов исследований для элементов ДЛА и ЭУ.

Замечания по диссертационной работе. Несмотря на достаточно высокий уровень, диссертационная работа не лишена недостатков, к которым можно отнести следующие:

- не указана связь между моделью контакта, используемой в исследованиях, и реальными условиями, имеющимися в ДЛА и ЭУ;

- используется большое количество методик металлофизических исследования покрытий, однако возможности используемой приборной техники при исследовании некоторых покрытий реализованы не полностью: отсутствуют значения адгезии исследуемых покрытий, отсутствуют значения

твердости керамоподобных покрытий и покрытий, полученных плазменным напылением;

- прогнозирование изнашивания предлагается использовать для режима полного скольжения и возвратно-поступательного скольжения, однако автором не объяснено, почему данный подход не может быть применен в области частичного и смешанного режима;

- проводимые при частоте ~20 Гц сравнительные испытания на образцах характеризуют скорее поведение контакта в режиме малоциклового усталости. Нет ясности, как результаты таких испытаний могут быть применены при контактном взаимодействии на частотах, характерных для колебаний лопаток газотурбинных двигателей (500...15000 Гц);

- недостаточно полно в работе изложены технологические параметры, оказывающие влияние на фреттинг.

Приведенные замечания, однако, не препятствует положительной оценке диссертационной работы.

Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати. По теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях и изданиях, приравненных к ним, опубликовано 4 работы. Апробация работы произведена на 6 научных конференциях.

Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Николаева Ильи Алексеевича выполнена на высоком научном уровне. Материал диссертации изложен логично, последовательно и аргументировано; редакционных замечаний, кроме некоторых мелких опечаток, не имеется. Результатом работы является решение важной задачи актуального направления в сфере авиационного двигателестроения. Приведенные результаты можно квалифицировать как новые, обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Николаев Илья Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв на диссертационную работу Николаева И.А. «Повышение фреттингостойкости элементов двигателей летательных аппаратов и энергетических установок с использованием твердых смазочных покрытий» обсужден и одобрен на научно-техническом совете секции «Прочность, надежность, ресурс» ГНЦ ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», протокол НТС №200-14/11-2-2 от 11 ноября 2022г.

Отзыв составили:

Начальник отделения 200
«Динамика и прочность»
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
кандидат технических наук

Антон
Николаевич
Серветник

Начальник сектора 20301
«Усталостная прочность»
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

Сергей
Александрович
Шибяев

Контактные данные организации:

Государственный научный центр, федеральное автономное учреждение
«Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Адрес: 111116, Москва, ул. Авиамоторная, д.2

Телефон: +7 (499) 763-61-67

Веб-сайт: <https://ciam.ru/>

Адрес электронной почты: info@ciam.ru

С отзывом ознакомлен

02.12.2022 *Илья Николаев И.А.*