

## ОТЗЫВ

**научного руководителя, доктора технических наук, профессора Лесневского Леонида Николаевича на диссертацию 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»**

Николаев И.А., 1994 г. рождения, в 2016 г. окончил бакалавриат в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Двигатели летательных аппаратов». В 2018 г. окончил магистратуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Двигатели летательных аппаратов». После окончания магистратуры поступил в очную аспирантуру «Московского авиационного института (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель Николаев Илья Алексеевич работал в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов» в должности ассистента, старшего преподавателя и инженера (в/вуз совм.).

С 2018 по 2022 гг. Николаев И.А. обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». В июле 2022 г. успешно прошел государственную аттестацию и защитил на «отлично» свою научно-исследовательскую работу с получением диплома об окончании аспирантуры и присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению подготовки 24.06.01 – «Авиационная и ракетно-космическая техника».

В период обучения Николаев И.А. активно включился в научно-исследовательскую и учебно-методическую работу кафедры «Технология производства двигателей летательных аппаратов» и начал работу над решением актуальной задачи – повышением фреттингостойкости элементов двигателей летательных аппаратов и энергетических установок с использованием твердых смазочных покрытий (ТСП). В соответствии с поставленными в работе задачами, автором получены следующие научные результаты, обладающие научной



новизной: использование петель фреттинг-гистерезиса к разработанным ТСП с целью определения энергии диссипации в контактах трения и преобладающих механизмов изнашивания в зависимости от условий их работы; для ТСП, сформированных методами плазменных технологий, впервые получены коэффициенты и индексы скольжения, энергетические коэффициенты, коэффициенты объемного износа рекомендуемых покрытий, и построены карты фреттинга; разработана и применена к элементам пар трения ДЛА и ЭУ методика выбора ТСП, стойких к фреттинг-изнашиванию; подтверждена на практике работоспособность и фреттингостойкость разработанных ТСП для различных узлов трения.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методики выбора ТСП, стойких к фреттинг-изнашиванию, и разработке рекомендаций по применению новых технических решений: 1) покрытия, полученные плазменным напылением, рекомендованы для защиты замковых соединений вентиляторных лопаток ГТД и защиты от износа узлов поворота системы управления механизацией компрессора низкого давления; 2) керамикоподобные 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.

В процессе обучения в аспирантуре и работы над диссертацией Николаев И.А. проявил себя квалифицированным специалистом, обосновал выбор ТСП и плазменных методов их формирования для защиты от фреттинга, рассмотрел модели процессов контактного взаимодействия при фреттинге, показал, что наиболее полно описываются процессы этого взаимодействия с применением упруго-пластической модели Герца-Миндлина-Вингсбо, с использованием петель фреттинг-гистерезиса, и определил их роль в построении карт фреттинга и приложении к развитию энергетического подхода для прогнозирования износа исследуемых пар трения. Для композитного ТСП  $TiN+Pb$ , полученного магнетронным осаждением, экспериментально определил оптимальное с точки зрения минимального износа содержание свинца в покрытии (5-10% ат.), а построенные для этой композиции карты фреттинга с 16% ат. свинца позволили в серии экспериментов установить границы перехода между частичным проскальзыванием, смешанным режимом, полным скольжением и возвратно-поступательным скольжением, а по результатам изучения морфологии пятен износа наблюдать различные механизмы разрушения материалов (фреттинг-усталость и фреттинг-изнашивание). Исследование композитных двухслойных ТСП  $(Cr,Al,Si)N/DLC$  на керамическом материале  $SiAlON$ , с использованием энергетического подхода позволило определить влияние на фреттинг-изнашивание



содержания кремния во внешнем DLC слое (до 3% мас.), в 2 раза увеличить его фреттингостойкость. Керамикоподобное ТСП, полученное методом МДО на алюминиевом сплаве АМг-6 позволило избежать схватывания в контакте, особо опасного в условиях фреттинга, а также существенно уменьшить износ. Исследование на фреттинг-изнашивание многослойных ТСП, осажденных методом плазменного напыления в атмосфере, получена зависимость между величиной объемного износа и суммарной энергией диссипации и установлено, что покрытие NiAl-CuNiIn-Ni[Сg] + коллоидный графит + molykote 106 имеет наименьший коэффициент объемного износа;

Диссертант разработал и проверил на практике обобщенную методику выбора ТСП, стойких к фреттинг-изнашиванию.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 научных работах, в том числе 4 публикации в рецензируемых научных изданиях и изданиях, приравненных к ним. По теме диссертационной работы было сделано 6 докладов на научных конференциях.

Представленная Николаевым И.А. к защите диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решены актуальные задачи, имеющие большое практическое значение для авиадвигателестроительной и других отраслей машиностроения и энергетики – повышение фреттингостойкости элементов двигателей летательных аппаратов и энергетических установок с использованием твердых смазочных покрытий. Решение этих задач позволило повысить износ- и фреттингостойкость элементов двигателей летательных аппаратов и энергетических установок.

Диссертационная работа Николаева И.А. соответствует специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» и отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор диссертации, Николаев Илья Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Д.т.н., профессор кафедры 205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов»

28.09.2022

Л.Н. Лесневский

Подпись д.т.н., профессора кафедры «Технология производства двигателей летательных аппаратов» Лесневского Л.Н. заверяю

Директор дирекции Института №2

28.09.2022

В.П. Монахова

