

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.18
по диссертации Яковкина Вадима Николаевича
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация: «Численное и экспериментальное моделирование резонансных колебаний деталей ГТД с демпферами сухого трения» по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите «21» апреля 2023г. (протокол заседания № 5) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.18, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «5» октября 2022 г. № 93-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и в Акционерном обществе «Объединенная двигателестроительная корпорация-Авиадвигатель».

Научный руководитель Нихамкин Михаил Шмерович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Авиационные двигатели» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Официальные оппоненты:

Новиков Дмитрий Константинович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов (г. Самара),

Макаров Павел Вячеславович, кандидат технических наук, Производственный комплекс «Салют» Акционерное общество «Объединенная двигателестроительная корпорация», заместитель генерального конструктора (г. Москва).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (г. Казань) (отзыв ведущей организации утвержден ректором Алиевым Тимуром Лазовичем, диссертационная работа рассмотрена на заседании кафедры реактивных двигателей и энергетических установок, протокол №9 от 25.05.2023г).

Отмечено, что диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842, а ее автор – Яковкин Вадим Николаевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается областью их компетентности и научной деятельностью, связанной с исследованиями динамических процессов в газотурбинных двигателях и прочностного анализа с использованием численных и экспериментальных методов.

На автореферат и диссертацию поступило 6 отзывов:

1. Кирсанов Андрей Родионович, канд. техн. наук, ведущий конструктор, «ОКБ им. Ляльки» - филиал ПАО «ОДК-УМПО», (г. Москва).

2. Мусеев Александр Александрович, заместитель начальника ОКБ по расчетам, Гинзбург Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, ведущий инженер-конструктор, Сугак Олег Викторович, ведущий конструктор АО «ОДК-Климов», (г.Санкт-Петербург).
3. Клебанов Яков Мордухович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика», Солдусова Екатерина Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Механика», ФГБОУ ВО «СамГТУ», (г. Самара).
4. Пахоменков Александр Владимирович, канд. техн. наук, главный конструктор по ПД-35 и изд.156 ПАО «ОДК-Сатурн», (г. Рыбинск).
5. Аронсон Константинович Эрленович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Турбины и двигатели» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», (г. Екатеринбург).
6. Чуйко Виктор Михайлович, д-р техн. наук, Президент Международной ассоциации «Союз авиационного двигателестроения» (АССАД), (г. Москва).

Все полученные отзывы положительные, указанные недостатки не являются определяющими, частично носят дискуссионный характер и в целом не снижают высокой оценки работы. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа является полным, законченным исследованием, соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Яковкин Вадим Николаевич заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

По теме диссертации соискателем опубликовано шестнадцать научных трудов, из них пять в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени и одна работа – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Яковкин, В.Н. Расчет демпфирующей способности тарельчатого демпфера для конической шестерни коробки приводов газотурбинного двигателя / В.Н. Яковкин, В.А. Бессчетнов // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014. – № 76. – 19 с.

2. Yakovkin, V. N. Verification of a Mathematical Model of a Dry Friction Damper for a GTE Blade. / V.N. Yakovkin, V.A. Besschetnov // Journal of Physics: Conference Series: materials of International Conference on Aviation Motors (ICAM 2020). (Moscow, 18-21 May 2021) – 2021. – Vol.1891. – Art. 012037.

3. Яковкин, В.Н. Математическое моделирование демпфера сухого трения для зубчатого колеса газотурбинных двигателей. Часть 1 / В.Н. Яковкин, М.Ш. Нихамкин, Н.А. Саженков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – No 70. – С. 140–149.

4. Яковкин, В.Н. Математическое моделирование демпфера сухого трения для зубчатого колеса газотурбинного двигателя. Часть 2 / В.Н. Яковкин, А.Б. Пищальников, И.И. Соколов, М.Ш. Нихамкин, Н.А. Саженков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – No 70. – С. 150–159.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая математическая модель для расчета демпфирующей способности (декремента колебаний) узлов ГТД с демпферами сухого трения, пригодная для инженерной практики;

предложены обобщающие расчетные зависимости для выбора параметров демпфера и способы учета эффектов микроскольжения в контакте;

доказана работоспособность математической модели путем сравнения с аналитическим решением и применимость инженерной методики проектирования демпферов сухого трения, основанной на математической модели, для натуральных деталей ГТД;

введено в область практического применения использование математической модели для расчета демпферов в АО «ОДК-Авиадвигатель»

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказана**, в определенных границах, возможность получения общего решения для системы с сухим трением, совершающей свободные колебания; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** основы теории колебаний, программные расчетные комплексы для моделирования колебаний натуральных узлов ГТД; **изложены** основные положения расчета демпферов сухого трения для узлов ГТД, основная идея новой математической модели для расчета декремента колебаний деталей ГТД; **раскрыты** особенности работы демпферов сухого трения для деталей ГТД в условиях микроперемещений контакта, высокочастотных колебаний и в условиях закрепления контакта; **изучены** характер влияния жесткостных характеристик системы на форму колебаний деталей ГТД и величину декремента колебаний; **проведена** адаптация математической модели в современном программном комплексе для расчета деталей ГТД в конечно-элементной постановке.

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

разработана и внедрена инженерная методика проектирования демпферов сухого трения для деталей ГТД, позволяющая сократить трудоемкость расчетов при проектировании демпферов и объем экспериментальных работ при доводке двигателя. Методика применена для проектирования демпферов лопаток, зубчатых колес и прочих деталей ГТД в АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Россия.

определены пределы и перспективы использования математической модели; рекомендуемые области настройки демпфера для прогнозируемого и эффективного демпфирования; коэффициенты сухого трения используемых контактных пар;

создана экспериментальная установка для исследования контактных пар трения в условиях резонансных колебаний лопатки с трактовой полкой на вибростенде;

представлены результаты испытаний лопатки компрессора с модельным демпфером на вибростенде, результаты испытания зубчатых колес с демпферами тарельчатого типа на авиационном двигателе.

Достоверность результатов исследования подтверждается:

для экспериментальных работ применено метрологически аттестованное и поверенное измерительное оборудование, сертифицированное программное обеспечение;

для численного моделирования использованием современных расчетных программных комплексов, апробированных и верифицированных в АО «ОДК-Авиадвигатель» по результатам натурных экспериментов;

теория построена на известных законах механики деформируемого твердого тела, теории механических колебаний и законах сохранения энергии;

идея базируется на моделировании собственных колебаний нелинейной системы с демпфером сухого трения ее линеаризованным аналогом;

использовано сравнение полученных Автором результатов и результатов, полученными другими авторами по тематике демпфирования колебаний деталей ГТД;

установлено, что математическая модель верифицирована по аналитическому решению, а результаты численного моделирования демпфирования натурной лопатки компрессора и зубчатых колес ГТД удовлетворительно согласуются с экспериментом.

Личный вклад соискателя состоит в:

выполнении анализа научно-технической литературы по проблемам расчета демпферов сухого трения для деталей ГТД, комплекса расчетных работ по верификации математической модели, расчетов демпфирования лопатки компрессора в условиях вибростенда, расчетов демпфирования зубчатых колес и подбора параметров демпферов;

разработке установки и схемы нагружения для проведения лабораторных исследований лопатки с модельным демпфером, методики проведения эксперимента на вибростенде, методологии экспериментальной оценки декремента, линеаризованной математической модели расчета демпфирующей способности демпфера, способа моделирования эффектов микроскольжения в контакте;

обработке результатов экспериментов, проведенных в лабораторных условиях и на двигателе;

участии в проектировании и подбора параметров демпферов для зубчатых колес, в лабораторных исследованиях лопатки с модельным демпфером.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с учетом дополнений от 26.09.2022 г., соответствует требованиям раздела 2 «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ» утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В. В диссертационной работе изложено решение актуальной научной задачи разработки математической модели для расчета диссипативной способности демпферов сухого трения для деталей ГТД, подходящей для практики. Применение математической модели позволяет сократить трудоемкость расчетов и объем экспериментальных работ при доводке двигателя, что имеет важное значение для двигателестроительных предприятий.

На заседании «28» июня 2023 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.18 принял решение присудить Яковкину Вадиму Николаевичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 7).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 14, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.18,

доктор технических наук

доцент

Модорский Владимир Яковлевич

Ученый секретарь дисс

доктор технических наук

профессор

ста Д ПНИПУ.05.18,



Нихамкин Михаил Шмерович

« 28 » июня 2023 г.

М.П.