



**САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086  
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36  
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru  
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,  
ИНН 6316000632, КПП 631601001

20 MAR 2026

№ 25-1452

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор -  
проректор по науке  
кандидат юридических наук, доцент

А.И. Розенцвайг

2026 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Терешко Антона Герольдовича  
на тему: «Расчетно-экспериментальная методика определения динамических  
характеристик демпферных опор с упругими кольцами»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели  
и энергоустановки летательных аппаратов

**Диссертация Терешко Антона Герольдовича** посвящена решению  
проблемы, связанной с нелинейными динамическими характеристиками  
дрессельных демпферов в опорах роторов авиационных газотурбинных  
двигателей (ГТД), а именно разработке расчетно-экспериментальной  
методики по определению динамических характеристик демпферных опор  
с упругими кольцами на примере перспективного двигателя.

**Актуальность темы диссертации.** Задача анализа динамических  
характеристик вращающихся конструкций (роторная динамика) одна  
из наиболее важных при проектировании и доводке турбомашин в целом  
и авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) в частности.

Одной из основных задач, решаемых конструктором при  
проектировании роторов, является определение их критических частот  
вращения и форм собственных колебаний. Критические частоты вращения

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«2» 04 2026 г.

определяют потенциально опасные резонансные режимы, которые возбуждаются дисбалансами ротора, а формы колебаний показывают, как ведёт себя роторная система на этих режимах. Значения критических частот вращения и формы колебаний зависят от упруго-инерционных характеристик динамической системы ротора. Изменяя эти характеристики, мы можем управлять спектром частот, т.е. проводить частотную отстройку ротора от опасных режимов. Распределение энергий показывает изменением какой части конструкции можно эффективно управлять её динамическими свойствами.

Включение в опору упругих колец позволяет полностью перестроить динамические характеристики роторной системы, выведя роторные формы (изгибные формы колебаний) из рабочего диапазона, и оставив в рабочем диапазоне в основном формы совместных колебаний, либо опорные формы колебаний роторов.

Опорные формы колебаний, оставшиеся или появившиеся в рабочем диапазоне, так же могут сопровождаться большими вибрациями при их возбуждении, поэтому упругие элементы совмещаются с устройствами, которые гасят колебания – демпферными устройствами. Включение демпферных устройств в опоры ротора также меняет частоты собственных колебаний конструкции и в ряде случаев значительно.

Широкое применение получили гидродинамические демпферы с упругими кольцами – дроссельные гидравлические демпферы, где диссипация механической энергии колебаний происходит за счет передавливания жидкости между камерами через торцы кольца и дроссельные отверстия в процессе прецессионного вращения вибратора демпфера. Эффективность работы такого демпфера обеспечивается правильным выбором его параметров, основными из которых являются жесткость и демпфирование, определяемые геометрией упругого элемента и динамическими свойствами масляного слоя.

Расчет каждой отдельно взятой конструкции опоры с дроссельным демпфером является самостоятельной задачей, решить которую аналитическими или численными методами, в том числе решить задачу по определению коэффициентов демпфирования или создать модель гидродинамического демпфера в конечно-элементной постановке, на этапе проектирования сегодня не представляется возможным. Окончательная

оценка динамических характеристик такой опоры возможна только на этапе доводки двигателя по результатам анализа экспериментальных данных.

С учетом сказанного разработка расчетно-экспериментальной методики определения динамических характеристик демпферных опор с упругими кольцами является актуальной задачей.

**Научная новизна.** Автором доказано, что дроссельный демпфер в газотурбинных двигателях является одним из основных конструктивных элементов, существенно влияющим на вибрационные характеристики двигателя.

Показано, что жесткостная характеристика дроссельного демпфера определяется не только упругим кольцом, но и динамическими силами, возникающими в камерах демпфера.

Впервые показано, что жесткостная динамическая характеристика дроссельного демпфера (его несущая способность) в большей степени зависит не от статической жесткости кольца, а от сил динамического сопротивления, возникающих в гидравлических камерах.

Создана расчетно-экспериментальная методика определения динамических характеристик демпферной опоры с упругим кольцом, в основе которой лежат результаты стендовых испытаний газотурбинных двигателей.

Математическая модель роторной системы с моделью дроссельного демпфера (основанная на разработанной расчетно-экспериментальной методике) позволила получить динамические характеристики перспективного ГТД и определить направления для разработки оптимальных конструкций упруго-демпферных опор с дроссельными демпферами.

На основе проведенного исследования динамических характеристик дроссельного демпфера, базирующегося на совокупности использования численных моделей и результатов натурных экспериментов, разработана динамическая модель дроссельного демпфера, внедренного в конструкцию перспективного ГТД разработки ОКБ им. А. Люльки.

Перечисленные результаты исследования свидетельствуют о новаторских решениях с доказательной базой в области обработки экспериментальных данных.

**Теоретическая значимость работы** состоит в формулировании и обосновании нелинейного поведения демпферных опор с упругими кольцами

для роторов ГТД с высокими частотами вращения. Доказано, что с ростом частоты вращения ротора происходит существенное увеличение фактической жесткости и демпфирования в дроссельном демпфере.

Представлена методика валидации расчетной модели с результатами эксперимента по вибрографированию корпусов ГТД с последующей реализацией полученных значений в квазилинейном элементе программного комплекса DYNAMICS R4.

**Практическая значимость работы.** Разработанная автором расчетно-экспериментальная методика, позволяет строить динамические модели опор роторов с дроссельными демпферами, обладающими нелинейными динамическими характеристиками

Представленная методика позволила создать квазилинейную динамическую модель дроссельного демпфера для перспективного двигателя и с ее помощью провести конструктивную доработку опорного узла КНД.

Полученные результаты позволили выполнить прочностную доводку перспективного ГТД в рамках работ ОКБ им. А. Люльки филиале ПАО «ОДК-УМПО» по обеспечению заданного вибрационного состояния.

**Достоверность результатов** подтверждается множественными данными натурных экспериментов с различными вариантами геометрии дроссельного демпфера в передней опоре КНД, проведенных в процессе доводки динамических характеристик роторных систем перспективного ГТД с применением в компоновке упруго-демпферной опоры новой конструкции.

**Публикации основных результатов диссертации.** Основное содержание диссертации отражено в 15 публикациях, из них: 5 – статьи в рецензируемых научных изданиях из рекомендованного перечня ВАК (по специальности 2.5.15.); 9 тезисов докладов на научных конференциях. Также Терешко А. Г. является автором патента на изобретение (Упругодемпферная опора турбомашин).

**Содержание диссертации, её завершенность, замечания по оформлению.** Диссертационная работа Терешко А.Г. состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и двух приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 122 страницы, 105 рисунков и 13 таблиц. Библиографический список включает 95 наименований. Существенные замечания по оформлению отсутствуют.

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследования,

формулируется цель, основные задачи и методы их решения, приводятся выносимые на защиту положения и краткое содержание работы по главам.

**В первой главе** рассмотрены вопросы моделирования роторных систем газотурбинных двигателей и расчёта их критических частот вращения. Рассмотрены особенности моделирования элементов опор с нелинейными характеристиками. Представлен опыт применения упруго-демпферных опор в двигателях разработки ОКБ им. А. Люльки. Обозначена необходимость доводки характеристик упруго-демпферной опоры в случае диагностирования нелинейных характеристик.

**Во второй главе** рассмотрены основные методы построения динамических моделей и расчёта критических частот вращения роторов, как в универсальном конечно-элементном программном комплексе (ПК), так и в специализированном ПК. Показана хорошая сходимость результатов расчета моделей, построенных в различных ПК с экспериментальными данными, полученными в ходе натурных испытаний как по вибрографированию корпусов двигателей, так и по тензометрированию валов и элементов упруго-демпферных опор. Показаны близкие результаты для моделей в постановке «ротор + статор» и упрощенных моделей роторных систем, что говорит о возможности их использования в реальных расчётах на этапе доводки двигателя.

Доказана необходимость конечно-элементных расчётов для возможности учёта жесткости статорных элементов сложной конструкции. Показана верификация динамических расчётных моделей с результатами эксперимента для дальнейшей настройки параметров моделей с целью их дальнейшей доводки.

**В третьей главе** рассмотрена конструкция перспективного ГТД, проведено сравнение и показаны отличия от конструкции двигателя-прототипа. Выполнен расчет жесткости всех измененных относительно двигателя-прототипа статорных элементов конструкции. Проведен расчёт критических частот вращения роторов перспективного ГТД в постановке упрощенной модели без моделирования статорных элементов.

Построены экспериментальные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) для роторов низкого и высокого давления перспективного ГТД, отмечено существенное расхождение с АЧХ для двигателя-прототипа. Проведено сравнение АЧХ расчётной динамической

модели связанной системы роторов перспективного ГТД с результатами эксперимента. Получено совпадение расчётной АЧХ с экспериментальными данными в частотном диапазоне до 120 Гц. Проведён анализ факторов, влияющих на значения критической частоты вращения, обусловленной массой КНД и жесткостью его опор.

Выполнен детальный анализ конструкции упруго-демпферной опоры и её отличия от конструкции двигателя-прототипа. Построена полноразмерная конечно-элементная модель вибропакета, получена зависимость жёсткости кольца от коэффициента трения и посадок с сопрягаемыми деталями. Проведено моделирование поведения контактных пар вибропакета в зависимости от изменения эксплуатационной нагрузки. Выявлены зависимости характеристик дроссельного демпфера от режима работы ГТД. Получена сходимость дисбалансного отклика этих моделей с экспериментально полученными АЧХ перспективного двигателя при различных значениях жесткости опоры во всем диапазоне частот вращения ротора низкого давления. Доказана необходимость учёта нелинейной характеристики опоры в динамической модели связанной системы роторов.

**В четвертой главе** рассмотрен вопрос реализации в динамической модели ПК DYNAMICS R4 квазилинейного элемента, позволяющего учесть в расчётах нелинейные жесткостные и демпфирующие свойства опоры. Для учёта нелинейных характеристик жесткости и демпфирования в опоре, в модель были добавлены численные переменные, которые изменяют своё значение в зависимости от частоты вращения ротора низкого давления. Представлена методика определения динамических характеристик дроссельного демпфера путем создания квазилинейной модели на основании анализа экспериментальных АЧХ перспективного двигателя, полученных по результатам вибрографирования в процессе натурных запусков.

В заключении главы проведено обобщение полученных данных по созданию методики моделирования квазилинейной упруго-демпферной опоры с нелинейными характеристиками. Результатом применения представленной методики является создание динамической модели роторной системы для последующих расчетов и доводки вибрационных характеристик нового двигателя.

**Заключение** содержит общую характеристику и основные выводы по результатам диссертационной работы.

**Замечания по диссертации.** При общей положительной оценке диссертационной работы можно отметить следующие замечания:

1. В представленных в диссертационной работе материалах недостаточно подробно рассмотрен вопрос изменения (оптимизации) конструкции исследуемой демпферной опоры в процессе доводки вибрационного состояния ГТД.

2. Нет ссылки на работу С.С. Некрасова, сотрудника фирмы Люлька, который впервые предложил методику расчета таких демпферов.

3. Автореферат оформлен излишне лаконично. В нем не приведена суть предложенной модели дроссельного демпфера, хотя в самой диссертации это имеется.

4. Выводы по диссертации носят реферативный характер. В них нет числовых данных о результатах исследований.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

#### **Рекомендации по использованию результатов работы.**

Разработанная расчетно-экспериментальная методика может быть использована при создании демпферных опор с упругими кольцами и определении их динамических характеристик.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы предприятиям отрасли при проектировании новых конструкций опорных узлов с дроссельными демпферами.

#### **Заключение**

Диссертация Терешко Антона Герольдовича на тему: «Расчетно-экспериментальная методика определения динамических характеристик демпферных опор с упругими кольцами», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук в целом выполнена на высоком научном уровне и является завершенной научно-квалификационной работой, направленной на решение актуальной задачи в области авиационного двигателестроения. Приведенные результаты диссертационной работы можно квалифицировать как новые, обоснованные и имеющие практическое значение.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа отвечает требованиям, установленным п.9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением

правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Терешко Антон Герольдович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Отзыв на диссертационную работу Терешко Антона Герольдовича «Расчетно-экспериментальная методика определения динамических характеристик демпферных опор с упругими кольцами» подготовлен профессором кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов доктором технических наук, профессором Новиковым Дмитрием Константиновичем. Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского университета 20 марта 2026 года, протокол № 8.

Заведующий кафедрой  
конструкции и проектирования  
двигателей летательных аппаратов  
Самарского университета,  
доктор технических наук,  
профессор

Фалалеев Сергей Викторович



«20» 03 2026 года

Профессор кафедры конструкции и  
проектирования двигателей  
летательных аппаратов Самарского  
университета,  
доктор технических наук, профессор

Новиков Дмитрий Константинович



«20» марта 2026 года

Контактная информация:

Полное наименование организации:


федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Сокращенное наименование организации: Самарский университет.

Адрес: Россия 443086 Самара, ул. Московское шоссе, д. 34.

Телефон (приемная ректора): (846) 335-18-26; e-mail: ssau@ssau.ru;

официальный сайт: <https://ssau.ru/>

С отзывом ознакомлен  Терешко А.Г.  
2.04.2026