

ОТЗЫВ

официального оппонента Новикова Дмитрия Константиновича на диссертационную работу Николаева Ильи Витальевича на тему «Исследование шлицевых соединений роторов при наличии несоосности и их влияние на динамическое поведение системы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертационная работа изложена на 107 листах, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 70 источников.

Актуальность темы

Известно, что в настоящее время почти половина всех дефектов авиационных ГТД носит вибрационный характер, поэтому именно они и определяют ресурс и надежность двигателя, которые, в свою очередь, влияют на конкурентоспособность отечественных ГТД. Одним из важных факторов, влияющих на вибрацию, является роторная система авиационного двигателя. Сейчас достаточно хорошо исследовано влияние упруго-демпфирующих характеристик опор роторов на динамику роторов двигателя. Однако в состав роторной системы входят и другие элементы, например, соединительные элементы, выполненные в виде шлицов различного типа, которые также могут оказывать значительное влияние на вибрационное состояние. Работ, изучающих влияние этих элементов, значительно меньше, и выполнены они в 60-70 годы прошлого столетия в Советском Союзе и за рубежом. В них были предложены различные аналитические формулы для определения радиальной и угловой жесткостей, которые зачастую давали противоречивые результаты. В настоящее время шлицевые соединения исследуются в основном зарубежными авторами. В их работах учитываются контактные явления, имеющие место в шлицевом зацеплении. Исследования такого

Отдел документационного
обеспечения МАИ

30 11 2023

уровня требуют использования современных методов, основанные на МКЭ, что приводит к большим вычислительным проблемам.

В ПАО «ОДК-Кузнецов» при исследовании центрирования шлицевых соединений было замечено изменение вибрации для различных методов центрирования, а соответственно и изменение спектра критических частот.

Поэтому поставленная автором задача создания упрощенной модели шлицевого соединения с учетом реальных условий работы, таких, как перекосы, трение и центрирование, а также их оценка на динамику ротора авиационного двигателя, несомненно, является актуальной.

Во **введении** обоснована актуальность работы, отмечены научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** представлен интересный и обширный обзор работ по анализу конструкций шлицевых соединений и методам их расчета, а также по учету сил трения различного вида, что позволило обоснованно поставить задачи исследований.

Во **второй главе** описана математическая модель эвольвентного шлицевого соединения, которая учитывает реальные условия работы соединения. Благодаря широкому использованию тензорного и матричного анализов получены компактные замкнутые аналитические выражения для характеристик соединения с учетом сил трения и бокового зазора. На основе решения контактной задачи получены выражения для компонент матрицы жесткости и вектора внутренних сил зацепления.

В **третьей главе** представлена разработанная автором конечно-элементная модель шлицевой муфты в вычислительном комплексе ANSYS и проведено исследование работы соединения при действии различного вида нагрузок с учетом фрикционного контакта между шлицами и бокового зазора и с учетом перекоса. Автор показал, что учёт зазора в системе приводит к перераспределению типов контакта для зубьев в соответствии с направлением действующей силы или момента, а также увеличению на порядок максимального значения контактного давления. Проведена

верификация разработанной численной модели шлицевого соединения и установлено, что разница между жёсткостными характеристиками не превышает 2%; при верификации по кривым центрирования разница не превышает 7%.

В четвертой главе продемонстрировано использование предложенной методики к оценке ее влияния на динамику ротора всего двигателя. Для определения влияния рассматривалась модель с тремя вариантами жёсткости шлицевого соединения КВД-ТВД: жёсткое, расчётное и податливое. В результате расчетов отмечены значительные расхождения, особенно между расчетной и податливой моделями. Сделан вывод о том, что шлицевое соединение является элементом динамической системы, оказывающим влияние на вынужденные колебания, что не противоречит общепринятому воззрению на эту проблему.

Научная новизна работы заключается в созданной автором упрощенной модели шлицевого соединения, обладающей наименьшим числом степеней свободы, что обеспечивает существенное сокращение временных и вычислительных затрат при решении нелинейных задач динамики, а также в выделении эффекта центрирования при действии крутящего момента в условиях перекоса.

Практическая значимость результатов работы определяется тем, что разработанные алгоритмы могут быть использованы для анализа вибрационного состояния авиационных ГТД. Также приведённая математическая модель применяется в программном комплексе Dynamics R4 для решения задач динамики.

Достоверность полученных результатов обосновывается корректным использованием современного математического аппарата, строгостью формулировок и результатами проведённой верификации.

Замечания по диссертации

1. Не могу согласиться с утверждением автора, что шлицевые соединения исследовались только за рубежом. Такие работы проводились еще в 60-е прошлого столетия в ОКБ Кузнецова. Следует отметить также, что раздел,

связанный с учетом сил трения, несколько перегружен общеизвестной информацией.

2. Непонятно утверждение автора на стр.43, где отмечается, что при вязком трении коэффициент трения равен 0,05. Вязкое трение характеризуется коэффициентом демпфирования, который определяет диссипативную силу, пропорциональную скорости колебаний и имеет соответствующую размерность. Аналогичное замечание к рисунку 3.18 на стр.80. И почему здесь рассматриваются различные законы, ведь графики отличаются только величиной коэффициента трения?

3. На стр.53. указано, что Δu — относительное смещение. Непонятно, почему относительное? По смыслу формулы (2.14) это размерная величина.

4. Стр.68. Таблица 3.1. Странная размерность плотности - т/мм³. Не маловат ли коэффициент трения? Обычно для металла по металлу он составляет 0,05...0,1.

5. Почему при исследовании влияния зазоров в одном случае момент принимался равным 300Н*м, а в другом 30900Н*м, т.е. на два порядка больше? По данным главы 4 максимальный момент достигает только 1600Н*м. Как соотносятся эти величины?

6. Стр.80. Чем можно объяснить, что центрирование с ростом крутящего момента происходит резким скачком? (рис.3.14, 3.17,3.18, 3.19).

7. Каков реальный диапазон крутящих моментов в авиационных ГТД? Может ли в них достигаться эффект центрирования?

8. В заключении отсутствуют предложения по дальнейшим направлениям исследований.

9. К сожалению, в работе отсутствуют экспериментальные данные, хотя это несколько компенсируется верификацией разработанной и численной моделей.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты опубликованы в виде 10 научных трудов, из них 3 в реферируемых ВАК научных изданиях и приравненных к ним. Опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертации.

Выводы

Автореферат диссертации содержит в кратком виде всю необходимую информацию, характеризующую полученные в процессе исследования результаты. Автореферат в полной мере отражает основное содержание, в нем приведены основные идеи и выводы диссертации.

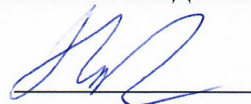
Диссертационная работа Николаева Ильи Витальевича по теме «Исследование шлицевых соединений роторов при наличии несоосности и их влияние на динамическое поведение системы» соответствует паспорту научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, именно: п. 8. Колебания в тепловых двигателях летательных аппаратов. Резонансные явления, автоколебательные и нестационарные процессы в конструкциях двигателей. Способы борьбы с опасными вибрациями в двигателях, п. 13. Математическое моделирование рабочих процессов, характеристик, динамических процессов, рабочих состояний двигателей и энергетических установок, стадий и этапов их жизненного цикла (создания, производства, эксплуатации и утилизации).

Диссертационная работа «Исследование шлицевых соединений роторов при наличии несоосности и их влияние на динамическое поведение системы» Николаева Ильи Витальевича соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Николаев Илья

Витальевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.15 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки).

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)».

 Новиков Дмитрий Константинович

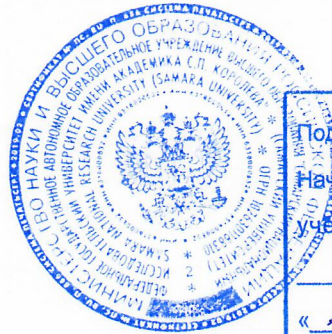
Адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, д.34

Телефон: +7(846) 267-46-77. Моб. 8-917-944-91-79

E-mail: novikovdk_ssau@mail.ru

Отзыв составлен «28» ноября 2023 г.

Подпись и должность Новикова Дмитрия Константиновича заверяю



Подпись Новикова Д.К. удостоверяю.
Начальник отдела сопровождения деятельности
ученых советов Самарского университета
Бояркина Бояркина У.В.
«28» ноября 2023 г.

С отзывом ознакомлен  /Никанов А.В./

30.11.2023