

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Пивоваровой Марии Владимировны

«Разработка методов анализа и оценки изменения вибронапряжений при изменении геометрии лопаток газотурбинных двигателей в процессе их прочностной доводки и их экспериментальном исследовании»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов

На рецензию представлена диссертационная работа общим объемом 143 страницы, иллюстрированная 30 рисунками и 12 таблицами, состоящая из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 125 источников.

Работа посвящена расчетно-экспериментальному исследованию характера изменения вибронапряжений в лопатках газотурбинных двигателей.

Научное направление всех основных разработок и исследований, представленных в диссертационной работе, соответствует паспорту научной специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Актуальность темы

Газотурбинные двигатели (ГТД) являются сложными техническими устройствами, состоящими из множества систем и элементов, к каждой из которых предъявляются высокие требования по надежности, эффективности и технологичности. Лопаточный аппарата ГТД в процессе эксплуатации подвержен воздействию различных факторов, зачастую приводящих к их существенному износу, деградации эксплуатационных характеристик и снижению ресурса и надежности двигателя в целом. Лопатки рабочих колес испытывают высокие статические и динамические нагрузки, точный учет

которых на этапе проектирования и доводки двигателя является сложным и обязательным условием надежного функционирования всей системы.

Создание отечественных ГТД нового поколения с повышенными требованиями надежности и безопасности непрерывно связано с обеспечением низких уровней динамических напряжений в лопатках, что обуславливает острую необходимость и актуальность совершенствования методов анализа и оценки вибронапряжений в них.

Диссертационная работа Пивоваровой М. В. посвящена разработке методов анализа и оценки изменения вибронапряжений при изменении геометрии лопаток газотурбинных двигателей в процессе их прочностной доводки и их экспериментальном исследовании, что является актуальным и востребованным в современных условиях направлением развития газотурбинной техники летательных аппаратов.

Содержание диссертации

Структура диссертационной работы включает в себя введение, четыре главы, заключение.

Во введении раскрыта актуальность и степень разработанности темы исследования, обозначена цель и решенные для ее достижения задачи, описаны объект и предмет исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, представлены методология и методы исследования, выносимые на защиту положения, степень достоверности и апробация результатов работы, отмечен личный вклад автора.

В первой главе представлен анализ состояния дел по проблематике исследований в области диагностики, определения и снижения вибронапряжений. Сделаны выводы по изученности вопросов экспериментальных исследований вибронапряжений в лопатках ГТД и обоснованы задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлен разработанный автором расчетный метод оптимального размещения тензорезисторов при подготовке испытаний по

определению динамических напряжений в лопатках ГТД, введены новые понятия «коэффициент чувствительности тензорезистора к формам колебаний» и «коэффициент покрытия форм колебаний», описаны математический аппарат предложенного метода и ограничения его применения для компрессорных лопаток. Продемонстрированы и сравниваются различные схемы препарирования лопаток. Проведена верификация метода на основе результатов лабораторных исследований на вибростенде ВЭДС-1500.

Третья глава посвящена разработанному автором расчетному методу оценки изменения уровня вибронапряжений в лопатках компрессора ГТД при их прочностной доводке. Введено новое понятие «коэффициент изменения максимальных динамических напряжений в лопатке при изменении ее профильной части геометрии в процессе проектирования». Представлены результаты численных расчетов влияния подрезки уголков и изменения толщины профиля лопатки на распределение эквивалентных напряжений и кинетической энергии, результаты апробации метода при совершенствовании конструкции лопатки компрессора высокого давления ГТД.

В четвертой главе представлены рекомендации автора по корректировке алгоритма проектирования рабочих лопаток компрессора ГТД с учетом применения разработанных методов.

В заключении сформулированы основные выводы по работе.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- Разработан новый расчетный метод оптимального размещения тензорезисторов на деталях ГТД (в том числе на лопатках) при экспериментальном исследовании. В рамках метода введены новые понятия;
- Разработан новый расчетный метод оценки изменения уровня вибронапряжений в лопатках ГТД при изменении ее геометрии на этапе

проектирования для обеспечения допустимого уровня вибронапряжений. В рамках метода введено новое понятие.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность и обоснованность научных положений, сформулированных в работе выводов и рекомендаций подтверждается проведенными натурными экспериментами на сертифицированных стендах.

Практическая и теоретическая значимость

Практическая и теоретическая значимость работы заключается в представлении рекомендаций для инженерной практики по корректировке алгоритмов проектирования рабочих лопаток компрессоров и турбин ГТД, подготовки их испытаний с учетом применения разработанных в исследовании методов. На основании полученных результатов разработан программный комплекс и выпущен Руководящий технический материал РТМ08.124, применяемые в исследовании лопаток двухконтурного газотурбинного двигателя.

Представленные в работе рекомендации могут использоваться другими исследователями при создании перспективных газотурбинных двигателей.

Результаты, представленные в диссертационной работе, внедрены и используются в производственном процессе на предприятии АО «ОДК-Авиадвигатель».

Основные результаты работы прошли апробацию на 7 Международных и Всероссийских конференциях. Основные положения и выводы изложены в 5 печатных работах в научных журналах, индексируемом в международной базе цитирования Scopus (включен в базу RSCI), 3 в научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий по направлению 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Вопросы и замечания

По диссертационной работе имеется ряд вопросов и замечаний:

1. В работе неоднократно отмечается, что «расчет вибрационных характеристик проводится на основных режимах работы двигателя с соответствующими тепловыми и центробежными нагрузками». Одним из факторов, определяющим точность численного расчета собственных форм колебаний лопатки, является математическое описание способа крепления лопатки, наиболее близко соответствующее реальным условиям эксплуатации, а также наложение истинного распределения температурного поля по телу лопатки и диска. В работе при демонстрации результатов проведенного моделирования недостаточно освещены данные вопросы. Также в работе отмечается «важный аспект в определении максимальных эквивалентных напряжений: качество разбиения конечно-элементной сетки». Какие конкретные рекомендации автор может сформулировать по постановке задачи численного анализа вибронпряженного состояния лопаток? Требуется ли реализация сопряженной задачи моделирования термогазодинамических и прочностных характеристик исследуемого объекта?
2. Задача оптимального размещения тензорезисторов при подготовке испытаний ставится следующим образом: тензорезистор должен располагаться на поверхности лопатки так, чтобы коэффициент ЧТФК принимал максимальное значение по всем формам колебаний. Сколько частот собственных колебаний необходимо рассматривать? Имеет ли смысл акцентироваться на каких-то конкретных формах колебаний при описании целевой функции задачи оптимизации расположения тензорезисторов?
3. Можно ли учесть технологичность (ограничения) реализации препарирования лопаток при решении оптимизационной задачи?
4. На основании каких результатов реализованного метода выбирается угловая ориентация тензорезисторов?

5. Как в разработанных методах учитывается влияние способов изготовления и применяемых материалов лопаток ГТД?
6. Какие требования к оснастке для закрепления лопаток на вибростенде предъявляются? Влияет ли оснастка на оптимальный способ расположения тензодатчиков?
7. В исследовании сделано допущение, что малые изменения профильной части геометрии лопатки не влияют на уровни аэродинамического возбуждения лопатки и демпфирования, а также на изменение собственных форм колебаний самой лопатки. Что подразумевается под малыми изменениями? Как их выразить численно? Представленные в работе примеры снижения вибронапряжений в виде подрезки уголка лопатки на периферии, утолщения профиля лопатки на 20% в корневом сечении и утолщение периферийного сечения на 20% следует относить также к малым изменениям профильной части геометрии лопатки?
8. В тексте диссертации излишне часто встречается повторение общей информации как в одном, так и в разных подразделах.

Заключение по диссертационной работе

Представленные в отзыве замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Полученные в работе результаты и выводы следуют считать верными.

Диссертационная работа хорошо структурирована, написана качественным техническим языком и является законченным научным исследованием.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация «Разработка методов анализа и оценки изменения вибронапряжений при изменении геометрии лопаток газотурбинных двигателей в процессе их прочностной доводки и их экспериментальном исследовании» является законченной научно-квалификационной работой, имеет большое практическое значение для науки и техники и полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней»,

утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в действующей редакции, а ее автор, Пивоварова Мария Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Я, Блинов Виталий Леонидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

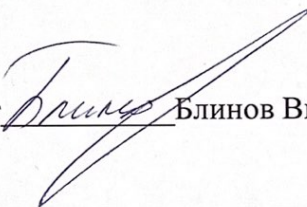
Официальный оппонент,

доцент кафедры «Турбины и двигатели»

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина»,

кандидат технических наук, доцент



Блинов Виталий Леонидович

Тел.: (343) 375-48-51

15.05.2025

e-mail: v.l.blinov@urfu.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Подпись Блинова Виталия Леонидовича заверяю:

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А. <