

ФГАОУ ВО «Самарский  
национальный исследовательский  
университет имени академика  
С.П. Королева»  
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.  
Ученому секретарю  
диссертационного совета 24.2.379.10  
А.С. Виноградову

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

кандидата технических наук, старшего научного сотрудника научно-исследовательского отдела кафедры 205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов»

Рыженкова Валентина Михайловича

на диссертационную работу Кудашова Евгения Викторовича «Метод снижения дисбаланса рабочих колёс ГТД с учётом геометрических отклонений профилей пера лопаток и неравномерности газовой силы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

### **1. Общая характеристика работы**

В своей работе Кудашов Е.В. рассматривает причины возникновения повышенной вибрации изделия и ставит целью снижение дисбаланса рабочего колеса (РК), вызванного неуравновешенной газовой силой (аэродинамического дисбаланса). Цель работы достигается за счёт применения разработанного метода, учитывающего неравномерности газовых сил в компрессорной решётке и геометрических отклонений профилей пера лопаток.

Для достижения поставленной цели автором были решены следующие задачи:

Входящий № 206-4389  
Дата 18 МАЙ 2026  
Самарский университет

1. Разработан метод снижения дисбаланса РК ГТД, вызванного неравномерностью газодинамических сил в компрессорной решётке из-за отклонений расположения профилей пера лопаток.

2. Разработана методика создания параметрической модели оценки дисбаланса РК, учитывающей действующие в узле нагрузки и отклонения расположения профилей пера лопаток.

3. Сформированы зависимости, действующих на лопатку РК при работе изделия газовых сил от отклонения расположения профилей пера лопаток, нагрузок и сборочных параметров для дальнейшего определения дисбаланса.

4. Проведены теоретико-экспериментальные исследования влияния отклонений расположения профилей пера лопаток РК на величину его дисбаланса.

## **2. Актуальность темы исследования**

Источники производственных вибраций ГТД с частотами первых роторных гармоник – массовая неуравновешенность роторов двигателя и движение газа в проточной части. Погрешности изготовления роторов создают массовую неуравновешенность, а лопаток рабочих колёс роторов – аэродинамическую неуравновешенность роторов. В диссертации решается важная задача снижения производственных вибраций ГТД путём определения и уменьшения аэродинамического дисбаланса на стадии производства двигателя.

Актуальность работы. Обычно аэродинамический дисбаланс оценивают косвенно при испытаниях серийных двигателей по уровню нероторных вибраций, когда уже нельзя снизить его значение. Поэтому, определить и уменьшить его на стадии сборки рабочего колеса актуально для производства. Актуальность работы возрастает для перспективных рабочих колёс с полыми лопатками и лопатками из композитных материалов виду того, что их точность изготовления уступает твёрдотельным металлическим лопаткам.

### 3. Структура и содержание работы

Диссертационная работа включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы, включающий 135 наименований, и 7 приложений. Диссертация изложена на 155 страницах, содержит 45 иллюстраций и 18 таблиц. Структура изложения диссертации чёткая и направлена на решение поставленных задач.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна и практическая значимость работы, а также соответствие паспорту специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов в части пункта 9 направлений исследований.

**Первая глава** содержит описание объекта исследования; анализ проблем технологии сборки и балансировки ротора КНД. Выполнен обзор методов, позволяющих оценивать дисбаланс РК, вызванный неуравновешенной возбуждающей силой по причине неточности изготовления лопаток и оборудования для их балансировки.

**Во второй главе** разработан метод снижения дисбаланса РК ГТД и методика создания параметрической модели оценки дисбаланса РК. Адекватность разработанной методики подтверждена теоретическими исследованиями, в результате которых можно выявить значимые технологические и эксплуатационные параметры, влияющие на уровень газодинамического дисбаланса РК. Полученные значения существенны, т.к. составляют 20 % от допустимого остаточного дисбаланса РК. Автор выполнил исследование влияния нагрузок и отклонений расположения профилей пера лопаток на дисбаланс РК. Сформированы зависимости действующих на лопатку РК при работе изделия газовых сил.

**Третья глава** посвящена исследованию влияния эксплуатационных и технологических факторов на величину дисбаланса изделия.

Экспериментальные исследования влияния технологических факторов, выполненные на нескольких образцах РК – крыльчатках убедительны, т.к. они проводились в вакуумной камере, в которой точно определялся только дисбаланс от массовой неуравновешенности без влияния аэродинамической силы потока воздуха. Расчёт аэродинамического дисбаланса серийного РК подтвердил его заметное влияние на точность статической балансировки колеса и показал путь повышения точности балансировки – уравнивать РК в замкнутой полости, в которой создано разрежение. Выполнена верификация этапа расчёта неуравновешенных сил методики создания параметрической модели для оценки дисбаланса РК. Проведена оценка дисбаланса РК, вызванного неуравновешенной газовой силой, первой ступени КНД и параметров его компенсации на основе результатов измерений лопаток.

**В четвертой главе** представлено программное приложение и методика его использования для определения дисбаланса РК и их параметров компенсации с учётом влияния отклонений расположения пера лопаток. Практическое использование результатов диссертационной работы, подтверждено обширным статистическим материалом серийного производства.

Таким образом, можно констатировать, что структура диссертации и методика ее выполнения решены автором верно, цели и задачи исследования досконально раскрыты и полностью достигнуты. Полученные результаты позволяют характеризовать оппонируемую работу как завершённую. В целом диссертационная работа написана технически грамотным языком и серьезных замечаний к ее оформлению не имеется. Выводы и суждения достаточно обоснованы.

#### **4. Научная новизна и новые результаты**

В диссертационной работе Е.В. Кудашова получен ряд новых научных результатов. Разработан метод снижения дисбаланса РК ГТД, отличающийся модифицированной последовательностью балансировки изделий, учётом

неравномерности газодинамических сил в компрессорной решётке и геометрических отклонений профилей пера лопаток. Указанный метод включает разработанную методику создания параметрической модели для оценки дисбаланса РК, учитывающий натяг по антивибрационным полкам, величины отклонений расположения профилей пера лопаток и действующие нагрузки при работе изделия. В методе также используются впервые сформированные регрессионные зависимости для расчёта газовых сил от отклонений расположения профилей пера лопаток, нагрузок и сборочных параметров с целью дальнейшего определения дисбаланса. Автором впервые получены зависимости дисбаланса РК, вызванного неуравновешенной газовой силой, от режима работы изделия, натяга по антивибрационным полкам, величин отклонений расположения профилей пера лопаток и действующих нагрузок, включая центробежные силы, температуру и давление газового потока.

#### **5. Обоснованность и достоверность основных результатов исследований**

Соискатель в диссертационной работе в качестве основной цели выбрал снижение дисбаланса РК ГТД посредством совместного учёта неравномерности газовых сил в компрессорной решётке и геометрических отклонений профилей пера лопаток.

Выдвинутые автором диссертации научные положения базируются на обоснованных допущениях в математических моделях; применении известных и проверенных численных методов, обладающих высокой точностью, при проведении вычислительных экспериментов; использованием в процессе исследований поверенного метрологического оборудования и сертифицированного программного обеспечения; высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

В диссертационной работе приводится достаточное количество иллюстраций, и графиков, которые усиливают доказательную базу достоверности и новизны исследований.

## **6. Апробация работы.**

По материалам диссертации опубликованы 13 работ, из которых 3 статьи опубликованы в научных изданиях из Перечня ВАК России, 6 статей - в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Результаты исследований были доложены на научных конференциях разного уровня, в том числе и международных. В связи с изложенным считаю, что диссертация Е.В. Кудашова апробирована в необходимой и достаточной степени.

## **7. Замечания по содержанию и оформлению работы**

1. В введении не проведён анализ работ по балансировке роторов лопаточных машин в вакуумном балансировочном стенде М.Е. Левита (МАИ) и не рассмотрены результаты работы М.А. Караблина в области аэродинамического дисбаланса.

2. Во второй главе не исследовано влияние элементарных погрешностей изготовления и сборки РК, но не приведено влияние суммарной погрешности.

3. В работе рассматривается влияние расположения сечений пера лопатки от номинально заданного положения на дисбаланс РК, вызванного неуравновешенной газовой силой. Производство лопаток также сопряжено с отклонением самого профиля, было бы полезным рассмотреть влияние его исследуемый на дисбаланс РК.

4. В пункте 3.2 не описывается процесс расчёта и создания лопатки в модуле BladeGen для крыльчатки.

5. Погрешности расчётных и экспериментальных данных вычислялись арифметически, а следует их вычислять алгебраически т.к. дисбаланс векторная величина.

Вышеизложенные замечания не снижают значимости и положительной оценки диссертационного исследования, не оказывают влияния на ключевые научные и практические результаты, а также не касаются основных положений, представленных соискателем к защите.

## 8. Заключение по диссертации

Диссертация Е.В. Кудашова на соискание учёной степени кандидата технических наук «Метод снижения дисбаланса рабочих колёс ГТД с учётом геометрических отклонений профилей пера лопаток и неравномерности газовой силы» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение.

Диссертация по своему объёму, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, а его автор, Кудашов Евгений Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

### Официальный оппонент,

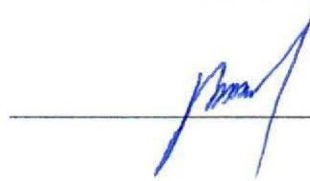
старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела кафедры 205  
«Технология производства двигателей летательных аппаратов»

ФГАОУ ВО Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)

по специальности 05.07.04, старший научный сотрудник

Контактный телефон +7 (499) 158-92-09, e-mail: [mai@mai.ru](mailto:mai@mai.ru)



В.М. Рыженков

Подпись В.М. Рыженкова заверяю:

Директор дирекции института №2  
«Авиационные, ракетные двигатели  
и энергетические установки», МАИ  
к.т.н., доцент



В.П. Монахова

5.05.2026