



Федеральное автономное учреждение

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННОГО МОТОРОСТРОЕНИЯ
имени П.И. Баранова**

Авиамоторная ул., д. 2, г. Москва, 111116

тел.: +7 499 763-6167, факс: +7 499 763-6110, info@ciam.ru, www.ciam.ru
ОГРН 1217700087285, ИНН 7722497881, КПП 772201001, ОКПО 47368486

02.09.2026 № 050/02-04-132

На № _____ от _____

О направлении отзыва на диссертацию

Председателю диссертационного совета
24.2.327.06
на базе «Московского авиационного
института (национального
исследовательского университета)» (МАИ)

Равиковичу Ю.А.

125993, Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, д.4

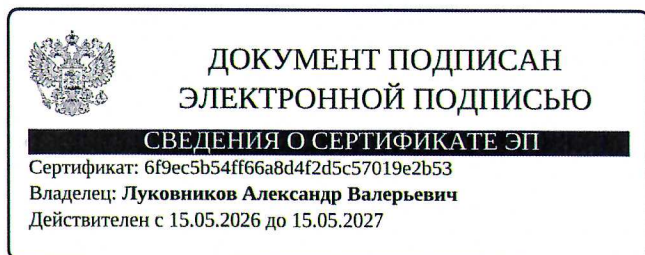
Уважаемый Юрий Александрович!

Направляем Вам отзыв к.ф.-м.н. Милешина Виктора Ивановича начальника отделения «Аэродинамика лопаточных машин воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных установок» на диссертационную работу Шевякова Артёма Олеговича на тему: «Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учетом производственных отклонений», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Приложение: отзыв на 6 листах (2 экз.)

С уважением,

Заместитель генерального
директора по науке



В. Луковников

Исп. Фомичева Галина Николаевна
Тел.8(495)361-66-96

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«03 09 2026»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, начальника отделения
«Аэродинамика лопаточных машин воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных
установок» ФАУ «ЦИАМ им. П.И.Баранова»
Милешина Виктора Ивановича

на диссертационную работу Шевякова Артёма Олеговича на тему:
«Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного
двигателя с учетом производственных отклонений», представленную к защите на
соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности
2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

В условиях современных вызовов, связанных с необходимостью обеспечения технологической независимости российского авиадвигателестроения и реализацией программ импортозамещения, вопросы повышения эффективности и надежности газотурбинных двигателей (ГТД) приобретают особую значимость. Одним из ключевых элементов, определяющих эксплуатационные характеристики двигателя, является вентиляторная ступень компрессора низкого давления, а именно – рабочие лопатки вентилятора, геометрия которых существенно влияет на аэродинамическую эффективность, прочность и ресурс изделия.

Традиционные методы проектирования лопаточных аппаратов, как правило, ориентированы на номинальную («идеальную») геометрию и не учитывают реальный технологический разброс параметров, неизбежно возникающий при серийном производстве. Игнорирование производственных отклонений приводит к снижению достоверности прогнозирования характеристик двигателя, уменьшению запасов газодинамической устойчивости и, как следствие, к рискам досрочного выхода из строя лопаток в эксплуатации.

В связи с этим тема диссертационной работы Шевякова А.О., посвященная разработке комплексной методики многодисциплинарного анализа чувствительности рабочих лопаток вентилятора к производственным отклонениям и созданию на этой основе инструментов параметрического моделирования и оптимизации, является безусловно **актуальной** и имеет важное научное и практическое значение для развития отечественного авиадвигателестроения.

Основным новым научным результатом выполненных в диссертации исследований является создание комплексной методологии, впервые устанавливающей количественные закономерности влияния реальной технологической дисперсии геометрических параметров на прочностные и аэродинамические характеристики высоконагруженной лопатки вентилятора. Основу методологии составляет многодисциплинарный анализ чувствительности, объединяющий параметрическое геометрическое моделирование, трехмерный конечно-элементный прочностной расчет и CFD-моделирование течения в единой сквозной схеме. Ключевым элементом новизны является разработанный программно-методический комплекс (модули «BladeToolMAI» в Siemens NX и «FindSweepLayers» в ANSYS ACT), который впервые обеспечивает замкнутый цифровой цикл «измерение – реконструкция «холодной» геометрии – прочностной расчет – реконструкция «горячей» геометрии – аэродинамический анализ», устраняя традиционный разрыв между прочностными и газодинамическими моделями.

На основе данной методологии впервые выполнена систематическая количественная оценка чувствительности ключевых интегральных показателей (расхода, степени повышения давления, КПД, тяги, напряжений и перемещений) к единичным и комбинированным предельным отклонениям профиля (максимальная толщина, угол установки, смещение центра тяжести, толщины у кромок). Установлены диапазоны линейного отклика и зоны существенной нелинейности, что позволило научно обосновать применение линеаризованных моделей для экспресс-оценки влияния допусков. Принципиально новым результатом является разработка двухканальной расчетной постановки, которая впервые показала, что порядок чередования лопаток с различными отклонениями в соседних каналах статистически значимо влияет на параметры ступени, что не выявляется в одноканальной модели. Это открывает возможность перехода от пассивного контроля допусков к активному управлению сборкой венца, позволяя целенаправленно стабилизировать или повышать характеристики вентилятора без дополнительных производственных затрат. Совокупность представленных результатов составляет новый системный подход к проектированию лопаточных аппаратов с учетом реальной производственной неопределенности.

Практическая ценность работы заключается в создании научно обоснованного инструментария, позволяющего перейти от пассивного контроля технологических допусков к активному управлению сборкой лопаточного венца. Разработанные количественные оценки чувствительности дают возможность целенаправленно компоновать лопатки с известными геометрическими отклонениями, обеспечивая стабилизацию или целенаправленное повышение выходных характеристик ступени без дополнительных производственных затрат. Кроме того, предложенные линеаризованные модели отклика и существенно сокращают трудоемкость многовариантных прочностных и газодинамических расчетов на ранних этапах проектирования, позволяя оперативно оценивать влияние технологического разброса на работоспособность конструкции.

Достоверность и практическая эффективность разработанной методологии подтверждены ее внедрением в производственный процесс ПАО «ОДК-Сатурн» при модернизации компрессора низкого давления двигателя для регионального самолета. Использование методики в реальной опытно-конструкторской работе доказало ее промышленную применимость, обеспечивая повышение точности прогнозирования эксплуатационных характеристик и сокращение сроков доводки изделия.

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обеспечивается комплексным подходом к верификации на всех этапах исследования. Экспериментальная база сформирована на основе прецизионных измерений, выполненных на координатно-измерительной машине COORD3 HERA NT с измерительной головкой Renishaw PH10M, что гарантирует высокую точность исходных геометрических данных. Расчетная часть исследования выполнена с применением сертифицированных программных комплексов ANSYS Workbench, ANSYS CFX и NUMECA Fine/Turbo, прошедших многолетнюю апробацию и верификацию на экспериментальных данных в авиадвигателестроительной отрасли. Корректность численных моделей подтверждена выполнением сходимости решений по сетке и по итерациям, использованием физически обоснованных моделей турбулентности и адекватных граничных условий. Дополнительным подтверждением достоверности служит удовлетворительное согласование рассчитанных интегральных характеристик компрессора низкого давления с данными ПАО «ОДК-Сатурн», что свидетельствует о корректности принятых допущений и адекватности моделей реальному рабочему процессу.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. По теме опубликовано 18 научных трудов, включая 5 статей в изданиях из перечня ВАК, 3 статьи в журналах, индексируемых Scopus, 1 статья в зарубежном издании, индексируемом в базе данных Web of Science, а также получено 2 свидетельства о

регистрации программ для ЭВМ. Основные положения и результаты исследования неоднократно докладывались на научно-технических конференциях и получили положительную оценку профессионального сообщества.

При высокой положительной оценке диссертационной работы считаю необходимым высказать следующие **замечания**:

1. В работе предложена и успешно апробирована методика перехода от полной модели компрессора низкого давления к изолированной модели ступени вентилятора с эквивалентными граничными условиями. Однако отсутствует количественная оценка погрешности такого упрощения в сравнении с полной моделью для всех рассмотренных режимов работы ($n=0,8$; $n=0,95$; $n=1,05$). Это позволило бы более строго обосновать границы применимости предлагаемого подхода.

2. Автором убедительно показано, что комбинированные предельные отклонения геометрии могут приводить к изменению тяги в диапазоне от $+0,67\%$ до $+3,24\%$. Вместе с тем в работе отсутствуют практические рекомендации по целенаправленному назначению технологических допусков на основе полученных коэффициентов чувствительности. Не указано, какие именно параметры и в каких сечениях следует ужесточить, а какие, напротив, могут быть расширены без существенного ухудшения характеристик, что снижает практическую ценность данного результата для технологии серийного производства.

3. В работе полностью отсутствует анализ влияния геометрических отклонений на запас газодинамической устойчивости вентиляторной ступени. Данный параметр является критическим с точки зрения эксплуатационной безопасности двигателя, особенно в условиях реального производственного разброса геометрии, когда локальные изменения проходных сечений и углов атаки могут привести к преждевременному срыву потока в отдельных лопатках и, как следствие, к возникновению помпажа. Представляется целесообразным в качестве продолжения исследования выполнить анализ влияния выявленных критичных комбинаций отклонений на положение границы помпажа, что позволило бы замкнуть задачу многодисциплинарной оптимизации с учетом всех ключевых критериев работоспособности ступени.

4. Аэродинамические расчёты с единичными геометрическими отклонениями выполнены в постановке с 1 межлопаточным каналом. Выполнено 37 газодинамических расчётов геометрий. Рассмотрены варианты с 2 лопатками, но не с полным венцом 360 градусов. Сетка составила всего 2.2 млн, что по современным меркам мало.

5. В отдельный ключевой параметр выведена тяга. Не представлен способ определения тяги вентилятора, ведь тяга определяется у двигателя с учётом сопла, G_v , $P_i^* v$.

6. Если программный комплекс реализован в CAD-системе Simens NX на основе

координатно-измерительных механизмов, тогда и оценки коэффициентов влияния на аэродинамические параметры следовало бы выполнить в единой среде, т.е. в пакете «Star CCM».

7. Отсутствуют оценки изменения радиальных зазоров между лопаткой и наружным корпусом от частоты вращения $\bar{n}=0.80, 0.95, 1.05$ и при деформации лопаток в горячем состоянии.

8. Периодически используемый в тексте термин «бустер», является жаргонным иностранным словом, правильное будет «вспомогательный подпорный компрессор».

9. Втулка и периферия местами в тексте называются цилиндрами, но это криволинейные конические поверхности вращения.

10. На стр. 127 диссертации в таблице 5.5, отсутствуют данные (не заполнены) величины параметров π^*_B , $G_{B\text{ пр.}}$, $\eta^*_{\text{ад. в}}$ внешнего контура на линии рабочих режимов $\bar{n}=1.05$, а также запасы газодинамической устойчивости ΔK_u внешнего контура на этом режиме.

В качестве **рекомендаций** на дальнейшую работу можно пожелать исследовать:

1. Влияние погрешности изготовления лопаток не на компоненты линейного максимального перемещения, а на изменение рабочего радиального зазора над лопатками и углов раскрутки сечений лопатки.

2. Влияние погрешности изготовления лопаток не на напряжения, а на изменение запасов статической прочности лопаток.

3. Влияние погрешности изготовления на конструктивные углы на входе и в конечном итоге на изменение углов атаки потока в периферийной части лопатки.

Несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Шевякова Артёма Олеговича является завершённым, самостоятельно выполненным научным исследованием, имеющим важное значение для развития теории и практики проектирования ГТД. В работе содержится решение актуальной научно-технической задачи – повышения эксплуатационной эффективности и конструктивной надёжности рабочих лопаток вентиляторных ступеней за счёт учёта производственных отклонений на основе многодисциплинарного анализа чувствительности.

Работа отвечает всем требованиям, установленным п. 9-14 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Шевяков Артём Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной

специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Начальник отделения

«Аэродинамика лопаточных машин
воздушно-реактивных двигателей и
газотурбинных установок»

ФАУ «ЦИАМ им. П.И.Баранова»

кандидат физико-математических наук

Милешин Виктор Иванович

« 2 » 09 2026 года

Личную подпись к.ф.-м.н, начальника отделения «Аэродинамика лопаточных машин воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных установок» ФАУ «ЦИАМ им. П.И.Баранова» Милешина Виктора Ивановича удостоверяю.

Заместитель генерального директора по
науке ФАУ «ЦИАМ им. П.И.Баранова»



Луковников Александр Валерьевич

« 2 » 09 2026 года

111116, г. Москва, Авиамоторная ул., д.2

Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Тел. +7(495)361-66-96

e-mail: mileschin@ciam.ru

Сотзвон с замкоманд
03.09.2026г.