

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.06

Соискатель: Шевяков Артём Олегович

Тема диссертации: Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учетом производственных отклонений

Специальность: 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 22 сентября 2026 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Шевякову Артёму Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председательствующий на заседании диссертационного совета Хартов С.А., ученый секретарь диссертационного совета Краев В.М., члены диссертационного совета:

Равикович Ю.А., Абашев В.М., Иванов А.В., Кочетков Ю.М., Марчуков Е.Ю., Молчанов А.М., Надирадзе А.Б., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Силуянова М.В., Шмотин Ю.Н.

Проректор по научной работе МАИ

д.т.н., доцент



А.В.Иванов

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.327.06,

д.т.н., доцент

В.М.Краев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ
ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22 сентября 2026 г., протокол № 148

О присуждении Шевякову Артёму Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему: «Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учетом производственных отклонений» по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите 14.07.2026 года (протокол заседания №141) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Министерства науки и высшего образования РФ о создании диссертационного совета – № 669/нк от 24.06.2022 года.

Соискатель Шевяков Артём Олегович, 05 июня 1995 года рождения.

В 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» с присвоением квалификации «бакалавр» по специальности 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» (диплом об образовании № 107704 0121760, регистрационный номер ТЦ/204 от 30 июня 2017 года).

В 2019 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» с присвоением квалификации «магистр» по специальности 13.04.03 «Энергетическое машиностроение» (диплом об образовании с отличием № 107704 0164795, регистрационный номер 2054 от 01 июля 2019 года).

В период с 2019 по 2020 год проходил срочную военную службу в рядах Вооруженных Сил Российской Федерации. Службу нес в 3-й научной роте Космических войск Воздушно-космических сил, где получил воинское звание ефрейтор.

В период с 2020 по 2022 год работал инженером в научно-исследовательском отделе кафедры 203 «Конструкция и проектирование двигателей» Института № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)».

В период с 2022 по 2026 год обучался в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (свидетельство об окончании аспирантуры № 107704 0002998, регистрационный номер 2026/СА-019 от 31 августа 2026 года).

В настоящее время работает в должности инженера 2 категории научно-исследовательского отдела кафедры 203 «Конструкция и проектирование двигателей» Института № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)».

Диссертация выполнена в период освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Равикович Юрий Александрович, заведующий кафедрой 203 «Конструкция и проектирование двигателей» Института №2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Колотников Михаил Ефимович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник НИИ Механики МГУ имени М.В. Ломоносова;

2. Милешин Виктор Иванович, кандидат физико-математических наук, начальник отделения «Аэродинамика лопаточных машин воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных установок» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева», в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором, профессором кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Новиковым Д.К., и доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Фалалеевым С.В., и утвержденным кандидатом юридических наук, доцентом, первым проректором – проректором по науке Розенцвайг А.И., указала, что диссертационная работа Шевякова Артёма Олеговича на тему: «Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учетом производственных отклонений», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, 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 критериям, 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 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.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 5 статей в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки России (по специальности 2.5.15.) и приравненных к ним, 7 тезисов докладов на научных конференциях, получены 2 свидетельства регистрации программ для ЭВМ (RU 2018665345, RU 2019666141). В опубликованных работах раскрываются основные научные результаты проведенного исследования, связанные с оценкой эффективности внедрения критических и сквозных технологий на отечественных высокотехнологичных предприятиях.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Автоматизированное построение параметрической модели рабочей лопатки вентилятора / Архипов А.Н., Кретинин Г.В., Равикович Ю.А., Холобцев Д.П., Шевяков А.О. // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2019. – Т. 23, № 4(86). – С. 65-73. – EDN UFWDYV.

Журнал: Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета (ВАК, 2.5.15.).

Личный вклад Шевякова А.О. состоит в обосновании выбора ключевых геометрических параметров, определяющих форму пера и замка лопатки, а также в программной реализации импорта измерительных данных для построения параметрических моделей.

2. Автоматизированное построение модели рабочей лопатки вентилятора по данным измерений профиля в CAD-системе / Архипов А.Н., Бугряшова Е.В., Равикович Ю.А., Савин Р.А., Терентьев В.В., Шевяков А.О. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – Т. 17, № 4. – С. 7-17. – DOI 10.18287/2541-7533-2018-17-4-7-17. – EDN YQOAPB.

Журнал: Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение (ВАК, 2.5.15.).

Личный вклад Шевякова А.О. состоит в разработке алгоритма автоматизированной обработки данных контрольно-измерительной машины и программной реализации их импорта в среду Siemens NX. На основе полученных данных выполнено построение трехмерной твердотельной модели рабочей лопатки вентилятора с последующей верификацией ее геометрии.

3. Verification of the Functional Relation between Manufacturing Deviations of Blade Airfoil Geometry and Fan Stage Efficiency Indicators / Arkhipov A.N., Ravikovich Yu.A., Kholobtsev D.P., Shevyakov A.O. // Russian Aeronautics. – 2024. – Vol. 67, No. 3. – P. 584-593. – DOI 10.3103/S1068799824030139. – EDN FVGOFW.

Журнал: Russian Aeronautics (Scopus, Q4).

Личный вклад Шевякова А.О. заключается в выполнении многовариантных прочностных и аэродинамических расчетов в программных комплексах ANSYS Workbench и NUMECA Fine/Turbo для семейства параметрических моделей лопаток с учетом производственных отклонений, а также в обработке полученных массивов данных для

установления количественной связи между геометрическими погрешностями и показателями эффективности ступени.

4. Integration of the Results of the Control and Measurement of Blade Airfoil into the Computational Study of the Fan Stage Workflow / Arkhipov A.N., Ravikovich Yu.A., Kholobtsev D.P., Shevyakov A.O. // Russian Aeronautics. – 2024. – Vol. 67, No. 4. – P. 828-836. – DOI 10.3103/S106879982404010X. – EDN WCWFGF.

Журнал: Russian Aeronautics (Scopus, Q4).

Личный вклад Шевякова А.О. заключается в разработке методики интеграции результатов координатных измерений геометрии лопаток в расчетные исследования рабочего процесса вентиляторной ступени. Автором реализованы алгоритмы обработки и конвертации измерительных данных для построения параметрических трехмерных моделей «холодной» и «горячей» геометрии лопаток, а также выполнено численное моделирование их напряженно-деформированного состояния и аэродинамических характеристик.

5. Improving the Accuracy of Numerical Simulation of the Fan Stage Taking into Account the Production Deviations of Blades / Arkhipov A.N., Ravikovich Yu.A., Kholobtsev D.P., Shevyakov A.O. // Russian Aeronautics. – 2023. – Vol. 66, No. 3. – P. 520-527. – DOI 10.3103/s1068799823030133. – EDN VDHIJZ.

Журнал: Russian Aeronautics (Scopus, Q4).

Личный вклад Шевякова А.О. заключается в выполнении многовариантных аэродинамических расчетов вентиляторной ступени в программном комплексе NUMECA Fine/Turbo для семейства конфигураций рабочих лопаток с варьируемыми производственными отклонениями. На основе полученных результатов проведена количественная оценка влияния геометрических погрешностей на ключевые аэродинамические характеристики: массовый расход, степень повышения давления и КПД.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента – Колотникова Михаила Ефимовича, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника НИИ Механики МГУ имени М.В. Ломоносова, содержит следующие замечания:

1. По структуре изложения необходимо отметить, что цель и задачи исследования, сформулированы во Введении, хотя они должны быть следствием проведенного анализа состояния вопроса и научных публикаций по теме диссертации. Сформулированная цель исследования: «Разработка и исследование методики оценки аэродинамических характеристик вентилятора с учётом геометрических отклонений пера лопаток,

обусловленных технологической дисперсией при изготовлении.....» не в полной мере отвечает названию диссертации «Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учётом производственных отклонений».

2. В изложении работы неоднократно встречается неправильное использование научной и технической терминологии. В частности, используются термины: «Технологическая дисперсия», «Производственная дисперсия», «Прочностные характеристики..» - вместо «Дисперсия геометрических параметров лопатки, обусловленная особенностями технологического или производственного процесса изготовления», «характеристики прочности».

3. Раздел 2.4 посвящён исследованию корреляционной связи между геометрическими отклонениями профильной части лопаток от проектных значений, выявленные при выполнении их измерений на контрольно-измерительной машине двух выборок окончательно готовых лопаток. Из рассмотрения приведенных результатов исследований следует, что статистически значимой линейной связи между анализируемыми геометрическими параметрами сечений профиля не наблюдается. Вычисленные коэффициенты корреляции Пирсона, определяющие наличие такой связи между параметрами от сечения к сечению, может даже менять знак, а абсолютные значения, в основном, не превышают значения 0.7. Где и как далее используются в диссертации вычисленные коэффициенты корреляции между отклонениями геометрических параметров профильных частей лопаток остается не вполне понятным.

4. В 5 столбце таблицы 5.11, по-видимому, приведены значения тяги вентилятора для «крейсерского режима» полета летательного аппарата, а во 2 столбце этой же таблицы приведены значения расхода воздуха через вентилятор или двигатель в целом, по-видимому, для максимального «взлётного режима» летательного аппарата. В связи с этим оценки степени влияния отклонений по предельным комбинациям двухканальных моделей типа «Модель 3 – Модель 4» и «Модель 4 – Модель 3» могут содержать количественные неточности.

Отзыв на диссертацию официального оппонента – Милешина Виктора Ивановича, кандидата физико-математических наук, начальника отделения «Аэродинамика лопаточных машин воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных установок» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», содержит 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 критических 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 Siemens 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, правильнее 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_v^* , $G_{в пр.}$, $\eta_{ад.в}^*$ внешнего контура на линии рабочих режимов $\bar{n}=1.05$, а также запасы газодинамической устойчивости ΔK_v внешнего контура на этом режиме.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева», содержит следующие замечания:

1. В представленных в диссертационной работе материалах недостаточно подробно рассмотрен вопрос влияния производственных отклонений на долговечность и усталостную прочность рабочих лопаток (в частности, влияние отклонений на циклическую долговечность в условиях переменных нагрузок). Основное внимание уделено статической прочности и аэродинамике, что, однако, не снижает ценности работы.

2. В автореферате не приведены конкретные числовые значения коэффициентов чувствительности для всех исследуемых параметров (в таблицах указаны процентные изменения, но отсутствуют абсолютные значения), что затрудняет оценку масштаба влияния отклонений без обращения к полному тексту диссертации.

3. В работе отсутствует прямое сравнение предложенных линеаризованных моделей чувствительности с результатами полномасштабных нелинейных расчетов для комбинированных отклонений, что позволило бы более наглядно продемонстрировать границы применимости линеаризованного подхода.

4. Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Отзыв на автореферат диссертации от ООО «НПО «Двигатель», подготовленный техническим директором, кандидатом технических наук И.А. Заранкевичем, содержит следующие замечания:

1. В работе выполнен детальный анализ влияния единичных и комбинированных отклонений геометрии, однако вопрос о совместном влиянии температурных деформаций и производственных отклонений на аэродинамику («горячая» геометрия с технологическим разбросом) рассмотрен недостаточно полно. Хотя «горячие» модели построены на основе статических прочностных расчетов, влияние температурных полей на формирование деформаций для каждого из 37 вариантов геометрии не анализировалось отдельно.

2. В выводах обоснована возможность применения линеаризованных моделей для экспресс-оценки. Однако для параметров, демонстрирующих нелинейное поведение (угол

установки, максимальная толщина профиля), в работе не приведены конкретные рекомендации по величине шага дискретизации факторного пространства, при котором линейная аппроксимация сохраняет приемлемую точность.

3. В тексте диссертации присутствуют отдельные опечатки и стилистические неточности (например, дублирование аббревиатуры ГДУ в списке сокращений), однако они не снижают научной и практической ценности работы.

Отзыв на автореферат диссертации от ПАО НПО «Наука», подготовленный главным конструктором, кандидатом технических наук И.В. Тищенко, содержит следующие замечания:

1. В работе подробно и качественно исследованы статические прочностные характеристики (напряженно-деформированное состояние) и аэродинамические параметры. Однако влияние технологических отклонений геометрии лопатки на динамику рабочего колеса не рассматривается. Учитывая, что производственный разброс формы может существенно изменить собственные частоты и формы колебаний лопаток, что критично для ресурса, отсутствие динамического анализа является значительным пробелом.

2. При формировании базы параметрических моделей (37 конфигураций) отклонения по каждому параметру задавались независимо (min/max). В реальном производстве между различными геометрическими параметрами существуют корреляционные связи, обусловленные особенностями технологического процесса (например, одновременное смещение нескольких сечений при износе инструмента). Учет этих корреляций мог бы повысить точность прогнозирования реального разброса характеристик.

3. Ограничения по диапазону исследований. Исследование выполнено для конкретного типоразмера вентилятора и для фиксированной рабочей точки. Не вполне ясно, насколько полученные коэффициенты чувствительности, сделанные выводы о линеаризации справедливы для других режимов работы двигателя (взлетный, крейсерский) или для РЛВ иной размерности.

Отзыв на автореферат диссертации от АО «ОКБ» «Кристалл», подготовленный заместителем главного конструктора по агрегатам топливных систем, кандидатом технических наук Е.А. Истоминым, содержит следующие замечания:

К числу замечаний по работе можно отнести целесообразность расширения области применения разработанной методики на другие элементы проточной части газотурбинных двигателей (например, лопатки компрессора высокого давления или турбины), испытывающие аналогичные динамические и аэродинамические нагрузки и подверженные

технологической дисперсии при изготовлении. Также представляется интересным обсуждение возможности учета дополнительных факторов неопределенности, таких как разброс механических свойств материалов или вариации условий эксплуатации, в рамках предлагаемого подхода.

Отзыв на автореферат диссертации от АО «НПП» «Аэросила», подготовленный начальником расчетно-конструкторского отдела С.В. Анфимовым, содержит следующие замечания:

1. В работе подробно и корректно рассмотрено влияние отклонений массы и центра тяжести (T_x, T_y) на статическую прочность и аэродинамику. Однако изменение массово-инерционных характеристик лопаток неизбежно приводит к разбросу их собственных частот. Это обстоятельство напрямую влияет на запасы по флаттеру и резонансным вибрациям в составе полного венца, однако данный аспект в диссертации не затрагивается. Расширение разработанной методики на динамический анализ является необходимым условием для ее полноценного внедрения в практику проектирования.

2. В автореферате используется термин «адаптивная сборка». С точки зрения производственной технологии и устоявшейся инженерной терминологии более корректным и общепринятым является термин «селективная сборка» (или групповая селективная сборка).

3. Исследование базируется на анализе «холодной» и «горячей» геометрии новой лопатки. Однако в процессе реальной эксплуатации неизбежно происходит эрозия входной кромки, налипание и абляционный унос защитных покрытий. Поведение разработанных линеаризованных моделей чувствительности при наложении производственного технологического разброса на эксплуатационную деградацию профиля в работе не рассматривается, что ограничивает применимость методики для оценки двигателей в течение всего назначенного ресурса.

Отзыв на автореферат диссертации от УУНиТ (ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологии), подготовленный профессором кафедры «Авиационные двигатели УУНиТ», доктором технических наук, профессором И.А. Кривошеевым, содержит следующие замечания:

1. В работе представлено доминирование периферийных сечений по тяге, однако акустический аспект остался за рамками рассмотрения. Именно концевые сечения и связанное с ними вихревое и потенциальное взаимодействие известны как основные источники тонального шума. Расширение методики на аэроакустические критерии видится естественным и перспективным направлением развития исследования.

2. Применимость линеаризованных моделей отклика убедительно обоснована автором в пределах поля допусков. Однако характер нелинейного отклика системы за его границами, анализ которого критически важен для оценки вероятности экстремальных отклонений и прогнозирования характеристик лопаток после ремонта, остается за рамками исследования.

3. Эффект порядка установки лопаток продемонстрирован на паре соседних каналов. Распространение этого эффекта на полный венец оценивается через оптимизационную процедуру расстановки. Представляется желательным подтверждение коллективного эффекта многоканальным расчетом полного венца с различным порядком расстановки одного комплекта лопаток.

Отзыв на автореферат диссертации от «ОКБ им. А. Люльки» – филиала ПАО «ОДК-УМПО», подготовленный главным специалистом по перспективным разработкам, доктором технических наук, профессором Г.В. Кретиным, содержит следующие замечания:

1. В автореферате представлено влияние производственных отклонений на характеристики прочности (перемещения, напряжения) и интегральные аэродинамические параметры (расход, КПД). При этом оценка влияния выявленных критических комбинаций отклонений на запас газодинамической устойчивости вентиляторной ступени не приведена.

2. Автор обосновывает применимость линеаризованных моделей для экспресс-оценки аэродинамики. Однако в тексте автореферата отсутствует прямое количественное сравнение результатов, полученных по линеаризованным моделям, с результатами прямых нелинейных CFD-расчетов для комбинированных отклонений, что позволило бы наглядно показать границы применимости принятого допущения.

3. В автореферате упоминается возможность «адаптивной» сборки вентиляторной ступени с учетом производственных отклонений отдельных лопаток, но не приводятся конкретных методических рекомендаций по реализации такой сборки.

Отзыв на автореферат диссертации от ПНИПУ (ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»), подготовленный профессором кафедры авиационных двигателей, доктором технических наук М.Ш. Нихамкиным, содержит следующие замечания:

1. В названии диссертации заявлена оптимизация рабочих лопаток вентилятора, однако задача оптимизации не ставится и не решается. Не формулируется целевая функция, ограничения и т.д. Автор ограничивается определением коэффициентов чувствительности некоторых прочностных и аэродинамических характеристик к производственным отклонениям геометрии лопаток.

2. Из автореферата неясна постановка задачи прочностного анализа: геометрия, материал, граничные условия по нагрузкам и тепловому состоянию, параметры конечно-элементной сетки. Неясно даже идет ли речь о полый или сплошной лопатке, металлической или композитной.

3. В качестве параметров, характеризующих прочность лопатки, выбраны перемещения и «напряжения в пере и зонах скруглений». Неясно о каких перемещениях и компонентах тензора напряжений идет речь, в каких точках, на каких режимах работы двигателя.

4. Автор не формулирует общность, границы применимости полученных данных о полученных коэффициентах чувствительности. Они, по-видимому, относятся к конкретной лопатке. Неясно в какой степени эти результаты применимы к лопаткам других двигателей, другой геометрии и т.д.

Отзыв на автореферат диссертации от АО «ОДК-АВИАДВИГАТЕЛЬ», подготовленный заместителем начальника отделения компрессоров по расчетно-экспериментальным работам, кандидатом технических наук И.Р. Каминским, содержит следующие замечания:

К недостаткам работы, которые не снижают общей ценности, стоит отнести слишком широкий рассмотренный разброс по геометрическим отклонениям, что не встречается в установившемся серийном производстве авиационных двигателей.

Отзыв на автореферат диссертации от Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, подготовленный заведующим кафедрой реактивных двигателей и энергетических установок, кандидатом технических наук, доцентом А.А. Лопатиным, содержит следующие замечания:

1. Статистическая представительность выборки. В работе упоминается использование данных серийного производства для установления законов распределения геометрических параметров. Однако в автореферате не указан объем выборки (количество измеренных лопаток). Для достоверного подтверждения вида законов распределения и корреляционных связей между параметрами объем выборки должен быть статистически значимым.

2. Многокритериальность при адаптивной сборке. Предложенный алгоритм адаптивной сборки венца оптимизирует расположение лопаток преимущественно по аэродинамическому критерию (максимизация тяги). В реальной производственной практике сборка ротора жестко лимитирована допусками на статический и динамический дисбаланс. Существует риск, что аэродинамически оптимальная расстановка потребует

значительной коррекции масс (например, снятия металла с замковых частей или установки балансировочных пластин), что может нивелировать полученный газодинамический выигрыш.

3. Применимость моделей к эксплуатационной деградации. Разработанные линеаризованные модели чувствительности валидированы для производственных отклонений новых лопаток. В процессе эксплуатации к производственному разбросу добавляется деградация профиля. Поведение линеаризованных моделей при суперпозиции производственных допусков и эксплуатационных дефектов в работе не исследовано, что ограничивает область применения методики рамками только нового производства, исключая задачи продления ресурса и ремонта.

Отзыв на автореферат диссертации от АО «ОДК-Климов», подготовленный заместителем главного конструктора по перспективным разработкам-начальником отдела, кандидатом технических наук А.В. Липиным и начальником отдела Н.Д. Дягтеревым, содержит следующие замечания:

1. Не показана деформация напорных характеристик рабочего колеса при реализованных максимальных отклонениях профилей лопаток относительно теоретического положения.

2. Не показана структура разработанной базы профилей и не описан способ ее параметризации.

3. Никак не отражено возможное использование машинного обучения с учетом имеющейся базы профилей для выявления скрытых связей между геометрией и характеристиками лопаток.

Отзыв на автореферат диссертации от филиала АО «ОДК» «ОДК-Салют», подготовленный начальником конструкторского бюро КО общедвигательных расчетов и цифрового проектирования Опытного конструкторского бюро, кандидатом технических наук В.В. Григоровским, содержит следующие замечания:

1. В содержании автореферата не указан тип исследуемого ГТД, в связи с чем результаты оценки влияния технологического разброса геометрии РЛ вентилятора на их аэродинамические характеристики носят неоднозначный характер, например, стр. 14 п. 4 действителен только для двигателей с высокой степенью двухконтурности.

2. В пятой главе (стр. 12) автор указывает что тяга двигателя – это одна из ключевых интегральных характеристик ступени вентилятора КНД, что является неточностью, тяга двигателя создаётся соплом ГТД и никак не является прямой характеристикой вентилятора.

Отзыв на автореферат диссертации от Федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», подготовленный начальником НИО-1, кандидатом технических наук, доцентом А.В. Лысенковым, содержит следующие замечания:

1. В названии диссертации указано, что работа посвящена многодисциплинарной оптимизации РЛВ ГТД. Однако, в целях работы и тексте автореферата описывается только многодисциплинарный анализ. Из текста автореферата не ясно, как автор использует разработанные методики для решения задачи многодисциплинарной оптимизации.

2. В общей характеристике работы указано, что для используемых расчетных методов проведены процедуры верификации и сопоставления с экспериментальными данными. Указанные результаты отсутствуют в тексте автореферата. Следовало указать точность используемых расчетных методов и как эта точность соотносится с получаемыми отклонениями 1-2% по аэродинамическим характеристикам вентиляторной ступени компрессора низкого давления.

3. В пятой главе диссертации приводятся данные о влиянии геометрических факторов на аэродинамические характеристики вентиляторной ступени. Из текста автореферата не ясна постановка задачи определения указанных характеристик. Учитывались ли зазоры, моделировалась ли работа системы регулирования зазоров, учитывалось ли растяжение лопатки за счет центробежных сил и т.д. Учет этих факторов может сказаться на количественных результатах, полученных в работе.

4. В тексте автореферата отсутствует определение тяги вентиляторной ступени. Обычно этот термин применяется ко всему двигателю или к воздушным винтам. Вероятно, под тягой подразумевается интеграл сил давления и трения по поверхности лопаток ступени. Если в диссертационной работе использовалась новая терминология, то стоило ввести ее в текст автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией и широкой известностью в научном сообществе по вопросам диссертационного исследования, наличием научных трудов по направлению диссертации за последние пять лет, в том числе в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России, а также способностью объективно определить научную и практическую ценность диссертационной работы.

Выбор **Колотникова Михаила Ефимовича**, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника НИИ Механики МГУ имени М.В. Ломоносова, в качестве официального оппонента обосновывается его признанной научной компетенцией в области механики деформируемого твердого тела, динамики и прочности машин и двигателей летательных аппаратов. Его фундаментальные и прикладные исследования в области оценки напряженно-деформированного состояния и работоспособности конструкций напрямую соответствуют задачам диссертации, посвященной учету производственных отклонений при оптимизации лопаток. Значительный опыт работы в НИИ Механики МГУ подтверждает его способность дать глубокую оценку теоретической и практической составляющих работы.

Выбор **Милешина Виктора Ивановича**, кандидата физико-математических наук, начальника отделения «Аэродинамика лопаточных машин воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных установок» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», обосновывается его высокой научно-технической компетенцией в области газовой динамики, аэродинамики лопаточных машин и проектирования газотурбинных двигателей. Компетентность В.И. Милешина обусловлена его руководством отраслевыми исследованиями в ЦИАМ, а также значительным опытом в области комплексного моделирования и доводки проточных частей газотурбинных двигателей. Его участие в качестве оппонента гарантирует всестороннюю экспертизу аэродинамической эффективности и работоспособности оптимизированных рабочих лопаток вентилятора.

Выбор ведущей организации – **ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»** обусловлен тем, что данный университет является одним из ведущих научно-образовательных центров России в области авиационно-космической техники и двигателестроения. Направления научной деятельности организации напрямую соответствуют тематике диссертационного исследования. Высокий экспертный потенциал университета подтверждается составом подписантов положительного отзыва: доктора технических наук, профессора Д.К. Новикова и доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов С.В. Фалалеева, обладающих многолетним опытом в области конструирования и проектирования авиационных двигателей. Научная школа университета, охватывающая компетенции по направлению «Двигатели и энергоустановки, динамика и прочность машин», позволяет обеспечить

всесторонний и высококвалифицированный анализ работы, оценить актуальность, научную новизну и практическую значимость результатов диссертации, а также сформировать рекомендации по практическому использованию результатов междисциплинарной оптимизации на предприятиях отрасли, занимающихся разработкой авиационных газотурбинных двигателей.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана методика междисциплинарного анализа чувствительности рабочих лопаток вентилятора авиационных газотурбинных двигателей к производственным отклонениям, функционирующей на основе интеграции данных прецизионных измерений, конечно-элементного и трехмерного газодинамического моделирования в единый замкнутый цифровой цикл.

- впервые предложена иерархическая система ранжирования геометрических параметров профиля, позволяющая одновременно оценивать их влияние на напряженно-деформированное состояние и аэродинамическую эффективность ступени. Ключевым элементом научной идеи является переход от пассивного контроля допусков к активному управлению эффективностью за счет выявления критических параметров и оптимизации взаимного расположения лопаток в венце;

- предложен методический подход, представляющий собой комплексную систему геометрической параметризации рабочих лопаток вентилятора в «холодном» и «горячем» состояниях, базирующуюся на автоматизированной реконструкции твердотельных моделей по данным координатно-измерительных машин с учетом центробежных и температурных эксплуатационных деформаций;

- доказана перспективность применения разработанной методики за счет ее экспериментальной и производственной верификации на предприятии ПАО «ОДК-Сатурн», где был использован предложенный подход при проектировании двигателей SaM-146 и ПД-8 (Акт б/н от 17 июля 2026 года).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- разработана междисциплинарная система проектирования проточной части газотурбинного двигателя, интегрирующая прочностной расчет и аэродинамический анализ. В отличие от традиционных методик, ориентированных на номинальную (конструкторскую) геометрию лопаток, предложенный подход обеспечивает комплексную

оценку работоспособности вентилятора с учетом реальных производственных отклонений, что позволяет преодолеть ограничения существующих подходов;

- на основе массива реальных измерений серийных партий лопаток установлены законы распределения и корреляционные связи геометрических параметров, что обеспечивает переход от детерминированного описания геометрии к вероятностным моделям, учитывающим реальные производственные отклонения;

- установлена иерархическая структура и ранжированный перечень ключевых геометрических параметров (смещений центра тяжести, угла установки, толщины профиля и кромок), оказывающих определяющее влияние на напряженно-деформированное состояние и аэродинамику, что позволяет управлять приоритетами при назначении допусков и отработке технологии производства;

- представлена возможность линеаризации зависимостей интегральных аэродинамических характеристик вентиляторной ступени от геометрических отклонений пера лопаток в пределах производственных допусков, что формирует теоретическую базу для создания ускоренных алгоритмов вероятностного анализа разброса характеристик серийных газотурбинных двигателей;

- выполнена количественная оценка эффекта межлопаточного взаимодействия в условиях нарушенной периодичности геометрии, выявленный с применением двухканальной постановки задачи, который не фиксируется классическими одноканальными подходами с идеализированными периодическими граничными условиями;

- создана система инженерных рекомендаций по внедрению методики в практику проектирования и производства лопаточных машин повышенной сложности, являющаяся следствием работы разработанного вычислительного аппарата.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- теоретической и методологической основой исследования послужили фундаментальные положения механики деформируемого твердого тела, газовой динамики лопаточных машин и математической статистики. Результаты базируются на трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области авиационного двигателестроения, что обеспечивает научную обоснованность выбранных физических моделей и подходов к параметризации сложных пространственных форм;

- достоверность статистических моделей и выявленных закономерностей чувствительности подтверждена обработкой массивов реальных производственных данных. В работе использована выборка, включающая результаты прецизионных

контрольно-измерительных мероприятий на координатно-измерительной машине для 1752 серийных рабочих лопаток вентилятора. Применение методов корреляционного анализа и оценки законов распределения позволило объективно идентифицировать ключевые геометрические параметры, исключая влияние случайных погрешностей и технологической отбраковки;

– практическая достоверность и работоспособность предложенной методики подтверждена результатами ее внедрения в инженерную практику ПАО «ОДК-Сатурн».

Личный вклад соискателя заключается в:

– обосновании актуальности и выборе объекта исследования, формулировании цели и задач, формировании методологической базы и разработке концептуального подхода к анализу чувствительности лопаточных машин;

– проведении системного анализа современных подходов к проектированию и оптимизации геометрии рабочих лопаток вентилятора с учетом требований к энергоэффективности, надежности и устойчивости к технологическим неопределенностям;

– разработке интегрированной модели многодисциплинарного анализа чувствительности, объединяющей аэродинамическое и прочностное моделирование, параметрический анализ и статистическое описание производственных отклонений; в личном выполнении численных исследований, реализации алгоритмов и расчетных процедур анализа чувствительности с применением современных программных комплексов;

– разработке и обосновании практических рекомендаций по внедрению предложенной методики в инженерную практику проектирования и производства лопаточных аппаратов повышенной сложности;

– личном участии в обсуждении и апробации полученных результатов на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые ставили бы под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

На заседании 22 сентября 2026 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи разработки комплексной методики многодисциплинарного анализа чувствительности показателей напряженно-деформированного состояния и аэродинамических характеристик вентиляторной ступени к геометрическим отклонениям

пера лопаток, основанной на интеграции данных прецизионных измерений, прочностного и газодинамического моделирования в единый замкнутый цифровой цикл, имеющей важное значение для предприятий авиационного двигателестроения при проектировании и производстве рабочих лопаток газотурбинных двигателей, позволяющей перейти от пассивного контроля допусков к управлению эффективностью за счет селективной сборки лопаточных венцов, присудить Шевякову Артёму Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Проректор по научной работе
д.т.н., доцент



А.В.Иванов

Председательствующий на заседании
диссертационного совета 24.2.327.06
д.т.н., профессор

С.А.Хартов

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.06
д.т.н., доцент

В.М.Краев

22 сентября 2026 года