

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Колотникова М.Е. на диссертацию Шевякова Артёма Олеговича «Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учётом производственных отклонений», представляемой к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые и электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Развитие современных газотурбинных авиационных двигателей идет в направлении улучшения термодинамических характеристик узлов двигателя. Для двухконтурных двигателей самолётов гражданской авиации одними из определяющих характеристик двигателя являются характеристики вентилятора, который обеспечивает создание до 90% тяги двигателя в целом при заданных расходе воздуха через двигатель и температуре газа перед турбиной. Борьба идёт за улучшение удельного расхода топлива и каждый килограмм тяги. Экстенсивный путь совершенствования этих параметров связан с увеличением температуры газа перед турбиной, увеличением степени сжатия в компрессоре и расхода воздуха. На этом пути возникают ограничения, вызванные возможностями созданных в настоящее время жаропрочных материалов для деталей горячей части двигателя, необходимостью увеличения расхода воздуха на вторичную систему охлаждения, повышения напорности компрессоров, за счёт либо увеличения числа ступеней, либо увеличения нагруженности ступеней, при которой возникают проблемы с обеспечением их устойчивости во всём диапазоне рабочих режимов. Учитывая определяющее влияние для двухконтурных двигателей характеристик вентилятора на служебные характеристики двигателя в целом, на этапе проектирования выполняются многовариантные расчёты аэродинамических характеристик и характеристик прочности рабочих лопаток вентилятора, в результате которых появляется оптимизированная идеальная «горячая» геометрия пера лопаток, определенная, как правило, для работы двигателя на крейсерском режиме. Далее, для выпуска конструкторской документации, «горячая» геометрия

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«06.08.2026»

лопатки переводится в «холодную» геометрию, соответствующую нулевой частоте вращения ротора вентилятора. Эта операция не может быть выполнена с абсолютной точностью, что предопределяет появление некоторой ошибки в геометрии пера, относительно определенной на стадии проектирования. Затем технологический процесс производства вносит свои отклонения в «холодную» геометрию пера лопатки. При этом эти отклонения носят случайный характер. На сегодняшний день общепризнанных научно обоснованных подходов и методик оценки влияния отклонений в геометрии профильной части рабочих лопаток вентилятора, обусловленных технологическим процессом их изготовления, на служебные характеристики вентиляторов газотурбинных двигателей не существует. В связи с этим тема диссертации Шевякова А.О. «Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учётом производственных отклонений», основной целью которой является разработка, научное обоснование и реализация в виде комплекса прикладных программ методики оценки влияния отклонений в геометрии профильных частей широкохордных сильно закрученных рабочих лопаток вентиляторов, вызванных процессом их производства, на аэродинамические характеристики вентилятора является несомненно актуальной.

Научная новизна выполненных в диссертации исследований состоит в разработке и научном обосновании методики оценки влияния отклонений в геометрии пера рабочих лопаток, вызванных процессом их производства, на аэродинамические характеристики вентилятора и тягу вентилятора, базирующихся на формировании статистических моделей этих отклонений, сформированных на основании исследованных реальных законов их распределения путем анализа многочисленных данных о фактической геометрии профильных частей лопаток после их изготовления в серийном производстве.

Важным новым научным результатом являются установленные количественные связи между ключевыми варьируемыми геометрическими параметрами профильных частей лопаток, обусловленных технологическим процессом их производства, и основными характеристиками вентилятора (расходом воздуха, степенью сжатия, значением КПД и создаваемой тягой).

Определенной научной новизной обладают результаты проведенного в диссертации анализа чувствительности параметров напряженно-деформированного состояния рабочих лопаток и аэродинамических характеристик вентилятора на отклонения ключевых геометрических

параметров профильных частей лопаток от проектных, вызванных процессом их производства.

Практическая значимость проведенных в диссертации исследований и выполненных разработок состоит в формализации разработанной методики анализа чувствительности аэродинамических характеристик рабочего колеса вентилятора к отклонениям в геометрии профильной части рабочей лопатки, вызванных их производством, реализованной в виде программного специализированного комплекса «BladeToolMAI». Разработанный комплекс позволяет в автоматизированном режиме выстроить иерархическую структуру геометрических отклонений профильной части рабочих лопаток по степени их влияния на аэродинамическое качество рабочего колеса вентилятора, что очень важно принимать во внимание на стадии проектирования и отработке технологии производства рабочих лопаток вентилятора. Важным практическим результатом рассматриваемой диссертации является разработанная методика геометрической параметризации рабочих лопаток вентилятора, встроенная в программный комплекс «BladeToolMAI» и обеспечивающая автоматизированное построение 3D – моделей рабочих лопаток по данным измерений фактических геометрических параметров профильной части изготовленной лопатки на контрольно-измерительной машине.

Достоверность полученных в диссертации результатов и сделанных выводов не вызывает сомнения, поскольку при проведении анализа геометрии профильных частей изготовленных в серийном производстве рабочих лопаток вентилятора использовалась прецизионная измерительная машина с очень высокой степенью точности измерения линейных и угловых параметров в каждой точке профиля и детальным сканированием профиля при измерениях. Для обработки результатов этих измерений и определении корреляционной связи между ключевыми геометрическими параметрами использованы строгие методы математической статистики. Для оценки степени влияния предельных отклонений геометрических параметров профиля лопаток на аэродинамические характеристики вентилятора использованы хорошо известные и многократно верифицированные программные комплексы ANSYS CFX и NUMECA.

Изложение проведенных в диссертации исследований достаточно логично построено, что облегчает изучение её содержания. В большинстве случаев используется правильная научная терминология.

Результаты выполненных в диссертации исследований прошли достаточную апробацию, поскольку докладывались, обсуждались и получили одобрение на ряде авторитетных отечественных и международных научно-технических конференциях. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ: 5 публикаций в научно-технических журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 статьи в зарубежном издании, индексируемом в базе данных Scopus, 1 статья – в базе данных Web of Science, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 7 тезисов докладов на конференциях.

Аннотация диссертации в полной мере отражает все изложенные в диссертации результаты исследований, разработанные программные средства и сделанные научные выводы.

Результаты выполненных в диссертации исследований и, в первую очередь, разработанные программные комплексы рекомендуются к использованию в ОКБ двигателестроительной отрасли для оценки влияния геометрических отклонений в профильных частях лопаток вентиляторов, выявленных при выполнении контроля их геометрии с использованием контрольно-измерительных машин, на характеристики вентиляторов на стадии их проектирования и отработки технологии производства рабочих лопаток. Кроме того, отдельные материалы диссертации целесообразно использовать в учебных курсах «Проектирование и конструкция газотурбинных двигателей» в соответствующих ВУЗах РФ, занимающихся подготовкой инженеров - конструкторов и технологов для ОКБ и предприятий-изготовителей газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ), а также, они могут быть полезны научным работникам и аспирантам, работающим в области проектирования и доводки ГТД и ГТУ.

Наряду с отмеченными достоинствами рассматриваемой диссертации по ней следует сделать 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».

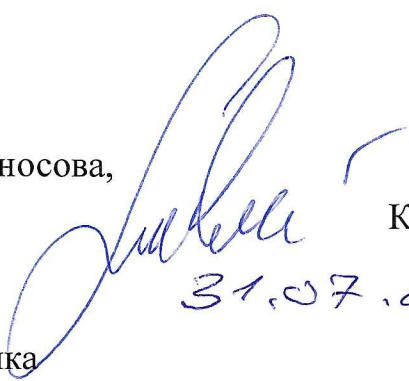
2. В изложении работы неоднократно встречается неправильное использование научной и технической терминологии. В частности, используются термины: «Технологическая дисперсия», «Производственная дисперсия», «Прочностные характеристики..» - вместо «Дисперсия геометрических параметров лопатки, обусловленная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

Не смотря на сделанные замечания, рассматриваемая диссертационная работа является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научно-техническом уровне и направленным на решение важной народно-хозяйственной задачи повышения эффективности и надежности эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей. Судя по

представленной диссертации «Многодисциплинарная оптимизация рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя с учётом производственных отклонений», её автор Шевяков Артём Олегович является сложившимся научным исследователем, способным самостоятельно формулировать и решать сложные научно-технические задачи в области проектирования и производства современных газотурбинных двигателей, и заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук.

Ведущий научный сотрудник
НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова,
доктор технических наук

Колотников М.Е.


31.07.2026

Личную подпись ведущего сотрудника

НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, д.т.н. Колотникова М.Е.
удостоверяю

И.о. директора НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова



Георгиевский Д.В.

Сотзвтом ознакомлен 
06.08.2026г.