

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора –
главный конструктор ОКБ –
председатель научно-технического совета
АО «Казанский вертолётный завод»



А.О. Гарипов

2025 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пальчикова Дениса Сергеевича
«Разработка методов и экспериментальное исследование конструкционной
прочности углепластиков для рабочей лопадки вентилятора перспективного
газотурбинного двигателя», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – Тепловые,
электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Диссертационная работа Пальчикова Д.С. посвящена решению ряда теоретических и практических задач, связанных с проектированием, изготовлением и испытанием деталей газотурбинных двигателей (ГТД) из полимерных композиционных материалов (ПКМ). В качестве объекта исследований выбрана рабочая лопадка вентилятора.

Актуальность работы заключается в решении ряда проблем, сдерживающих широкое применение ПКМ в конструкциях ГТД. Для вновь создаваемых двигателей с большой степенью двухконтурности использование углепластика при изготовлении рабочих лопаток вентиляторов (РЛВ) позволяет значительно снизить массу и улучшать эксплуатационные характеристики двигателей. Реализация аналогичных проектов зарубежными двигателестроительными компаниями однозначно подтверждает правильность такого решения. Их положительный опыт делает задачу актуальной и для отечественных производителей. Однако создание высоконагруженных авиационных деталей из ПКМ и, в частности, РЛВ является сложной технической задачей, требующей использования подходов, отличающихся от применяемых в настоящее время для изделий из металлических сплавов. К изделиям из ПКМ предъявляются дополнительные требования по обеспечению безопасности и стойкости к механическим повреждениям. Последствия возможных повреждений, полученных при эксплуатации, должны быть учтены ещё на стадии проектирования.

Диссертационная работа Пальчикова Д.С. посвящена комплексному решению данной задачи и включает в себя:

- усовершенствованные методы получения расчётных характеристик ПКМ;

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

27.08.2025

- критерии выбора нового материала;
- подход по прогнозированию остаточной прочности и несущей способности ПКМ с учётом его устойчивости к ударным нагрузкам и продавливанию;
- исследование критически опасных зон РЛВ с помощью конструктивно подобных образцов и образцов, вырезанных из готового изделия.

Акцент в работе сделан на экспериментальные исследования образцов и конструкций из ПКМ, имеющих искусственные расслоения и механические повреждения.

Основные результаты работы.

В работе проанализированы возможные критерии выбора лучшего материала для РЛВ, включая выполнение требований по трещиностойкости и остаточной прочности. Усовершенствованы методы испытаний стандартных образцов из ПКМ, в том числе с предварительно нанесёнными повреждениями. Предложена методика классификации повреждений, наносимых на плоские образцы методом квазистатического продавливания, и соотнесение их с функцией остаточной прочности, определяемой экспериментально.

Для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) наиболее опасного сечения, которым является зона крепления лопатки в пазах диска, автором предложена конструкция специального двухзамкового образца, имитирующего хвостовик и проведены его расчётно-экспериментальные исследования.

Для сопоставления свойств материала, реализованных в готовом изделии со свойствами, полученными на стандартных образцах, предложены различные виды образцов, непосредственно вырезанные из рабочей лопатки.

В диссертации разработаны и усовершенствованы методы экспериментального исследования образцов из ПКМ, позволяющие определить полный спектр характеристик статической прочности и трещиностойкости. Также предложены методы исследования прочности хвостовика РЛВ с применением конструктивно-подобных элементов (КПЭ) и образцов-свидетелей, вырезанных из РЛВ.

Научная новизна работы заключается в усовершенствовании диссертантом методов испытаний ПКМ, таких как: растяжение в трансверсальном направлении, включая измерения коэффициента Пуассона, испытание на сдвиг методом четырёхточечного несимметричного изгиба, измерение трещиностойкости по моде I и III, испытание на стойкость к удару. Разработаны различные типы специальных образцов, вырезанных из готового изделия и предложена конструкция двухзамкового КПЭ, усовершенствованы конструкции некоторых испытательных оснасток. В целом предложена комплексная система экспериментальных исследований материала РЛВ, отвечающего требованиям не только прочности, но и

надёжности. Стоит отметить, что ключевое значение в подходе автора к испытанию образцов занимает метод корреляции цифровых изображений (DIC), который используется автором для измерения НДС их верификации с расчётными моделями. Стандартные методы испытаний предполагают равномерное распределение напряжений по всей площади рабочего сечения образца, избегая появлений концентраторов напряжений. В предлагаемых Пальчиковым Д.С. экспериментальных методиках это ограничение снимается, так как метод DIC позволяет измерять деформации при разрушении непосредственно в зонах максимума, в том числе и в зонах концентраторов, что открывает широкие возможности для испытания образцов сложной геометрии, в том числе вырезанных из реальных изделий.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

1. В разработке комплекса экспериментальных методов по определению упруго-прочностных характеристик новых ПКМ, используемых при прочностном проектировании опытных РЛВ вентиляторов двигателей размерности ПС-12, ПД-14, экспериментального биротативного вентилятора и модельных вентиляторов С194, а также перспективного двигателя ПД-35.

2. В разработке технических требований для ПКМ РЛВ.

3. В формировании подходов к оценке годности ПКМ для РЛВ путем определения прочности материала с повреждениями.

4. В предложенных методах испытаний КПЭ, являющихся основой для формирования системы специальной квалификации ПКМ для РЛВ.

5. В разработке методических рекомендаций по подтверждению прочностной надёжности РВЛ из ПКМ.

Достоверность и обоснованность полученных автором экспериментальных данных подтверждается использованием международных и отечественных стандартов. Испытания проведены в аккредитованной Росавиацией испытательной лаборатории. Результаты испытаний, полученные вновь разработанными методами сопоставлены с результатами, полученными стандартизированными методами испытаний, а также результатами расчетов, выполненными методом конечных элементов.

К автореферату кандидатской диссертации имеются следующие замечания:

1. В тексте автореферата не раскрыты подробности предлагаемого автором метода измерения трещиностойкости по моде III.

2. В автореферате не указаны статистические параметры полученных экспериментальных результатов.

3. Рамки представленной работы ограничены испытаниями элементарных образцов и КПЭ. Возможно, что включение в диссертацию примеров испытаний полноразмерных РЛВ сделало бы работу методически более содержательной.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

Качество и стиль изложения материала исследования соответствует уровню кандидатской диссертации. Текст автореферата написан грамотным языком.

В целом диссертационная работа Пальчикова Дениса Сергеевича «Разработка методов и экспериментальное исследование конструкционной прочности углепластиков для рабочей лопасти вентилятора перспективного газотурбинного двигателя» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на хорошем научном уровне. Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Пальчиков Денис Сергеевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

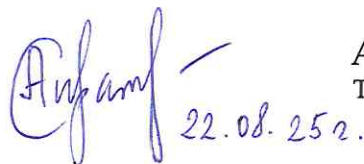
Начальник отдела расчетов,
д.т.н., доцент



25.08.2025

Д.В. Неделько
Тел. +7 (843) 549-66-52

Ученый секретарь научно-
технического совета, к.т.н.



22.08.25г.

А.Ф. Сафиуллин
Тел.: +7 (843) 549-64-38

Акционерное общество «Казанский вертолетный завод»

Почтовый адрес: ул. Тэцевская, д 14, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420085

Телефон: +7 (843) 549-66-99

Сайт организации: www.rhc.ru

Адрес электронной почты: kvz@kazanhelicopters.ru

Согласны на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Неделько Дмитрий Валерьевич

научная специальность

05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

Сафиуллин Айрат Фанилевич

научная специальность

05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов