

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Нихамкина Михаила Шмеровича на диссертацию Пальчикова Дениса Сергеевича «Разработка методов и экспериментальное исследование конструкционной прочности углепластиков для рабочей лопатки вентилятора перспективного газотурбинного двигателя», представленную в диссертационный совет 24.2.327.06 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки)

1. Актуальность темы исследования

Использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) для изготовления нагруженных деталей и узлов двигателей – важная тенденция современного авиационного двигателестроения. Для обеспечения прочностной надежности деталей из ПКМ необходим большой объем экспериментальных данных о конструкционной прочности применяемых композитов, в десятки раз больше, чем для металлов. Существующие стандарты испытаний материалов не охватывают всех характеристик, которые необходимо определять. Особенностью ПКМ является то, что материал, его свойства формируются при изготовлении детали, что дополнительно усложняет задачу. Для определения механических характеристик приходится испытывать образцы, вырезанные из натурной детали, или конструктивно подобные элементы. В первую очередь, это относится к таким сложным и ответственным деталям, как рабочие лопатки вентиляторов (РЛВ) двигателей большой тяги. Все сказанное позволяет утверждать, что диссертация Д.С.Пальчикова посвящена актуальной задаче авиационного двигателестроения.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректностью постановки задач, применением для их решения проверенных методов исследования, отечественных и зарубежных стандартов, аттестованного оборудования. Автором выполнен большой объем экспериментальных работ, подтверждающих достоверность разработанных методов и результатов. Выводы и рекомендации вытекают из результатов проведенных автором исследований, их обоснованность не вызывает сомнений. Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается сравнением экспериментальных данных, полученных разными методами, а также их сравнением с результатами расчетов.

3. Научная новизна.

В диссертации разработан и комплекс новых и усовершенствованных известных методов определения характеристик упругости и статической прочности ПКМ, используемых в авиационном двигателестроении. Среди них следует выделить:

- новую методику определения характеристик ПКМ при межслоевом сдвиге по схеме четырехточечного несимметричного изгиба,
- новый метод определения прочности ПКМ при растяжении в направлении, перпендикулярном плоскости армирования,
- защищенный патентами метод определения характеристик трещиностойкости ПКМ
- конструктивно подобный элемент - «двухзамковый» образец хвостовика РЛВ для испытаний на прочность при растяжении и сжатии,

4. Практическая значимость.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в создании комплексной технологии экспериментальных исследований ПКМ, позволяющей определить полный спектр механических характеристик статической прочности и трещиностойкости (более 30 показателей), необходимых для проектирования РЛВ.

Несомненную практическую ценность имеет экспериментально определенный в диссертации комплекс упруго-прочностных характеристик семи новых ПКМ, который использовался при прочностном проектировании и квалификационных испытаниях опытных РЛВ двигателей ПС-12, ПД-14, ПД-35.

С точки зрения практической значимости важно, что разработанные в диссертации методы испытаний ПКМ и конструктивно подобных элементов используются для формирования системы специальной квалификации ПКМ для рабочих лопаток вентиляторов; разработаны методические рекомендации по подтверждению прочностной надежности РЛВ из ПКМ.

5. Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 88 наименований.

В первой главе приведен обзор отечественных и зарубежных научных публикаций по исследованию механических свойств армированных волокнами полимерных композиционных материалов. Сформирован перечень характеристик прочности и упругости в рамках модели слоистого анизотропного композита. Выполнен подробный анализ опыта фирмы GE по выбору углепластика для РЛВ двигателя GE90. Показано, что наряду с характеристиками упругости и прочности исходного материала необходимо получение экспериментальных данных о

характеристиках материала с производственными и эксплуатационными дефектами.

Во второй главе рассмотрены основные виды испытательного оборудования для экспериментального определения характеристик ПКМ. Описаны особенности ПКМ для РЛВ. Основываясь на личном опыте проведения экспериментальных исследований, автором диссертации выявлены недостатки известных методов применительно к ПКМ для РЛВ, предложены некоторые способы их решения. Наиболее интересными представляются:

- метод определения межслоевых характеристик – четырехточечный несимметричный изгиб с применением метода корреляции цифровых изображений,
- метод определения коэффициентов Пуассона (ν_{31} , ν_{32}),
- зачищенная патентом конструкция оснастки для нагружения образца при испытаниях на трещиностойкость,
- расширенная методика определения влияния энергии удара на прочность при сжатии.

В разработанных методиках испытаний автор успешно применяет современные методы цифровой корреляции изображений и акустической эмиссии.

Третья глава посвящена практической реализации разработанных методик применительно к углепластикам, предназначенным для использования в конструкции РЛВ. В качестве объектов исследования рассмотрены 7 новых различных отечественных углепластиков. Приведен большой объем экспериментальных данных об упругих и прочностных характеристиках этих материалов, полученных как стандартными методами, так и методами, разработанными автором диссертации.

Большое внимание уделено подтверждению достоверности полученных экспериментальных результатов (сравнение результатов, полученных различными методами, сопоставление с результатами расчетных исследований).

Особый интерес представляют полученные в диссертации характеристики трещиностойкости ПКМ при смешанном типе нагружения (мода I+II) при различных соотношениях нормального отрыва и сдвига. Эти данные позволяют сформировать критерий разрушения, пригодный для описания роста трещин в хвостовике РЛВ. Получены экспериментальные данные об остаточной прочности исследованных ПКМ при сжатии после удара.

Полученные характеристики использованы для проектирования, изготовления и испытаний опытных моделей РЛВ из ПКМ.

Четвертая глава посвящена определению механических характеристик ПКМ в изделии, а именно в крупногабаритной РЛВ из углепластика.

В рамках специальной квалификации определены прочностные характеристики хвостовика РЛВ, как наиболее проблемного её элемента. Для

оценки прочности хвостовиков испытаны вырезанные из полноразмерной лопасти наиболее нагруженные участки. Кроме того, проведены экспериментальные исследования специально разработанной конструкции КПЭ в виде «двухзамкового» образца, которые позволили выявить типичный характер зарождения и развития повреждений вплоть до исчерпания несущей способности хвостовика.

В результате проведенных исследований установлено, что коэффициенты вариации упругих и прочностных характеристик образцов, вырезанных из РЛВ, превышают коэффициенты вариации, полученные при испытаниях лабораторных образцов, созданных по одинаковой технологии из одинаковых материалов и с одинаковой схемой армирования.

Таким образом, диссертация Д.С.Пальчикова является логически завершенным научным исследованием. Диссертация изложена грамотным техническим языком, хорошо структурирована.

В автореферате отражены все основные результаты, полученные в работе. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и полученным в диссертации научным выводам и рекомендациям.

Содержание работы достаточно полно отражено в публикациях автора.

6. Замечания по работе.

1. В рекомендациях по выбору материала РЛВ автор диссертации ориентируется на характеристики только статической прочности. По нашему мнению, кроме них обязательно нужно учитывать и характеристики сопротивления усталостному разрушению.

2. При испытаниях на остаточную прочность после удара автор предлагает заменить ударное повреждение квазистатическим. При одной и той же энергии скорость удара существенно влияет на характер повреждения слоистых ПКМ, а значит остаточную прочность и жесткость. По нашему мнению, этот вопрос требует отдельного исследования.

3. Обеспечение прочностной надежности замка РЛВ – сложная проблема, требующая детального анализа при различных случаях нагружения, учета циклического характера нагружения и вибраций, контактной прочности и возможного фреттинга. Следует понимать, что в рамках задач, поставленных в диссертации, автор рассмотрел лишь часть этой проблемы – статическую прочность.

4. Неясно, зачем в главе 3 описаны базовые методы и принципы неразрушающего контроля ПКМ.

5. На рис. 67 показаны образцы для испытаний на растяжение типа 1 без накладок, а на рисунке 70 – те же образцы после испытаний, но уже с накладками.

Эти замечания не влияют на общую оценку проведенного исследования.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Пальчикова Дениса Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент
профессор каф. «Авиационные двигатели»
Пермского национального исследовательского
политехнического университета,
доктор технических наук, профессор

Нихамкин Михаил Шмерович

29.07.25

Телефон: +7(342)239-13-61,

e-mail: nikhamkin@mail.ru

Почтовый адрес организации:

614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» <http://www.pstu.ru>

Подпись Нихамкина Михаила Шмеровича
удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ПНИПУ,
канд. ист. наук, доцент

Макаревич Владимир Иванович



С отзывом ознакомлен 06.08.2025

Пав