

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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

Общие сведения о диссертации. Диссертация Пальчикова Дениса Сергеевича *Разработка методов и экспериментальное исследование конструкционной прочности углепластиков для рабочей лопадки вентилятора перспективного газотурбинного двигателя* состоит из Введения, четырёх глав, общих выводов и списка литературы, сформулированных на 155 страницах, содержащих 144 иллюстрации и 20 таблиц.

Научная новизна диссертационной работы. Диссертант Д.С. Пальчиков излагает своё видение научной новизны на страницах 11-12 Диссертации. С точки зрения настоящего оппонента, наиболее важными является (в изложении диссертанта):

1. Комплексная технология экспериментальных исследований ПКМ, позволяющая определить полный спектр механических характеристик статической прочности и трещиностойкости (более 30 показателей), необходимых для проектирования РЛВ
2. Новый метод определения прочности ПКМ при растяжении в направлении, перпендикулярном плоскости армирования, имеющий, в отличие от стандартного (ASTM D7291), более высокую информативность в части возможности определения коэффициентов Пуассона, а также эффективность в части определения предела прочности (кондиционное разрушение образца в рабочей зоне)
3. Усовершенствованный метод определения характеристик трещиностойкости ПКМ (тип I)
4. Метод подтверждения соответствия значений механических характеристик ПКМ, полученных при испытаниях образцов и использованных при проектировании РЛВ, значениям, реализованным в РЛВ характеристик конструкционной прочности (с использованием результатов испытаний образцов-свидетелей, вырезанных из лопадки).

Оппонент должен согласиться с диссертантом, заметив, что остальные пункты развивают и уточняют детали.

Достоверность полученных Д.С. Пальчиковым результатов определяется, прежде всего, систематическим применением современных методов исследований на каждом этапе работы. Важным обстоятельством в пользу этого утверждения является и то, что диссертант в своей работе опирался и опирается на огромный опыт ЦИАМ им П.И. Баранова – ведущей мировой организации в разработке схем практически всех советских и пост-советского двигателей.

Актуальность и практическая значимость темы очевидны для всех специалистов в области авиадвигателестроения, так же как очевидны преимущества углепластиковой вентиляторной лопадки, работающей в двигателе GE-90 более 30 лет, перед поллой титановой. Нам предстоит пройти путь внедрения в перспективные двигатели углепластиковой РЛВ, и результаты, полученные Д.С. Пальчиковым, представляются важными на этом пути.

Далее в настоящем отзыве вопросы **актуальности и практической значимости** полученных в Диссертации результатов развиваются в оценках её содержания по главам.

В **Главе 1** даётся обстоятельный обзор истории (с упоминанием двигателя RB211-06 Rolls-Royce, погубленного птицами) и современного состояния разработок углепластиковой вентиляторной лопатки, анализ влияния основных механических характеристик углепластика на работоспособность лопатки. Автор подробно анализирует характеристики материала в лопатке двигателя GE-90 компании Дженерал Электрик, и это даёт ему основания для формулирования части задач Диссертации.

Глава 2 *Методы и средства для экспериментального определения механических характеристик ПКМ*, занимающей около половины текста работы, представляется важной в контексте всего произведения, поскольку изложенное в ней определяет достоверность полученных и представленных в следующих главах результатов. Важно подчеркнуть, что кроме стандартных методов, в этой части диссертации описан лазерно-ультразвуковой дефектоскоп УДЛ-4, разработанный по техническому заданию ЦИАМа, и с участием диссертанта, Международным Лазерным Центром МГУ. ЛУЗ-метод оказывается чувствительным практически ко всем видам дефектов, характерным для композитов с полимерной матрицей (КПМ) в относительно тонких элементах конструкций. Глава довольно объёмная, это определяется тем, что автор, излагая известные методы определения механических характеристик анизотропных неоднонаправленных углепластиков, находит недостатки известных подходов и предлагает их уточнения и корректировки. В частности, проблему, характерную при испытаниях КПМ на трещиностойкость с определением K_{Ic} , связанную с малой прочностью клеевого зажима образца, он решает разработкой иного способа зажима образца.

Глава 3 *Экспериментальные исследования ПКМ в обеспечение создания РЛВ* содержит результаты исследования семи однонаправленных и многонаправленных материалов, с использованием методов, описанных в главе 2. Принципиально важным является особое внимание, уделяемое диссертантом исследованию влияния повреждений на механическое поведение композитов. Это важно потому, что далеко не все исследователи-механики считают это обстоятельство важным, сосредотачиваясь на развитии линейной механики разрушения, выводы которой далеко не всегда применимы к волокнистым композитам.

Достоинствами этой части диссертации (и, следовательно, работы диссертанта в целом) являются:

- 1) Сравнение характеристик семи потенциальных материалов лопатки (в том числе – однонаправленных композитов для полноты картины) по полному набору механических характеристик (в том числе – межслоевая прочность при растяжении по нормали к армирующим слоям (!) и при сдвиге, влияние удара на мехсвойства).
- 2) Выбор в качестве наиболее подходящего для РЛВ: препрег авиационного назначения 1-го поколения со схемой армирования [0/+45/0/-45]. Этим, в частности, определяется практическая значимость работы.

В **Главе 4** *Механические характеристики ПКМ в изделии* проведены систематические исследования механических характеристик образцов, вырезанных из лопаток размерности ПС-12. Полученные результаты лишней раз подтверждают тезис о том, что композитов вне конструкции не существует (стр. 8 Диссертации). Это обстоятельство, к сожалению, не знакомо многим «разработчикам» композиционных материалов Поэтому, по мнению настоящего оппонента, результаты этой главы – принципиально важны.

Автор Диссертации опубликовал свои результаты в хороших журналах, доложил на ряде конференций, изложил свои результаты достаточно полно в автореферате, т.е. выполнил все формальные требования к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Всё изложенное выше свидетельствует о высоком качестве диссертационной работы в целом.

В то же время, нельзя не обратить внимание на некоторые недостатки и оплошности автора диссертации.

1. Исследуя механическое поведение разнообразных существующих КПМ и выбирая на основе полученных результатов два указанных выше в качестве наиболее подходящих материала РЛВ, автор не предлагает путей по дальнейшему совершенствованию КПМ.
2. В обзоре, представленном в Главе 1, не рассматриваются особенности РЛ вентилятора современного двигателя GE9x со степенью двухконтурности около 10.
3. Соотношения упругости в разделе 1.1.1 *Характеристики упругости* следовало бы записать в тензорной форме: компактнее и нагляднее.
4. Описки и некоторые синтаксические ошибки – присутствуют во всех такого рода работах. Хорошо бы их избегать.

Эти замечания никоим образом не влияют на общую оценку диссертационной работы *Разработка методов и экспериментальное исследование конструкционной прочности углепластиков для рабочей лопатки вентилятора перспективного газотурбинного двигателя* Пальчикова Дениса Сергеевича, которая соответствует всем критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842 "О порядке присуждения ученых степеней" (с изменениями и дополнениями от 30 июля 2014 г., 21 апреля, 2 августа 2016 г., 29 мая, 28 августа 2017 г., 1 октября 2018 г., 20 марта, 11 сентября 2021 г., 26 сентября 2022 г., 26 января, 18 марта, 26 октября 2023 г., 25 января, 16 октября 2024 г), и её автор, безусловно, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Согласен на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН
142432 г. Черноголовка Московской обл.,
ул. Академика Осипьяна, 2
email: mileiko@issp.ac.ru тел.: +7 (49652) 21176

С.Т. Милейко
2 сентября 2025 г.

Подпись Сергея Тихоновича Милейко заверяю
Ученый секретарь ИФТТ РАН
Кандидат физико-математических наук



А.Н. Терещенко

Сотзаван ознакомлен 05.09.2025

Терещенко