

---

## **Особенности экспериментальных исследований углепластиков для деталей авиационных двигателей**

Д.С. Пальчиков, А.Д. Богомолова, А.В. Сеницын, Д.В. Афанасьев  
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», Москва

В работе рассмотрены основные особенности экспериментальных исследований полимерных композиционных материалов для деталей авиационного двигателя на примере рабочей лопатки вентилятора из углепластика. Обсуждается перечень необходимых экспериментальных исследований материала, включая учет влияния повреждений, внешних воздействующих факторов. Также рассмотрены вопросы оценки статической и усталостной прочности хвостовика, основанной на испытаниях конструктивно подобных элементов и полноразмерной рабочей лопатки вентилятора.

## **Features of CFRP experimental studies for aircraft engine parts**

D.S. Palchikov, A.D. Bogomolova, A.V. Sinitsyn, D.V. Afanasev  
CIAM, Moscow, Russia

The paper considers the main features of CFRP experimental studies for aircraft engine parts using the example of a carbon fiber fan blade. The list of necessary experimental studies of the material is discussed, including consideration of the impact damage, external influencing factors. The issues of assessing the static and fatigue strength of the shank, based on tests of structurally similar elements and full-size fan blade, are also considered.

---

### **1. Введение**

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) все больше находят применение в конструкции авиационного двигателя и планера самолета. Опыт зарубежных и отечественных компаний показывает, что углепластики с успехом можно применять в конструкции планера самолета вместо алюминиевых сплавов и в лопатках вентилятора вместо титановых, если в процессе проектирования правильно подойти к

оценке их прочностных свойств.

По сравнению с деталями из металлических сплавов процесс создания деталей из ПКМ имеет существенные отличия. В первую очередь, это связано с особенностями самого композиционного материала, отличающегося анизотропией, высоким разбросом механических характеристик, относительно низкой ударостойкостью и в некоторых случаях низкой стойкостью к различным воздействующим факторам. Данные особенности требуют проведения широкого

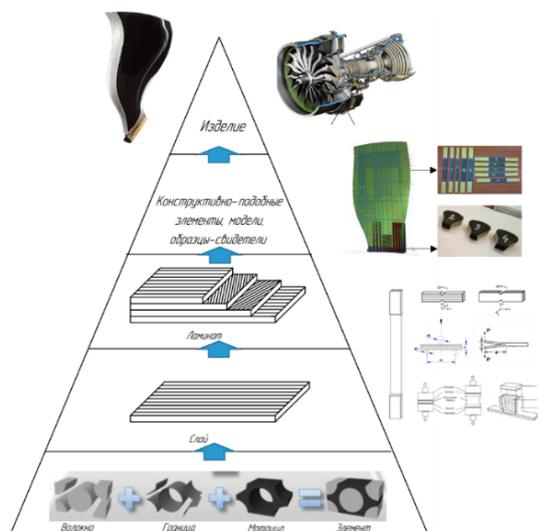


Рисунок. Пирамида испытаний на примере РЛВ из углепластика

спектра экспериментальных исследований. В данной работе рассмотрен перечень необходимых экспериментальных исследований ПКМ для деталей авиационных двигателей (АД), таких как рабочая лопатка вентилятора (РЛВ).

## 2. Экспериментальные исследования прочности ПКМ

С точки зрения перечня экспериментальных исследований подход к созданию деталей из ПКМ наглядно демонстрирует так называемая пирамида испытаний, используемая при сертификации деталей из ПКМ [1]. Согласно данной схеме испытания проводят снизу вверх, от простых образцов до конструктивных элементов и полноразмерной детали, причем большее количество испытаний приходится на простейшие образцы (рисунок).

Помимо базового перечня упруго-прочностных характеристик для ПКМ определяют такие характеристики, как прочность при растяжении и сжатии образцов с отверстием (ОНТ и ОНС), а также прочность при сжатии после удара (САИ). Данные характеристики напрямую не используются в расчетах, однако имеют высокую практическую важность, а в некоторых случаях являются определяющими при выборе материала для будущей детали [2]. Значение САИ показательно с точки зрения работоспособности материала, получившего ударное повреждение. Данная характеристика широко используется для деталей воздушного судна из ПКМ, где сжимающие нагрузки при предельных эксплуатационных режимах являются критическими. Однако для вращающихся деталей из ПКМ, в эксплуатации подвергаемых случайным ударам,

например РЛВ, определения одной прочности при сжатии после удара недостаточно, необходимо как минимум три характеристики: растяжение (ТАИ), сжатие (САИ) и сдвиг в плоскости после удара (ШАИ). На примере РЛВ разработки ЦИАМ (условное обозначение ЦИАМ-1) показано применение данных характеристик для оценки допустимых эксплуатационных напряжений РЛВ.

Следующим аспектом экспериментальных исследований ПКМ является определение механических характеристик с учетом внешних воздействующих факторов, таких как повышенная и пониженная температура, а также влажность. В работе показан характер влияния указанных факторов и их комбинаций на различные характеристики прочности углепластиков авиационного назначения.

Дополнительно приведены способы оценки статической и усталостной прочности хвостовика РЛВ ЦИАМ-1, основанные на испытаниях конструктивно-подобных элементов (КПЭ) хвостовика [3] и полноразмерной РЛВ.

## 3. Заключение

В работе показаны основные особенности экспериментальных исследований ПКМ для деталей АД. Приведен и обоснован перечень необходимых экспериментальных исследований ПКМ при создании РЛВ. Приведены результаты экспериментальных исследований углепластиков авиационного назначения с учетом повреждений и внешних воздействующих факторов. Продемонстрированы экспериментальные методы оценки статической и усталостной прочности хвостовика путем испытаний КПЭ и полноразмерной РЛВ ЦИАМ-1.

## Список использованных источников

- [1] Composite Aircraft Structure : advisory circular : date: 08.09.2009 : AC No 20-107B / U.S. Department of transportation, Federal Aviation Administration. 2010. 13 p.
- [2] О формировании технических требований к полимерному материалу перспективной рабочей лопатки вентилятора ТРДД / Т.Д. Каримбаев, А.А. Луппов, Д.В. Афанасьев, Д.С. Пальчиков // Двигатель. 2015. №1 (97). С. 2–8.
- [3] Пальчиков Д.С. Экспериментальное определение долговечности хвостовиков рабочих лопаток вентиляторов, изготовленных из полимерных композиционных материалов // Прочность и надежность газотурбинных двигателей : сборник научных трудов / под ред. Ю.А. Ножницкого. М. : ЦИАМ, 2020. С. 223–226.