

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ШИРОКОХОРДНОЙ ЛОПАТКИ ВЕНТИЛЯТОРА ИЗ ОБЪЁМНО- АРМИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Ремизов А.Е.<sup>1</sup>, Пахоменков А.В.<sup>2</sup>, Сулейманова Ю.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск

<sup>2</sup>ПАО «ОДК-Сатурн, г. Рыбинск, jgsuleymanova@yandex.ru

*Ключевые слова: широкохордная лопатка вентилятора, композиционные материалы, объёмно-армированный ПКМ, разгонные испытания.*

Для определения статической прочности опытного образца рабочей лопатки вентилятора (далее РЛВ) из объёмно-армированного полимерного композиционного материала (далее ПКМ) были проведены разгонные испытания на разгонном стенде ЦИАМ [1]. Объект испытаний представляет собой диск вентилятора в сборе с лопатками вентилятора из ПКМ. Разгонные испытания проводились до разрушения в условиях вакуума без воздействия газовых сил при нормальной температуре. Разрушение лопатки вентилятора при разгонных испытаниях произошло в переходной зоне от хвостовика к перу лопатки, начиная от входной кромки. С целью валидации расчётных методик выполнен расчёт рабочей лопатки вентилятора из ПКМ в условиях разгонных испытаний.

Расчёт статической прочности РЛВ из ПКМ выполнен на режиме разгонных испытаний. Распределение полей давлений от воздействия газовых сил не учитывалось ввиду соответствия расчёта условиям разгонных испытаний. Тепловое состояние расчётной модели принято равным 20<sup>0</sup>С. Твёрдотельная модель сборочной единицы РЛВ из ПКМ принята с учётом имитации диска вентилятора. Радиальная вытяжка диска вентилятора посчитана в ПО «ANSYS» с использованием КЭМ рабочей лопатки вентилятора с заданием плотности, соответствующей осреднённой плотности РЛВ из ПКМ по расчётным данным [2] на режиме, соответствующем расчётному, с учётом упруго-пластических свойств материала диска. Разбиение рабочей лопатки вентилятора на расчётные зоны и локальные объёмы произведено согласно параметрам изменения геометрических толщин. Таким образом, РЛВ из ПКМ поделена на 10 локальных зон. Разбиение рабочей лопатки на локальные зоны представлено на рис. 1.

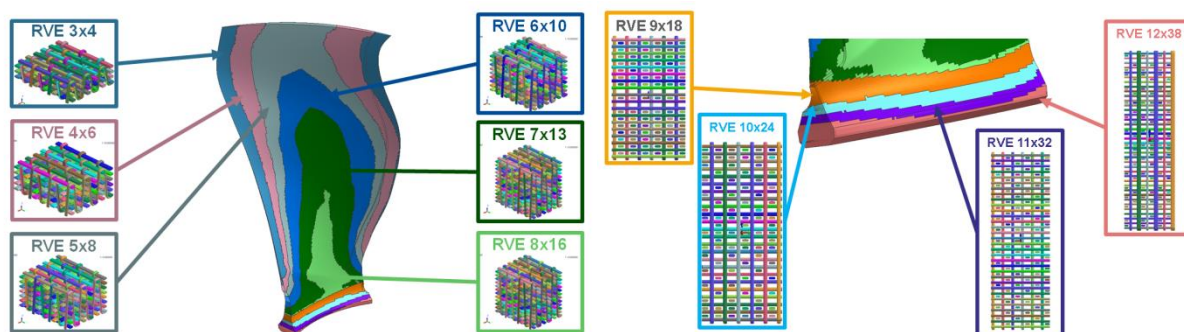


Рисунок 1 – Разбиение РЛВ из ПКМ на локальные зоны при численном моделировании

Расчётными методами были определены эффективные упругие свойства материалов, а также критерии разрушения для каждой локальной зоны трёхмерной модели рабочей лопатки вентилятора [2]. Таким образом, выполнен расчёт статической прочности в условиях испытаний с учётом вытяжки диска от действия центробежных нагрузок. Расчётная зона разрушения соответствует зоне разрушения, полученной в результате проведения разгонных испытаний, как показано на рис. 2. График зависимости радиальной вытяжки лопатки вентилятора из ПКМ по отношению к частоте вращения ротора в относительных единицах при проведении разгонных испытаний представлен на рис. 3.

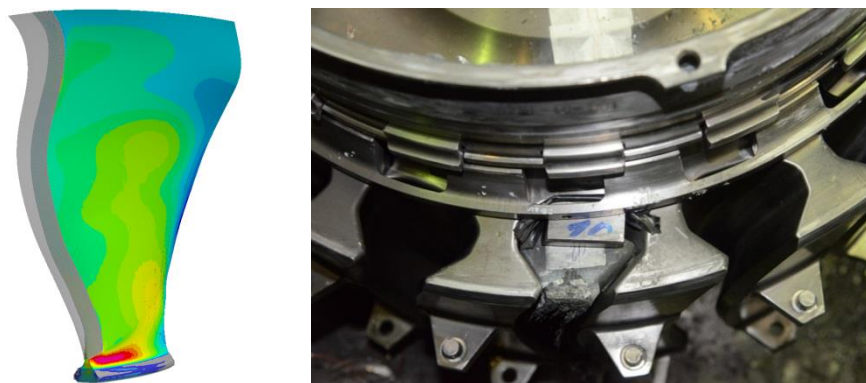


Рисунок 2 – Соответствие зоны разрушения при численном моделировании и эксперименте

Также был проведен сравнительный анализ эмпирических данных, полученных с 2D-сканеров и расчётных данных, полученных в процессе численного моделирования поведения РЛВ в условиях эксперимента по параметру радиальной вытяжки лопатки вентилятора в зависимости от частоты вращения. Поведение расчётной РЛВ и экспериментальной по величинам радиальной вытяжки на режиме сопоставимо. Погрешность расчётных и эмпирических данных составила 10%. Дело в том, что датчики, находящиеся на стенках вакуумного разгонного стенда, зафиксировали температуру равную  $\sim 80^{\circ}\text{C}$ . Однако за неимением точных данных по распределению теплового градиента по лопатке вентилятора, расчёт выполнялся при температуре, равной  $20^{\circ}\text{C}$ . Поэтому погрешность с большей вероятностью обусловлена влиянием теплового состояния. Данные, полученные по результатам проведенных разгонных испытаний, использованы для валидации расчётных методик. Полученная верифицированная модель использована для работ по оптимизации рабочей лопатки вентилятора с целью обеспечения статической прочности.

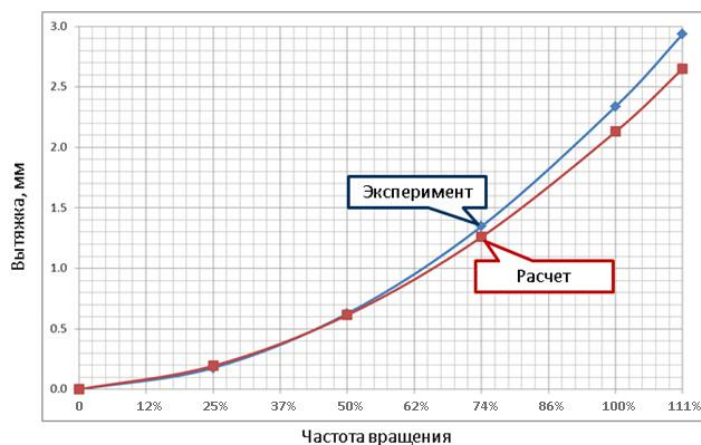


Рисунок 3 – Зависимость вытяжки, оценённой по торцу РЛВ по отношению к частоте вращения ротора

### Список литературы

1. Ножницкий Ю.А., Федина Ю.А., Шадрин Д.В. [и др.] Новые возможности применения разгонных стендов для обеспечения прочностной надёжности газотурбинных двигателей / Вестник СГАУ им. С.П. Королева, 2015. Т. 14. № 3. Ч. 1. С. 71-87.
2. Пахоменков А.В., Сулейманова Ю.Г., Габов Д.В. [и др.]. Этапы прогнозирования механических свойств тканого композиционного материала на основе численного моделирования элементарной ячейки методом конечных элементов / Вестник РГАТУ им. П. А. Соловьева, 2022. № 2 (61). С. 54-61.

### Сведения об авторах

Ремизов А.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой. Область научных интересов: прочность деталей и узлов газотурбинных двигателей.

Пахоменков А.В., к.т.н., главный конструктор. Область научных интересов: прочность деталей и узлов газотурбинных двигателей.

Сулейманова Ю.Г., аспирант, начальник бригады прочности. Область научных интересов: прочность деталей и узлов газотурбинных двигателей.

**NUMERICAL SIMULATION OF ACCELERATION TESTING OF  
A WIDE-CHORD FAN BLADE FROM VOLUME-REINFORCED  
POLYMER COMPOSITE MATERIAL**

Remizov A.E.<sup>1</sup>, Pakhomenkov A.V.<sup>2</sup>, Suleymanova Yu.G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rybinsk University, Rybinsk, Russia

<sup>2</sup> UEC-Saturn PJSC, Rybinsk, [jgsuleymanova@yandex.ru](mailto:jgsuleymanova@yandex.ru)

*Keywords: composite materials, overclocking tests.*

Numerical simulation of accelerating tests of a fan blade made of a three-dimensional reinforced polymer composite material has been carried out. Acceleration tests were carried out until the blade failure with fixation of the breaking load and radial pulling from centrifugal loads. The error of empirical and calculated data is 10%.