

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭРОЗИИ ЛОПАТОЧКИ КОМПРЕССОРА ПЫЛЕВОЙ ЭРОЗИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПЫЛЕННОЙ АТМОСФЕРЫ

А. Х. РАХИМОВ¹, В. С. ЛОПАНЬЯ², А. С. ГИШВАРОВ³

¹mr.abdusattor@list.ru, ²stiv.2016@mail.ru, ³gas-rb@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Исследуется влияние геометрических параметров пылезащитного устройства (ПЗУ) вертолетного двигателя на его эффективность (степень очистки воздуха, потеря давления и масса). В качестве варьируемых параметров ПЗУ рассматриваются радиус выходной части канала и длина ПЗУ. Оптимизация параметров эффективности проводится по данным моделирования двухфазного потока «воздух – частицы пыли» с применением программного комплекса (ПК) ANSYS CFX. Рассматриваются результаты моделирования эрозии лопатки компрессора.

Ключевые слова: пылезащитное устройство (ПЗУ); эффективность; двухфазный поток; геометрические параметры; пылевая среда; оптимизация; эрозия лопатки.

Пыль, песок, золотые частицы, оксиды железа, технологические приме-си, кусочки уплотнений и продукты износа лопаток являются примерами разнообразного состава твердых частиц, которые могут вызывать эрозию, отложения и/или коррозию и, помимо всего прочего, являются причиной снижения мощности и выхода деталей ГТД из строя. При этом возрастают расходы на ремонт и замену деталей ГТД, а также возникают издержки по причине пониженной эффективности агрегатов и снижения объемов производства по причине останова двигателей на ремонт.

Для борьбы с эрозией элементов ГТД применяют ПЗУ [1]. Выбор вида и геометрии ПЗУ основан на результате моделирования двухфазного течения с использованием численных методов, учитывая при этом режимы работы двигателя и условия его эксплуатации.

Моделирование проводилось с применением ПО ANSYS CFX, позволяющего оценивать эрозионный износ. Для учета турбулентных явлений при моделировании использовалась к-ε модель. На интерфейсах между областями статора и ротора двигателя была применена модель смены систем координат ступени. Модель эрозионного износа включала размер и относительную скорость твердых частиц, угол атаки частиц, а также свойства материала частиц и поверхности, подвергающейся эрозии. Коэффициенты для модели соответствовали случаю «кварц-сталь». Характеристики упругого соударения в эрозионной модели были сохранены без изменений.

Моделирование двухфазного потока ПЗУ проводилось при следующих условиях:

- давление на входе – 101325 Па;
- температура воздуха на входе – 15 °С (288 К);
- расход воздуха на входе в двигатель – 8 кг/с.

Рассматривались частицы диаметром от 50 до 500 мкм. Материал частиц- кварц (SiO_2 - плотность 2600 кг/м³).

Оптимизация эффективности ПЗУ проводилась варьированием двух параметров: высоты канала отвода пыли $D_1(X_1)$ и длины сепаратора $L(X_2)$ (рис. 1).

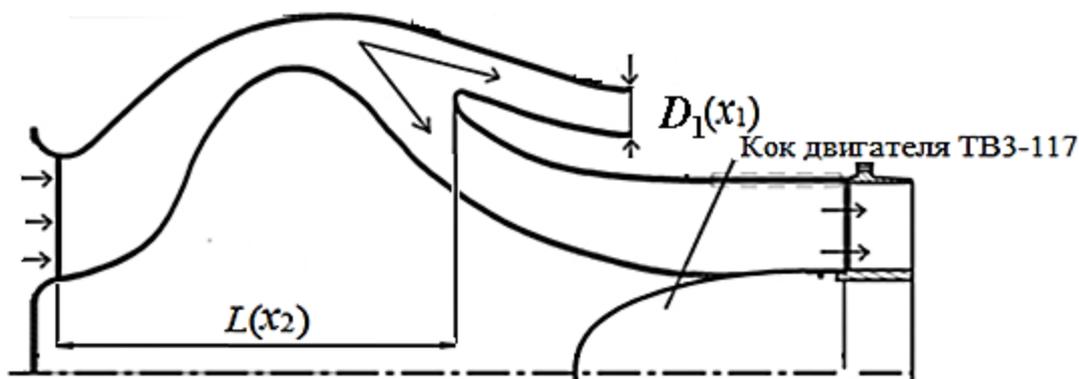


Рис. 1. Схема геометрии ПЗУ с параметрами геометрии

Выбор значений (X_2) и $D_1(X_1)$ проводился с учетом критериев эффективности (η , ΔP и M) [2]:

- η – степени очистки воздуха, %;
- ΔP – потери давления в ПЗУ, мм.вод.ст.;
- M – массы ПЗУ, кг.

Зависимости вида: $\eta = f_1(L, D_1)$, $\Delta P = f_2(L, D_1)$ и $M = f_3(L, D_1)$ определялись методом регрессионного анализа по данным, полученным моделированием работы ПЗУ с различной геометрией (L, D_1) для взлетного режима работы ГТД.

С применением метода Парето был выбран оптимальный вариант геометрии ПЗУ (табл. 1).

Таблица 1

Параметры ПЗУ

Параметр	Значение параметра
η , %	95,8
ΔP , мм.вод.ст.	35,43
M , кг	17,45
X_1	-1,41
X_2	0
L канала ПЗУ, мм	252
D_1 ПЗУ, мм	354

Для прогнозирования износа пера лопаток компрессора формировались закономерности изменения их геометрии в зависимости от наработки двигателя, а также проводилось имитационное моделирование движения потока в проточной части с оценкой газодинамической и виброчастотной устойчивости лопаток.

На основе прогнозных величин и характера износа пера лопаток формировались модели лопатки, строилась расчетная сетка с целью создания конечно-элементной модели с использованием сеточного генератора *ICEM CFD*.

Расчет собственных частот колебаний рабочих лопаток выполнялся численным методом с помощью программного комплекса ANSYS.

Оценка влияния пылевой эрозии на изменение газодинамических характеристик компрессора, проводилась с учетом расчетных значений скорости и давления потока в проточной части для исходной геометрии пера лопаток, а также геометрии лопаток, соответствующей наработке двигателя в эксплуатации.

Модальный анализ рабочих лопаток компрессора с различной наработкой позволил построить эмпирические зависимости частот собственных колебаний от величины износа хор-

ды пера рабочих лопаток в периферийном сечении и определить потенциально наиболее опасных ступеней компрессора и формы колебаний лопаток, которые могут войти в резонанс с возбуждающими гармониками ГТД.

В качестве примера в табл. 2 приведена зависимость эрозии лопаток от расхода частиц, а на рис. 2 показана эрозия лопатки по ее высоте.

Таблица 2

Плотность эрозии лопатки от расхода частиц

Плотность эрозии, кг/м ² с	4,03	6,11	9,5	10,36
Расход, кг/с	4	6	8	9,5

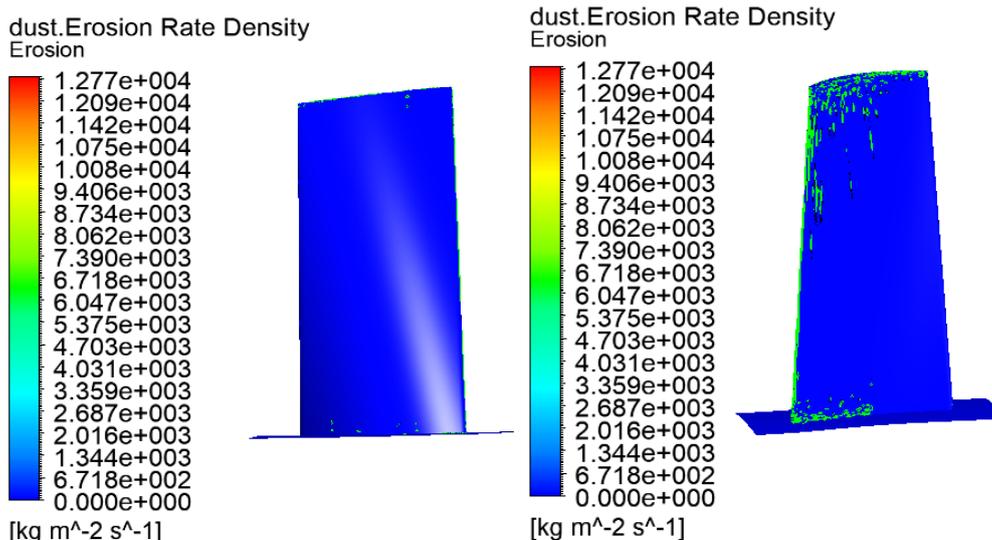


Рис. 2. Эрозия лопатки первого ступени компрессора

Видно, что увеличение расхода частиц ведет к увеличению эрозии лопатки в корневом и периферийном сечениях входной и выходной кромок пера лопатки. По причине износа лопаток, КПД ступени уменьшился с 0,79 % до 0,63 %: чем выше износ лопатки, тем сильнее снижается эффективность ступени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Г. Ю., Зицер И. М. Инерционные воздухоочистители. М.: Машиностроение, 1986. 184 с. [G. Y. Stepanov, I. M. Zicer, The inertial air cleaner, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1986].
2. Гишваров А.С., Аитов Р.Р., Айтумбетов А.М. Исследование эффективности пылезащитных устройств вертолетных газотурбинных двигателей // Вестник УГАТУ, 2015. т. 19, № 2 (68). С. 100 – 110. [A. S. Gishvarov, R. R. Aitov, A. M. Aytumbetov, Modeling and optimization features dustproof device helicopter turboprop, (in Russian). Ufa: USATU, 2014].
3. Железина Г.Ф., Соловьева Н.А., Макрушин К.В., Рысин Л.С. Полимерные композиционные материалы для изготовления пылезащитного устройства перспективного вертолетного двигателя // Авиационные материалы и технологии 2018. №1 (50) С. 58-63.

ОБ АВТОРАХ

РАХИМОВ Абдусаттор Хасанович, аспирант 4-го курса кафедры авиационных двигателей.

ЛЕПАНЬЯ Стив, магистр 1-го курса кафедры авиационной теплотехники и теплоэнергетики.

ГИШВАРОВ Анас Саидович, науч. рук-ль работы, д.т.н., проф., зав. кафедра авиационных двигателей.

METADATA

Title: Study the effectiveness of the dust devices.

Authors: A. H. Rahimov¹, V. S. Lepagna², A. S. Gishvarov³

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹mr.abdusattor@list.ru, ²stiv.2016@mail.ru, ³gas-rb@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (24), pp. 47-50, 2021. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The effect of the geometric parameters of a dustproof device (ROM) of a helicopter engine on its efficiency (degree of air purification, pressure loss and mass) is investigated. The radius of the output part of the channel and the length of the ROM are considered as variable ROM parameters. The optimization of performance parameters is carried out according to the simulation of a two-phase flow "air воздух dust particles" using the ANSYS CFX software package (PC). The results of modeling the compressor blade erosion are considered.

Key words: dust protection device (ROM); efficiency; two-phase flow; geometric parameters; dust environment; optimization; blade erosion.

About authors:

RAHIMOV, Abdusattor Hasanovich, PhD Stud., Dept. of Aircraft Engines. Accident (USATU, 2017).

LEPAGNA, Vivienl Steve, undergraduate of the department. aircraft engines. Research in the field of resource and reliability of aircraft engines.

GISHVAROV, Anas Saidovich, Prof., Dept. of Aircraft Engines. Dipl. engineer (USATU, 1973). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 1993).