

УДК 519.248

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА И ПЫЛЕЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ГТД

Р. Р. Исламов¹, В. С. Лепанья², А. Х. Рахимов³, А. С. Гишваров⁴

¹ islamovrustem@bk.ru, ² stiv.2016@mail.ru, ³ mr.abdusattor@list.ru, ⁴ kafedra.ad@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 диаметр выходного канала отвода пыли и длина ПЗУ. Выбор геометрии ПЗУ проводится по данным моделирования двухфазного потока «воздух – частицы пыли» с применением программного комплекса ANSYS CFX. Рассматриваются результаты моделирования эрозии лопатки компрессора.

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

ВВЕДЕНИЕ

Пыль, песок, золы, оксиды железа, технологические примеси, 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 (рис.1). 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.

Исследования в области эрозионного износа лопаток компрессора определяют основные эксплуатационные несоответствия, к которым приводит данный вид повреждения:

- уменьшение запаса газодинамической устойчивости ГТД;
- увеличения вероятности разрушения рабочих лопаток компрессора в следствии изменения их частот собственных колебаний;
- снижение коэффициента полезного действия двигателя в следствии износа элементов проточной части двигателя.

Для борьбы с эрозией элементов ГТД применяют пылезащитные устройства (ПЗУ) [1]. Выбор ПЗУ основан на результатах 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 $k-\epsilon$ 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 в 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 – частицы кварца (SiO_2 , плотность 2600 кг/м^3).

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

Выбор значений $D_1(X_1)$ и $L(X_2)$ проводился с учетом критериев эффективности η ,

ΔP и M [2] (где η – степень очистки воздуха, %; ΔP – потеря давления в ПЗУ, мм.вод.ст.; M – масса 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 различной геометрии (L, D_1) для взлетного режима работы ГТД.

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



Рис. 1. Посадка в условиях повышенной концентрации пыли

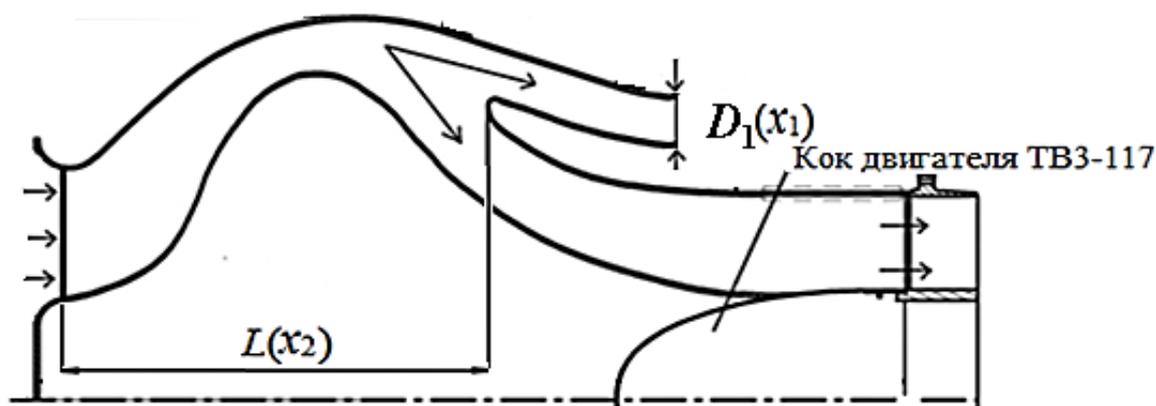


Рис. 2. Схема геометрии ПЗУ с параметрами геометрии

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 определялась закономерность изменения их геометрии в процессе наработки двигателя, а также проводилось имитационное моделирование движения потока в проточной части с оценкой газодинамической и вибрационной устойчивости лопаток.

На основе прогнозных значений величины и характера износа пера лопаток строилась модели лопатки, расчетная сетка для 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.

По результатам модального анализа рабочих лопаток компрессора с различной наработкой строились эмпирические зависимости частот собственных колебаний от величины износа хорды пера рабочих лопаток в периферийном сечении и определились потенциально наиболее опасные ступени компрессора и формы колебаний лопаток, которые могли войти в резонанс с возбуждающими гармониками ГТД.

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

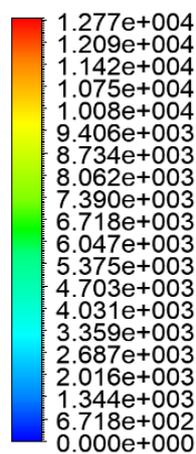
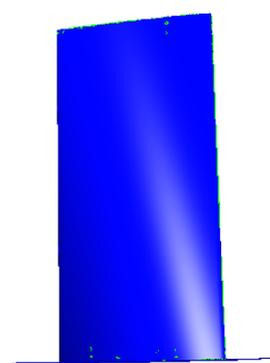
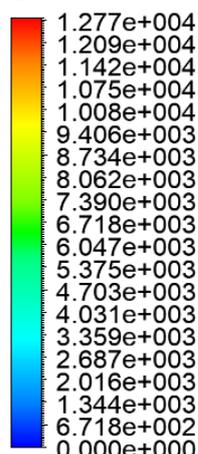
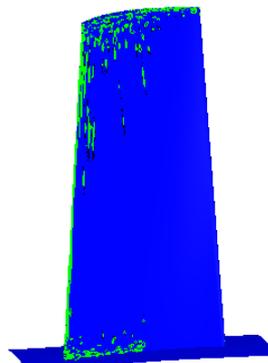
dust.Erosion Rate Density
Erosion[kg m⁻² s⁻¹]dust.Erosion Rate Density
Erosion[kg m⁻² s⁻¹]

Рис. 2. Эрозия лопатки первого ступени компрессора

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

Из табл. 2 видно, что с увеличением расхода частиц эрозия лопатки в корневом и периферийном сечениях входной и выходной кромок возрастает. При этом КПД ступени уменьшается с 0,79 до 0,63 %.

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 dust-proof device helicopter turboprop*, (in Russian). Ufa: USATU, 2014].
3. Гишваров А.С., Салимзянова А.А., Рахимов А. Х. Исследование влияния геометрии вертолетного пылезащитного устройства на его эффективность // Мавлютовские чтения: материалы XI Всероссийской молодежной научной конференции УГАТУ, 2017 г. 7. С. 62 – 67. [Gishvarov A. S., Salimzyanova A. A., Rakhimov A. A. Investigation of the influence of the geometry of a helicopter dustproof device on its effectiveness // *Mavlyutov Readings: Materials of the XI All-Russian Youth Scientific Conference UGATU, 2017*, vol. 7. 7. P. 62-67].

ОБ АВТОРАХ

ИСЛАМОВ Рустем Рамилевич, студент каф. двигателей. Исследование в области ресурса и надежности авиационных двигателей.

ЛЕПАНЬЯ Вивьен Стив студент каф. двигателей. Исследование в области ресурса и надежности авиационных двигателей.

РАХИМОВ Абдусаттор Хасанович асп. каф. авиационных двигателей. Дипл. маг. по авиастр. (УГАТУ, 2017). Исс. в обл. надежности и ресурса авиац. двиг.

ГИШВАРОВ Анас Саидович, проф., зав. каф. авиац. двиг. Дипл. инж.-мех. по авиац. двиг. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по тепл. двиг. летательных аппаратов (УГАТУ, 1993). Иссл. в обл. надежности, ресурса, испытаний и прогнозирования состояния техн. систем.

METADATA

Title: Study the effectiveness of the dust devices.

Authors R. R. Islamov¹, V. S. Lepagna², A. H. Rahimov³,
A. S. Gishvarov⁴

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

Email: ¹islamovrustem@bk.ru, ²stiv.2016@mail.ru,
³mr.abdusattor@list.ru, ⁴kafedra.ad@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 56-59, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The effect of the geometric parameters of a dust-proof 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:

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

ISLAMOV, Rustem Ramilevich, student of the department. aircraft engines. Research in the field of resource and reliability of aircraft engines.

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

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