

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА

А. А. Салимзянова<sup>1</sup>, Р. Р. Исламов<sup>2</sup>, А. Х. Рахимов<sup>3</sup>, А. С. Гишваров<sup>4</sup>

<sup>1</sup> nikaxa@inbox.ru, <sup>2</sup> islamovrustem@bk.ru, <sup>3</sup> mr.abdusattor@list.ru, <sup>4</sup> 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 ПЗУ). В качестве оптимизируемых параметров ПЗУ рассматриваются: радиус наружной части канала входного устройства ПЗУ и длина ПЗУ. Значения параметров эффективности определяются моделированием двухфазного потока «воздух – частицы пыли» с применением программного комплекса (ПК) *ANSYS CFX*.

**Ключевые слова:** пылезащитное устройство (ПЗУ); эффективность; геометрические параметры; параметры ПЗУ; пылевая среда; двигатель вертолета; оптимизация.

### ВВЕДЕНИЕ

При взлете и посадке вертолет поднимает большое количество пыли с земли, которая попадает в двигатель, проходит по газовому тракту и вызывает абразивный износ внутренних элементов, особенно роторов компрессора. Это значительно снижает производительность двигателя и приводит к преждевременному снятию с вертолета

Пылевая эрозия элементов проточной части ГТД и отложения пыли вызывают такие отказы, как снижение мощности, недопустимый рост температуры газа перед турбиной, поломки ослабленных эрозией лопаток, помпаж. Вследствие больших относительных скоростей воздуха, поступающего на лопатки, и больших окружных скоростей, столкновение их даже с мелкими твердыми частицами может приводить к значительному износу.

Интенсивность эрозии зависит главным образом от твердости и химического состава частиц пыли, в меньшей степени зависит от фракционного состава этих частиц (известно что частицы размером до 20 мкм не вызывают значительной эрозии).

Попавшие в двигатель частицы пыли не только изменяют форму профилей лопаток,

но и оседают во входной части компрессора, что затрудняет надежную работу двигателя вертолета (рис. 1 и 2). В результате налипания пыли на лопатках компрессора их собственная частота колебаний может уменьшиться на 45 %, что приводит к недопустимому увеличению действующих в лопатках напряжений и к их обрыву. ПЗУ не всегда полностью очищают воздух. Мультициклонные устройства могут очистить его до 98 %, но они громоздки. Моноциклонные или многоканальные ПЗУ очищают воздух до 75...80 %. При этом, естественно, на работу этих устройств затрачивается часть мощности двигателя.

В данной работе проводилось исследование эффективности  $\lambda$ -образного ПЗУ, принципиальная схема которого приведена на рис. 1 [1].

В процессе исследования эффективность рассматриваемого ПЗУ оценивалась тремя параметрами [2]: степенью очистки воздуха ( $\eta$ , %), потерей давления в ПЗУ ( $\Delta P$ , мм.вод.ст.) и массой ПЗУ ( $M$ , кг). Значения  $\eta$ ,  $\Delta P$  и  $M$  определялись моделированием двухфазного потока «воздух-песок» с применением программного комплекса (ПК) *ANSYS CFX*.

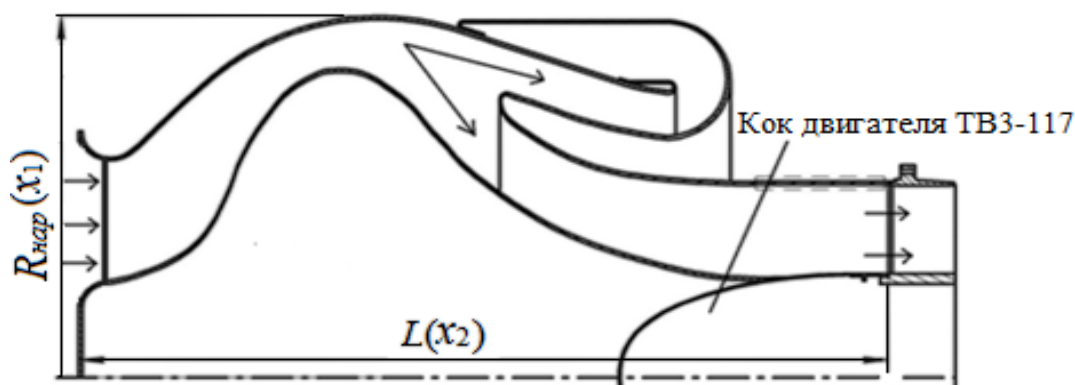


Рис. 1. Схема ПЗУ λ-образного типа

В качестве варьируемых рассматривались геометрические параметры ПЗУ в области определения:

- радиус наружной части канала входного устройства ПЗУ  $480 \leq R_{\text{нар}} \leq 640$  мм;
- длина ПЗУ  $640 \leq L \leq 1120$  мм.

Зависимости вида  $\eta = f_1(L, R_{\text{нар}})$ ,  $\Delta P = f_2(L, R_{\text{нар}})$ ,  $M = f_3(L, R_{\text{нар}})$  определялись методом регрессионного анализа. Исходные данные для построения регрессионных моделей определялись расчетом значений  $\eta$ ,  $\Delta P$  и  $M$  для ПЗУ различной геометрии.

В качестве независимых факторов рассматривались:

- $x_1$  (соответствует радиусу наружной части канала ПЗУ  $R_{\text{нар}}$ , мм);
- $x_2$  (соответствует длине ПЗУ  $L$ , мм).

Выходными (зависимыми) параметрами являлись:

- $y_1$  (соответствует параметру  $\eta$ , %);
- $y_2$  (соответствует параметру  $\Delta P$ , мм.вод.ст.);
- $y_3$  (соответствует параметру  $M$ , кг).

Нормированные значения параметров  $R_{\text{нар}}$ , и  $L$  соответствовали области, заданной ограничениями вида:

$$-1 \leq x_1 \leq 1; -1 \leq x_2 \leq 1.$$

В процессе исследования рассматривались уравнения регрессии вида:

$$\eta = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_4x_4 + a_{12}x_1x_2 + a_{34}x_3x_4 + a_{11}x_1^2 + \dots + a_{44}x_4^2; \quad (1)$$

$$\Delta P = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{44}x_4^2; \quad (2)$$

$$V = c_0 + c_1x_1 + \dots + c_4x_4 + c_{12}x_1x_2 + c_{34}x_3x_4 + c_{11}x_1^2 + \dots + c_{44}x_4^2; \quad (3)$$

где  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$  и  $c_{ij}$  – коэффициенты уравнений регрессии, определенные по данным табл. 1.

После исключения незначимых факторов по критерию Стьюдента, уравнение регрессии (1) приняло вид:

$$\eta = 89,28 - 2,615x_2 + 3,633x_1^2 + 2,765x_1x_2; \quad (4)$$

(погрешность оценки  $\eta$  равна 1,21 %).

Аналогично были уточнены значения коэффициентов уравнений регрессии (2) и (3):

$$\Delta P = 123,9 - 150,84x_1 - 25,61x_2 - 74,45x_1^2; \quad (5)$$

(погрешность оценки  $\Delta P$  равна 1,43 %);

$$M = 2,8 + 1,454x_1 + 0,341x_1^2 \quad (6)$$

(погрешность оценки  $M$  равна 0,5 %).

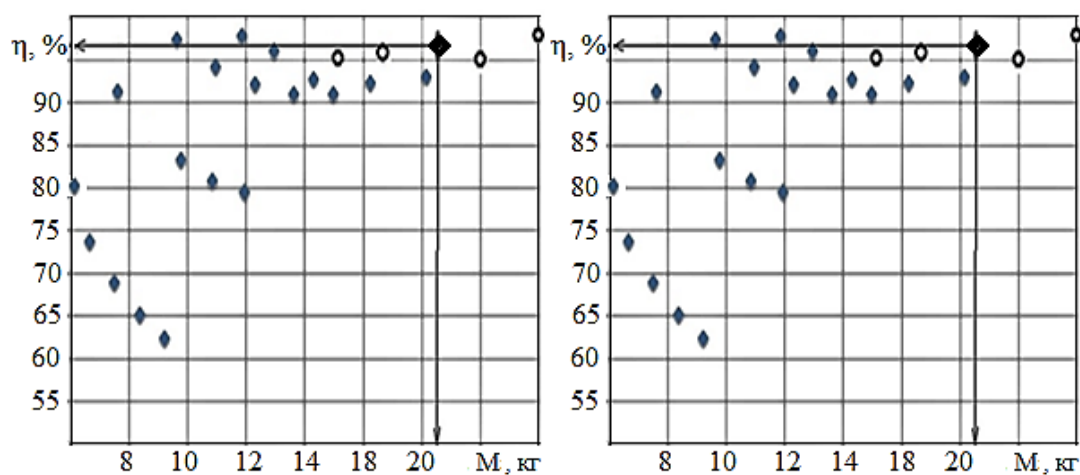
В натуральных единицах измерения была получена система уравнений, описывающая связь выходных параметров ПЗУ ( $\eta$ ,  $\Delta P$  и  $M$ ) с его геометрией ( $R_{\text{нар}}$  и  $L$ ):

$$\begin{cases} \eta = 89,28 + 2,615x_2 + 3,633x_1^2 + 2,765x_1x_2; \\ \Delta P = 123,9 - 150,84x_1 - 25,6x_2 - 74,451x_1^2; \\ M = 2,8 + 1,454x_1 + 0,341x_1^2. \end{cases}$$

Таблица 1

## План и результаты эксперимента по моделированию течения двухфазного потока в ПЗУ

№	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
	$R_{нар.}, мм$	$L, мм$	$\eta, \%$	$\Delta P, мм.вод.ст.$	$M, кг$
1	-1,0	1	91,28	308,2	9,8
2	-0,5	1	89,81	252,4	10,6
3	0	1	96,66	200,2	11,5
4	0,5	1	92,10	233,7	12,3
5	1,0	1	89,07	394,2	13,2
6	-1,0	0,25	85,52	228,8	11,6
7	-0,5	0,25	94,90	205,5	12,6
8	0	0,25	88,27	343,6	13,7
9	0,5	0,25	93,89	319,7	14,8
10	1,0	0,25	89,97	187,6	15,9
11	-1,0	0	85,48	151,4	13,6
12	-0,5	0	87,63	144,9	14,9
13	0	0	86,06	128,1	16,2
14	0,5	0	83,17	122,6	17,6
15	1,0	0	93,59	135,8	18,9
16	-1,0	0,25	84,56	111,7	15,8
17	-0,5	0,25	92,37	105,6	16,9
18	0	0,25	95,23	101,3	19,0
19	0,5	0,25	98,02	65,8	20,6
20	1,0	0,25	93,21	59,4	22,3
21	-1,0	1	87,47	84,2	18,3
22	-0,5	1	90,86	75,1	20,2
23	0	1	95,20	62,7	22,1
24	0,5	1	95,77	59,4	24,0
25	1,0	1	97,47	28,0	25,9

Рис. 2. Зависимость параметров эффективности ПЗУ:  $a - \eta \Rightarrow \max$ ;  $b - \Delta P \Rightarrow \min$

Система уравнений (7) использовалась для выбора оптимальных значений.

Оптимальные значения параметров эффективности ПЗУ следующие:

$$\eta_{opt} = 97 \%;$$

$$\Delta P_{opt} = 59,4 \text{ мм.вод.ст.};$$

$$M_{opt} = 22,3 \text{ кг (см. рис. 2)}.$$

## ВЫВОДЫ

1. Применение ПО *Ansys CFX* позволяет удовлетворительно моделировать течение двухфазного потока «воздух–частицы пыли» в ПЗУ и количественно определять параметры, характеризующие его эффективность (степень очистки ( $\eta$ ), потеря давления ( $\Delta P$ ) и массу ( $M$ )).

2. Регрессионные модели, описывающие зависимость основных показателей эффективности ПЗУ от его геометрических размеров, являются основной для выбора оптимальных значений геометрических размеров ПЗУ.

## 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 Всероссийский молодежной научной конференции УГАТУ, 2017 т. 7. С. 62–67. [A. S. Gishvarov, A. A. Salimzyanova, A. A. Rakhimov. 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 Руستم Рамилевич**, студент каф. авиационных двигателей.  
Исследование в области ресурса и надежности авиационных двигателей.

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

**САЛИМЗЯНОВА Айгуль Альфировна** асп. каф. авиационных двигателей. Дипл. маг. по энер. машин. (УГАТУ, 2014). Иссл. в обл. надежности и ресурса ГТД.

**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:** A. A. Salimzyanova<sup>1</sup>, A. A. Knyazev<sup>2</sup>,  
A. A. Rakhimov<sup>3</sup>, A. S. Gishvarov<sup>4</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> nikaxa@inbox.ru, <sup>2</sup> slamovrustem@bk.ru,

<sup>3</sup> mr.abdusattor@list.ru, <sup>4</sup> kafedra.ad@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** *Molodezhnyj Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 118-121, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The study of the effectiveness of the dust devices helicopter gas turbine engines. Based on the numerical simulation of two-component flow assessed the effectiveness of various design options.

**Key words:** mathematic modeling; helicopter gas turbine engines; dust devices; flow; two-component flow.

**About authors:**

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

**ISLAMOVI, 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).

**SALIMZYANOVA, Aigul Alfirovna**, PhD Stud., Dept. of Aircraft Engines. Power Engineering (USATU, 2014).