

ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный
технический университет 12-я Всероссийская зимняя школа-семинар
магистрантов, аспирантов и молодых ученых "Актуальные проблемы науки и
техники"

Кафедра авиационных двигателей

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА

Выполнил: студент гр. ТЭД-504 Исламов Р.Р.

Научный руководитель: проф., д.т.н., зав. каф. АД Гишваров А.С.



Уфа 2019 г .

Цель работы:

Исследование эффективности λ -образного пылезащитного устройства (ПЗУ) двигателя вертолета

Решаемые задачи:

- 1) сравнение результатов исследования λ -образного ПЗУ;
- 2) построение 3D модели в ПО *Siemens NX 9* и *Ansys CFX* для исследования эффективности ПЗУ при максимальном взлетном режиме работы двигателя;
- 3) построение регрессионной модели описывающей влияние геометрий (радиус выходного канала R_1 и длина сепаратора L) ПЗУ на критерий его эффективности (η , ΔP , M);
- 4) выбор оптимальных значений геометрических размеров ПЗУ, с учетом основных критериев эффективности ($\eta \rightarrow \max$; $\Delta P \rightarrow \min$; $M \rightarrow \min$);

1. Сравнение результатов исследования λ -образного ПЗУ

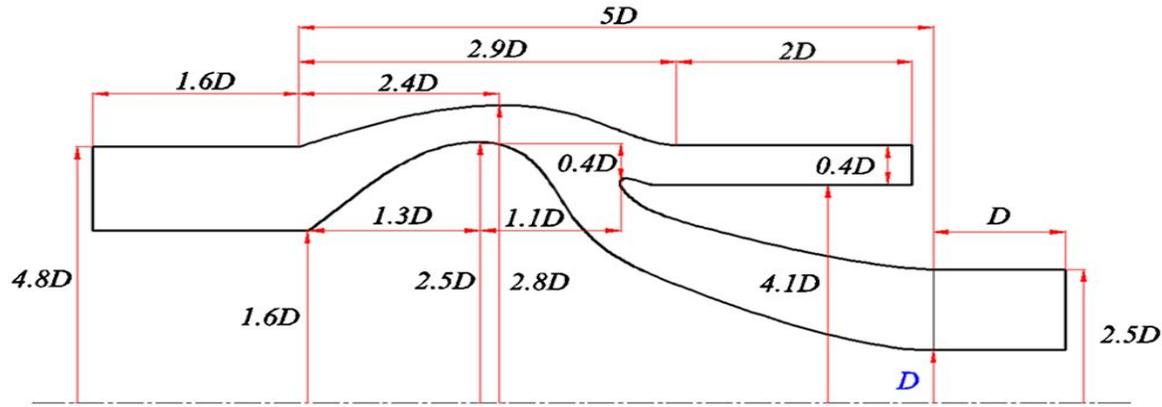
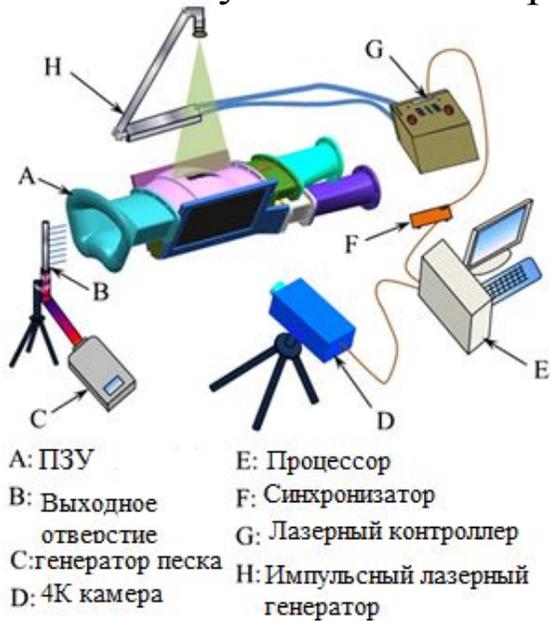
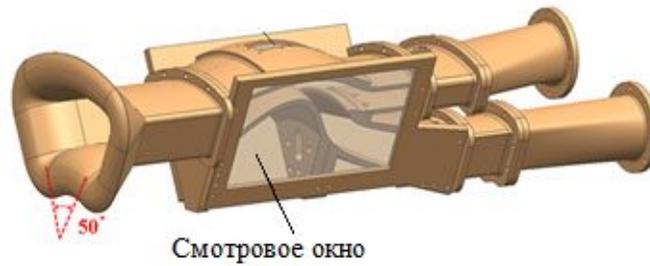


Рисунок 1– Геометрия построения ПЗУ

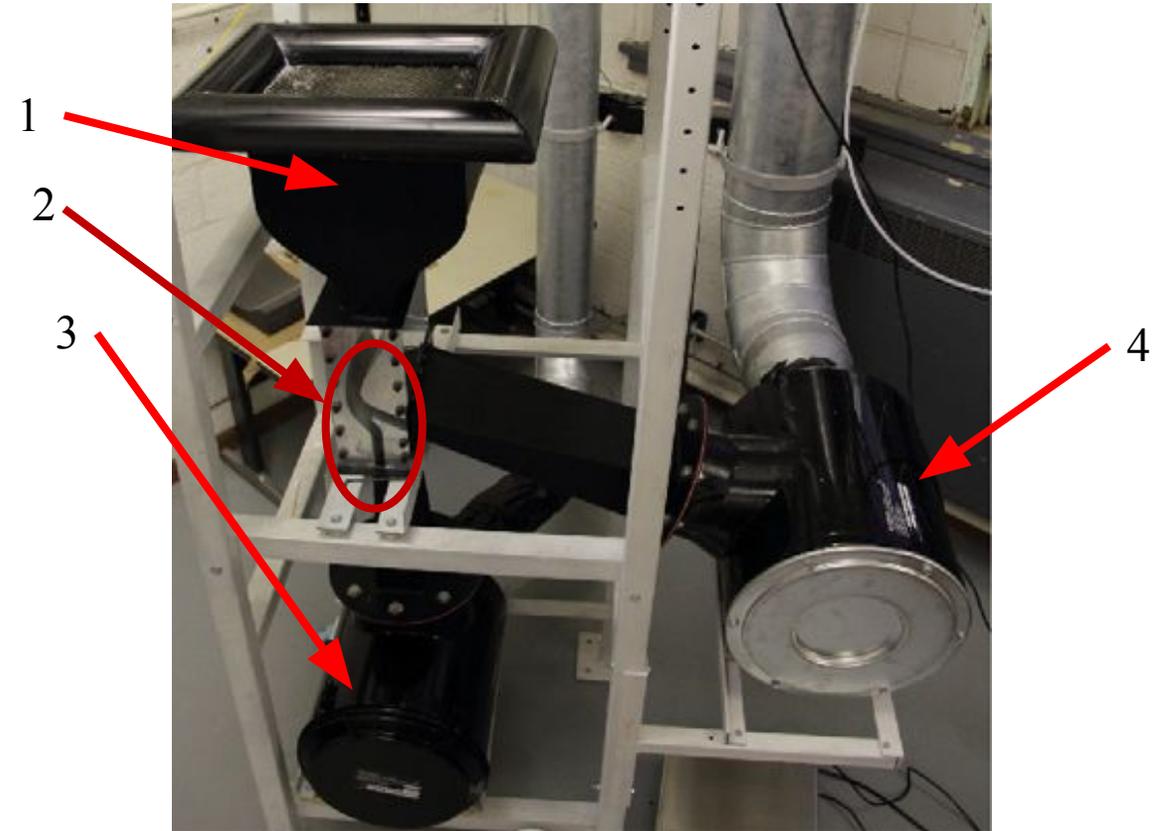


- A: ПЗУ
- B: Выходное отверстие
- C: генератор песка
- D: 4К камера
- E: Процессор
- F: Синхронизатор
- G: Лазерный контроллер
- H: Импульсный лазерный генератор



Результаты эксперимента:

$\eta = 92,8\%$
 $\Delta P = 315 \text{ Па}$
 $M = 22 \text{ кг}$



- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| 1. Входной канал | Результаты эксперимента: |
| 2. Сепаратор в разрезе | $\eta = 89,3\%$ |
| 3. Сборник частиц | $\Delta P = 297 \text{ Па}$ |
| 4. Компрессор | $M = 12 \text{ кг}$ |

Рисунок 2б – Испытания λ -образного ПЗУ в Аэрокосмическом университете Вирджинии (США 2017 год). <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.20245>



Рисунок 3 – Элементы ПЗУ изготовленные из углепластика ВКУ- 42

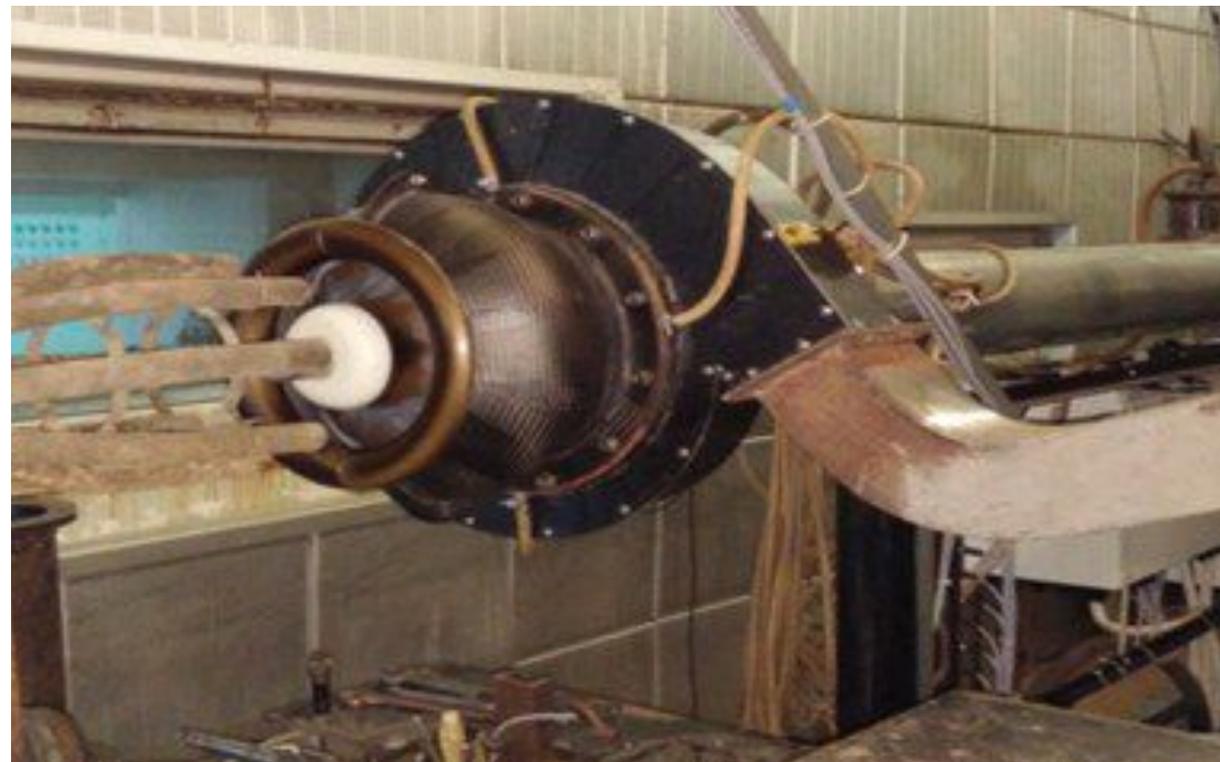


Рисунок 4 – Стендовые испытания λ-образного ПЗУ с забросом частиц песка (ЦИАМ. Россия 2018г.)
(www.journal.viam.ru)

СПИ проводились в условиях соответствующих взлетному режиму вертолетного двигателя, на котором наблюдается наибольшая запыленность воздуха поступающего в двигатель:

- средняя скорость на входе $V_{ср.}=70\text{м/с}$;
- концентрация пыли на входе в ПЗУ $0.5-1\text{ г/м}^3$.

Определение степени очистки воздуха проводились при подаче в ПЗУ кварцевой пыли 2 типов: “Крупная АС” (от 0 до 200 мкм) и “С” (от 40 до 1000 мкм).

Результаты испытаний:

- $\eta = 79-92\%$;
- $\Delta P = 298\text{ Па}$;
- $M = 10\text{ кг}$.

2. Построение 3D модели в ПО *Siemens NX 9* и *Ansys CFX* для исследования эффективности ПЗУ

при максимальном взлетном режиме работы двигателя

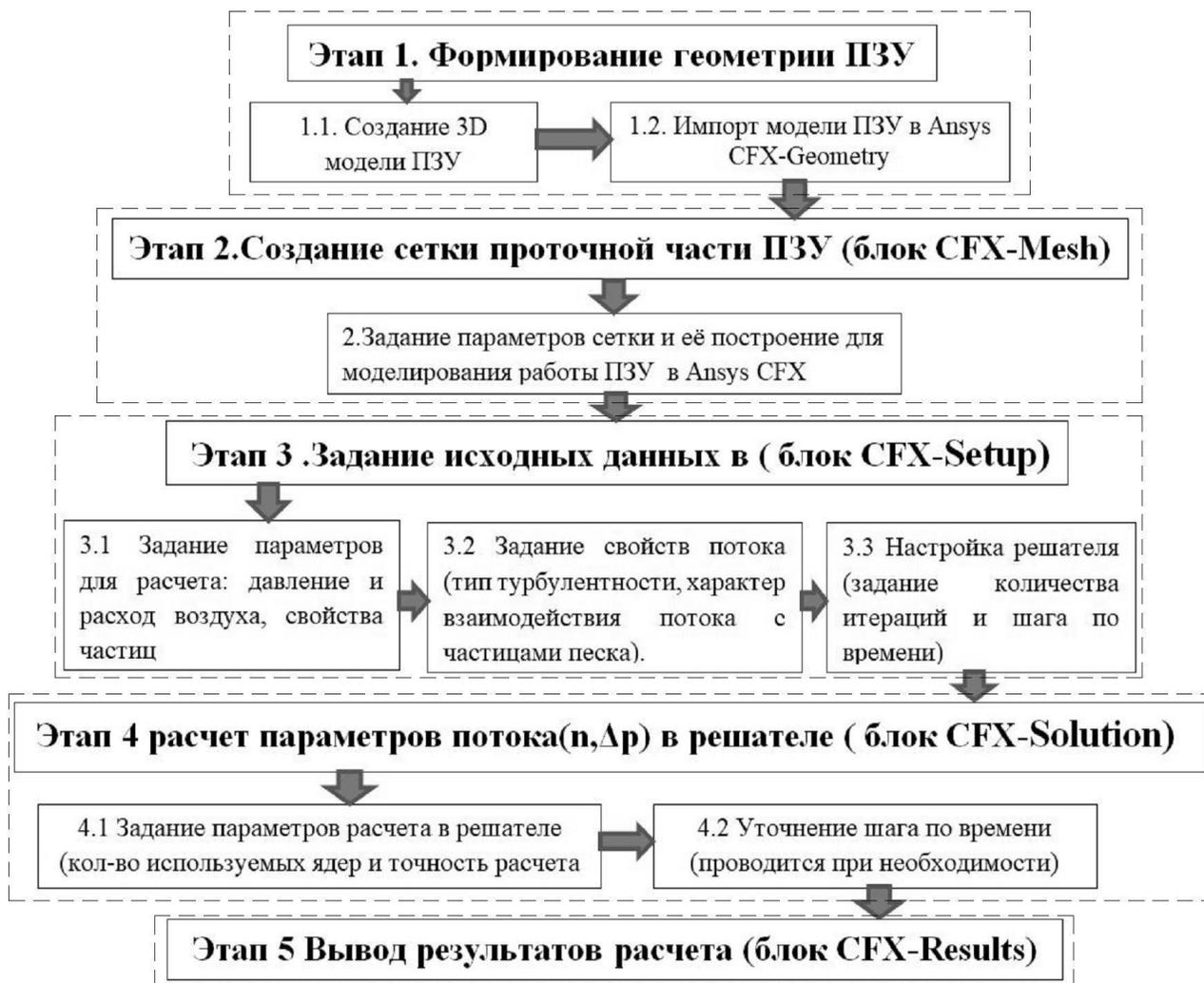


Рисунок 5 - Последовательность моделирования течения ПЗУ с применением ПО *Ansys CFX*

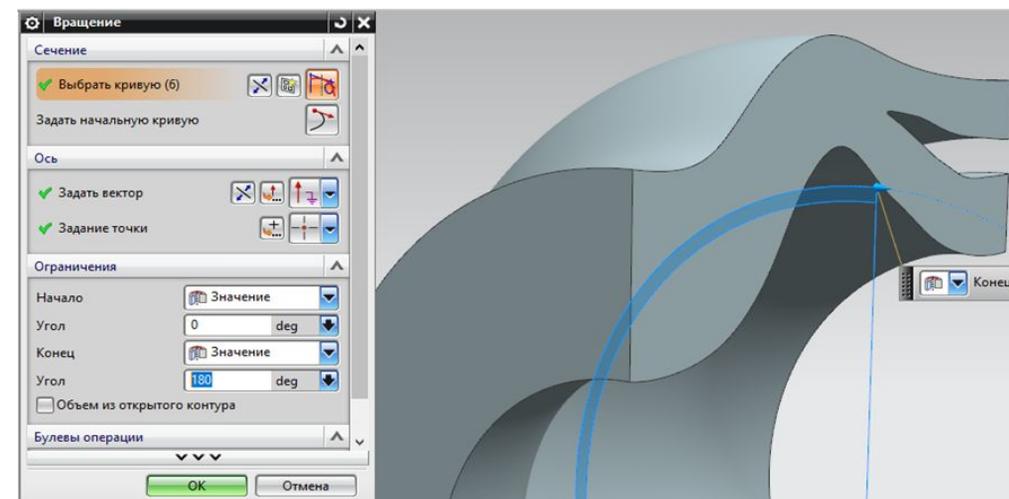


Рисунок 6 - Создание 3D модели в *Siemens NX9*

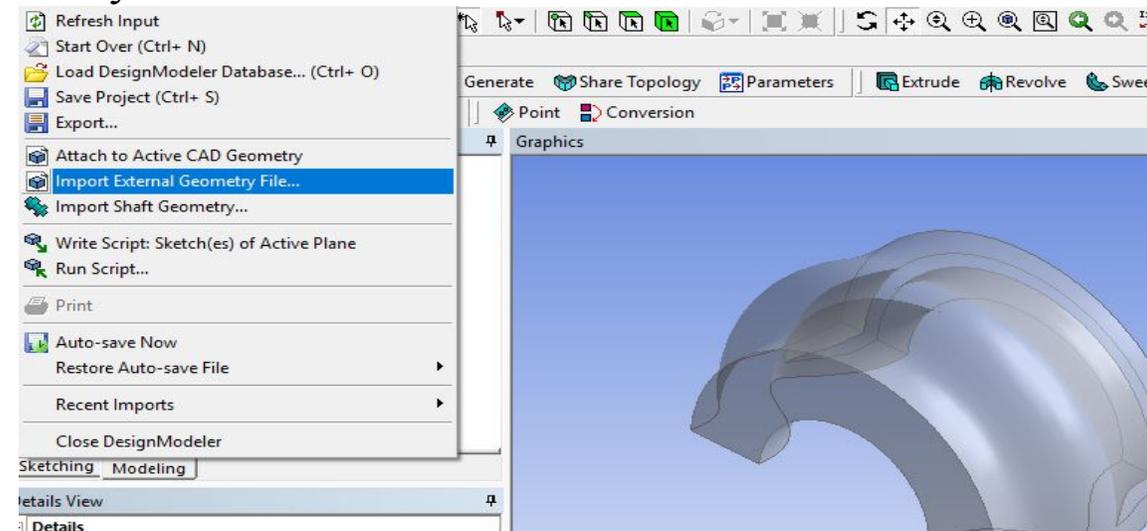


Рисунок 7 – Импорт модели в *Ansys CFX-Geometry*

3. Построение регрессионной модели описывающей влияние геометрий (радиус выходного канала R1 и длина сепаратора L) ПЗУ на критерий его эффективности (η , ΔP , M);

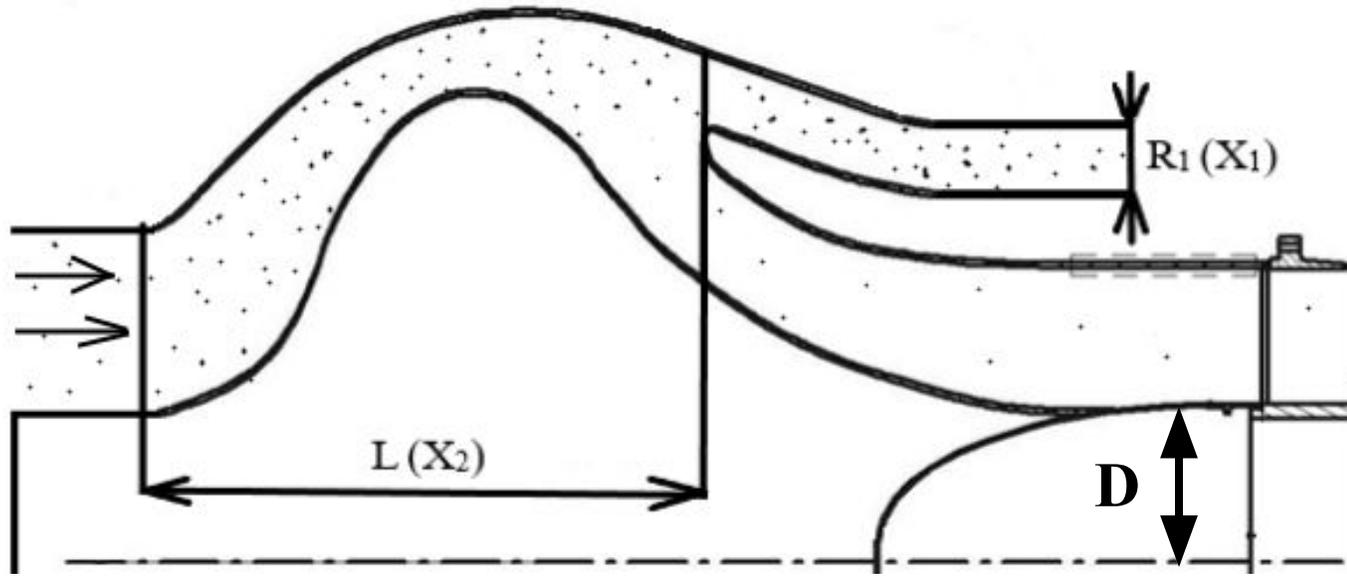


Рисунок 8 - Схема ПЗУ λ -образного типа

Условия расчета на входе в ПЗУ:

- давление на входе $P_{\text{вх}} = 101325$ Па;
- скорость воздуха $V = 70$ м/с;
- температура – 288 К

Режим работы двигателя ТВЗ-117

(“взлетный”):

- расход воздуха $G_{\text{в}} = 8$ кг/с;
- частота вращения вала $n = 15000$ об/мин.

Свойства песка:

- плотность песка $\rho_{\text{ч}} = 2800$ кг/м³;
- размер частиц $d = 50 \dots 500$ мкм;
- расход частиц $G_{\text{ч}} = 0.0924$ кг/с

В качестве варьируемых, рассматривались геометрические параметры исследуемого ПЗУ в области значений:

- радиус выходной части канала ПЗУ
- $1 \leq X_1 \leq 1$; ($25,17 \leq R_1 \leq 59,83$ мм)
- длина сепаратора:
- $1 \leq X_2 \leq 1$; ($212,16 \leq L \leq 445,84$ мм)

Основные выходные параметры ПЗУ:

- степень очистки воздуха η , %;
- потери давления в ПЗУ ΔP , мм.вод.ст. ;
- масса ПЗУ, кг.

Независимыми факторами моделей

являются:

- X_1 (радиус R_1 , мм);
- X_2 (длина L , мм).

Построение регрессионных моделей вида $\eta, \Delta P, M = f(X_1, X_2)$

Зависимости вида:

$$\eta = f_1(R, L), \Delta P = f_2(R, L), M = f_3(R, L)$$

определялись методом регрессионного анализа по данным, полученным при моделировании работы ПЗУ различной геометрии (X_1, X_2) на взлетном режиме работы ГТД.

Для оценки влияния указанных факторов и математического описания процесса очистки использовались уравнения регрессии вида:

$$\eta = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{11} \cdot X_1^2 + a_{22} \cdot X_2^2$$

$$\Delta P = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2$$

$$M = c_0 + c_1 \cdot X_1 + c_2 \cdot X_2 + c_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + c_{11} \cdot X_1^2 + c_{22} \cdot X_2^2$$

Расчет погрешности проводился по формуле:

$$\delta = \sum_{i=1}^{10} \frac{|(Y_{i\text{расч}} - Y_{i\text{эксп}})|}{10} * 100 \%,$$

Таблица 1– Матрица плана эксперимента и результатов эксперимента

№	X_1 (R)	X_2 (L)	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	Y_1	Y_2	Y_3
						$\eta, \%$	$\Delta P, \text{мм. вод.ст.}$	$M, \text{кг}$
1	-1	-1	1	1	1	94,7	47,35	23
2	-1	1	-1	1	1	95,8	80,8	18,81
3	1	-1	-1	1	1	94,4	64,5	13,15
4	1	1	1	1	1	94,8	26,5	19,76
5	-1	0	0	1	0	93,8	72,1	16,95
6	0	1,41	0	1	1,98	95,2	82,3	20,16
7	1,41	0	0	1,98	0	93,9	47,8	17
8	0	-1,41	0	0	1,98	94,8	76,9	15,02
9	0	0	0	0	0	94,7	49,9	14,1

В качестве варьируемых, рассматривались геометрические параметры исследуемого ПЗУ в области значений:

- радиус выходной части канала ПЗУ
- $1 \leq X_1 \leq 1$; ($25,17 \leq R_1 \leq 59,83$ мм)
- длина сепаратора:
- $1 \leq X_2 \leq 1$; ($212,16 \leq L \leq 445,84$ мм)

4. Выбор оптимальных значений геометрических размеров ПЗУ, с учетом основных

критериев эффективности ($\eta \rightarrow \max$; $\Delta P \rightarrow \min$; $M \rightarrow \min$)

После исключения незначимых факторов, уравнение регрессии примет вид:

$$\eta_1 = 95,37 + (-0,1414 \cdot X_1) + (-0,1827 \cdot X_1 \cdot X_2) + (-0,66 \cdot X_2^2)$$

$$\Delta P_2 = 35,43 + 32,18 \cdot X_2 + (-17,86 \cdot X_1 \cdot X_2) + 51,29 \cdot X_2^2$$

$$M = 16,421 + (-0,73 \cdot X_1) + 1,949 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,897 \cdot X_2^2$$

Погрешность по уравнениям составила: $\eta_1 = 0,01\%$, $\Delta P = 0,17\%$, $M = 0,03\%$.

После решения уравнений, было отобрано 4 оптимальных варианта геометрии, среди которых был выбран вариант 3. Таблица 2 – оптимальные значения.

Параметр	Значения параметров			
η , %	95,8	94,9	95,6	94,7
ΔP , мм.вод.ст.	35,43	72,4	35,43	36,7
M , кг	17,45	14,63	15,4	20
X_1	-1,41	1	1,41	-1
X_2	0	-1	0	-1
R_1 ПЗУ, мм	59,8	49,5	25,17	35,5
L ПЗУ, мм	354	300	354	300

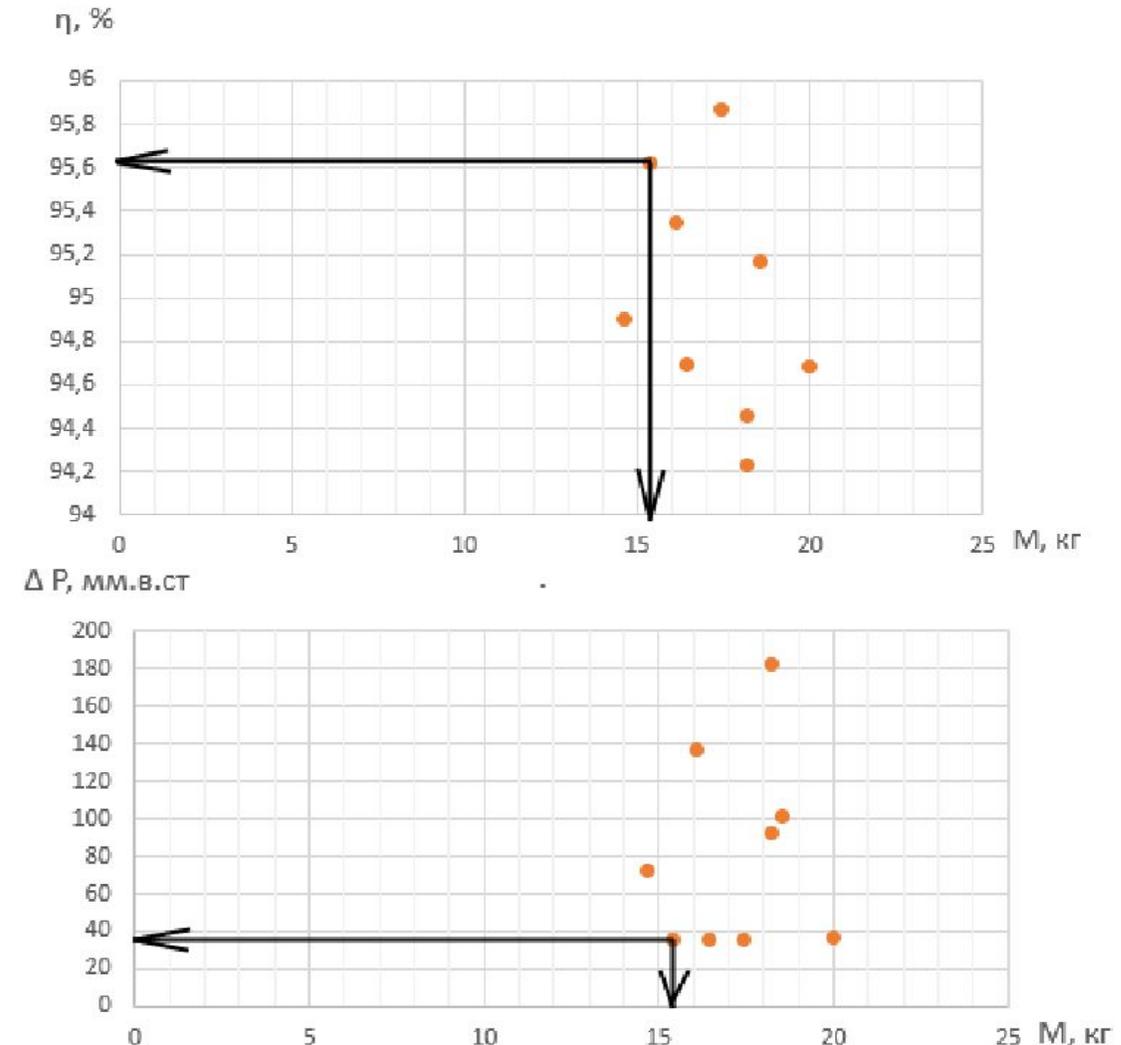


Рисунок 9 – параметры эффективности ПЗУ

Вывод:

1 По данным эксплуатации вертолетных ГТД установлено, что наиболее распространённым видом повреждений является эрозионный износ лопаток компрессора ГТД .

2 Проанализировав стендовые пылевые испытания пылезащитных устройств (ПЗУ) λ -образного типа проводившиеся в разных странах, был сделан вывод об актуальности данной проблемы.

3 С помощью ПО *Ansys CFX* было смоделировано течение двухфазного потока (воздух-твёрдая частица), количественно определены основные параметры ПЗУ (степень очистки (η), потери давления в ПЗУ (ΔP) и массу ПЗУ (M)).

4 С использованием матрицы плана и результатов эксперимента получены данные для построения регрессионных уравнений, описывающих зависимость выходных параметров ПЗУ (η , ΔP и M) от его геометрических параметров (R_1 , L).

5 Определена оптимальная геометрия, с учетом основных критериев эффективности ($\eta \rightarrow \max$; $\Delta P \rightarrow \min$; $M \rightarrow \min$) получено ПЗУ с показателями ($\eta = 95,6 \%$, $\Delta P = 35,3$ мм.вод.ст., $M = 15,4$ кг).



Спасибо за внимание!