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 описывающий 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

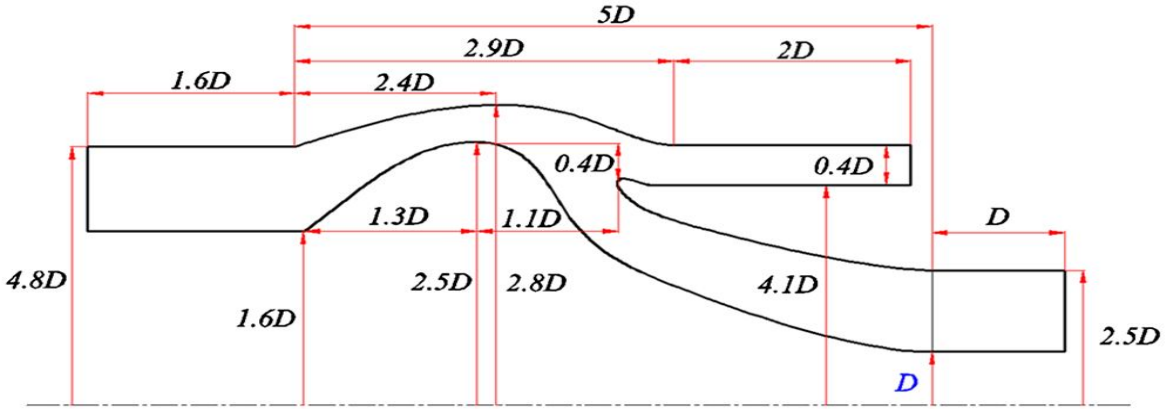
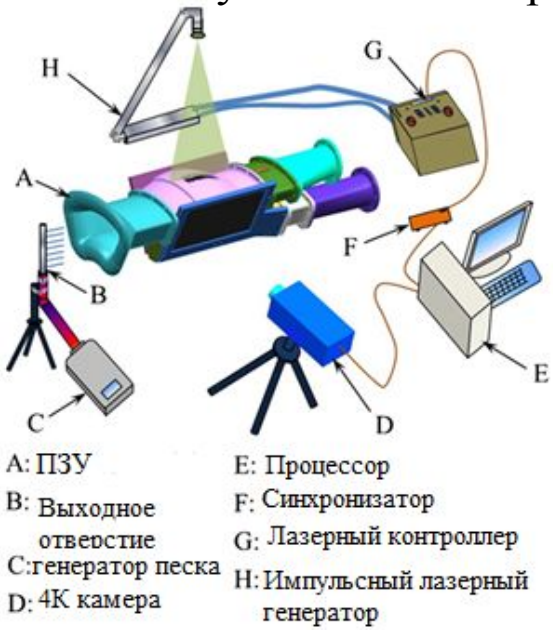
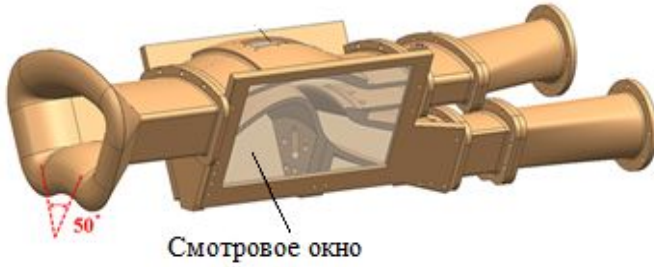


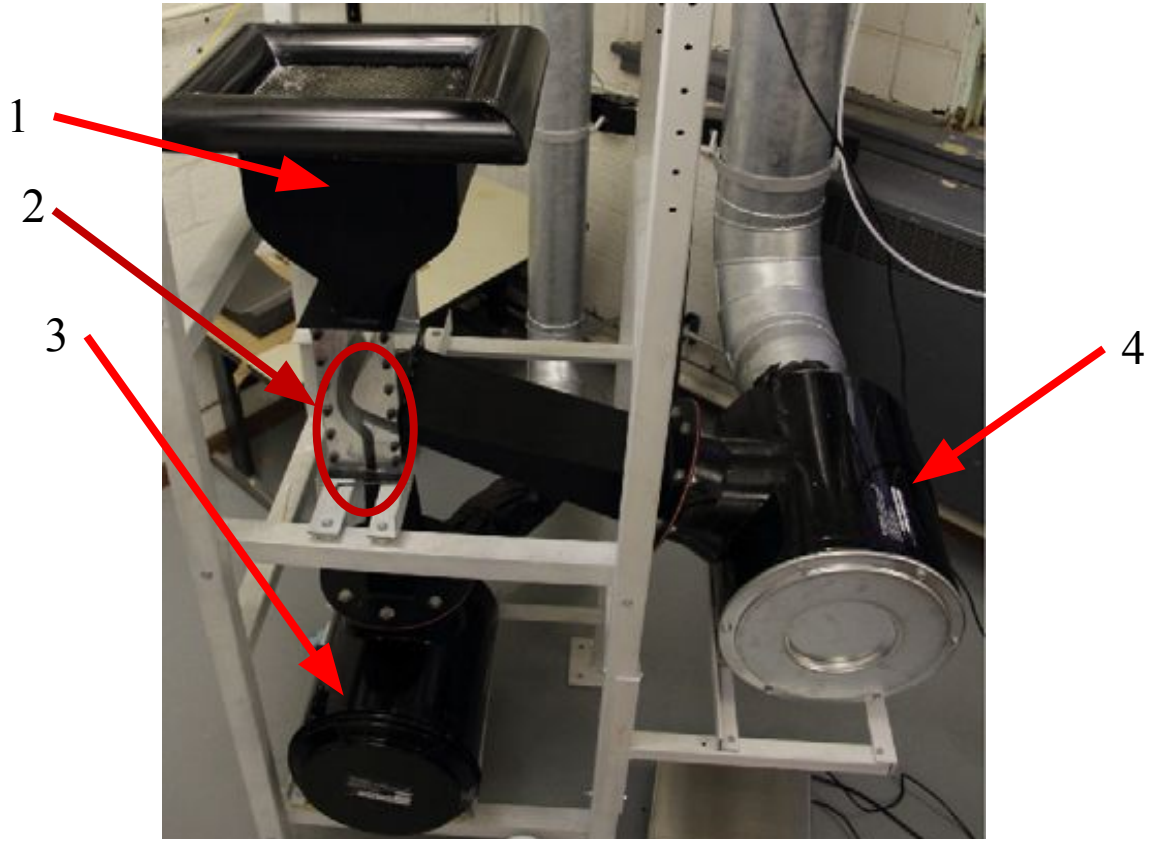
Рисунок 1– Геометрия построения ПЗУ





Результаты эксперимента:
η = 92,8%
ΔP= 315 Па
M = 22кг

Рисунок 2 - Исследования λ-образного ПЗУ в Нанкинском университете аэронавтики (Китай. 2018 год) **https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.C034037**



1. Входной канал
2. Сепаратор в разрезе
3. Сборник частиц
4. Компрессор

Результаты эксперимента:
η =89,3%
ΔP = 297 Па
M=12кг

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 Vср.=70м/с;
- концентрация пыли на входе в ПЗУ 0.5-1 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:

- η = 79-92%;
- ΔP = 298 Па;
- М = 10 кг.

2. Построение 3D модели в ПО *Siemens NX* 9 и *Ansys CFX* для исследования эффективности ПЗУ при максимальном взлетном режиме работы двигателя

Этап 1. Формирование геометрии ПЗУ

1.1. Создание 3D модели ПЗУ → 1.2. Импорт модели ПЗУ в Ansys CFX-Geometry

Этап 2.Создание сетки проточной части ПЗУ (блок CFX-Mesh)

2.Задание параметров сетки и её построение для моделирования работы ПЗУ в Ansys CFX

Этап 3 .Задание исходных данных в (блок CFX-Setup)

3.1 Задание параметров для расчета: давление и расход воздуха, свойства частиц → 3.2 Задание свойств потока (тип турбулентности, характер взаимодействия потока с частицами песка). → 3.3 Настройка решателя (задание количества итераций и шага по времени)

Этап 4 расчет параметров потока(n,Δp) в решателе (блок CFX-Solution)

4.1 Задание параметров расчета в решателе (кол-во используемых ядер и точность расчета → 4.2 Уточнение шага по времени (проводится при необходимости)

Этап 5 Вывод результатов расчета (блок CFX-Results)

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

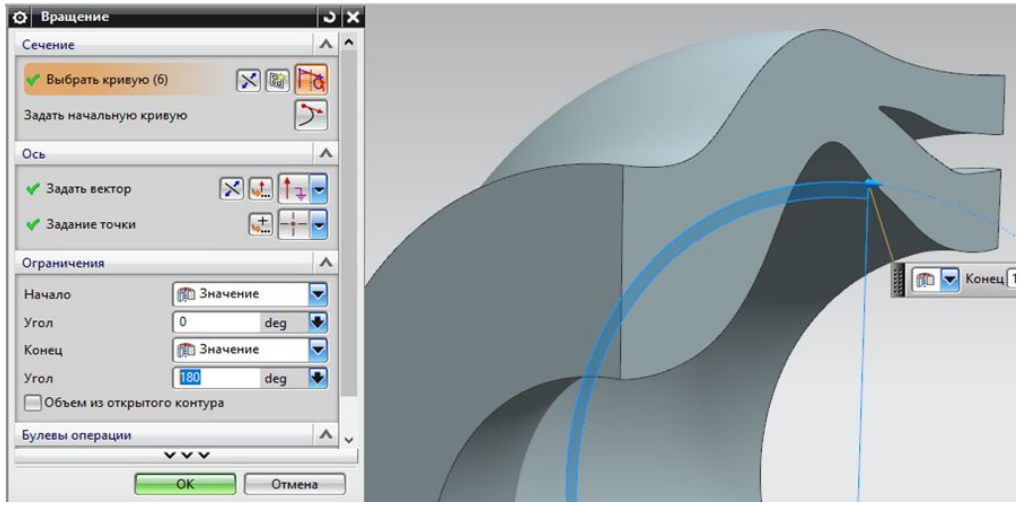


Рисунок 6 - Создание 3D модели в Siemens NX9

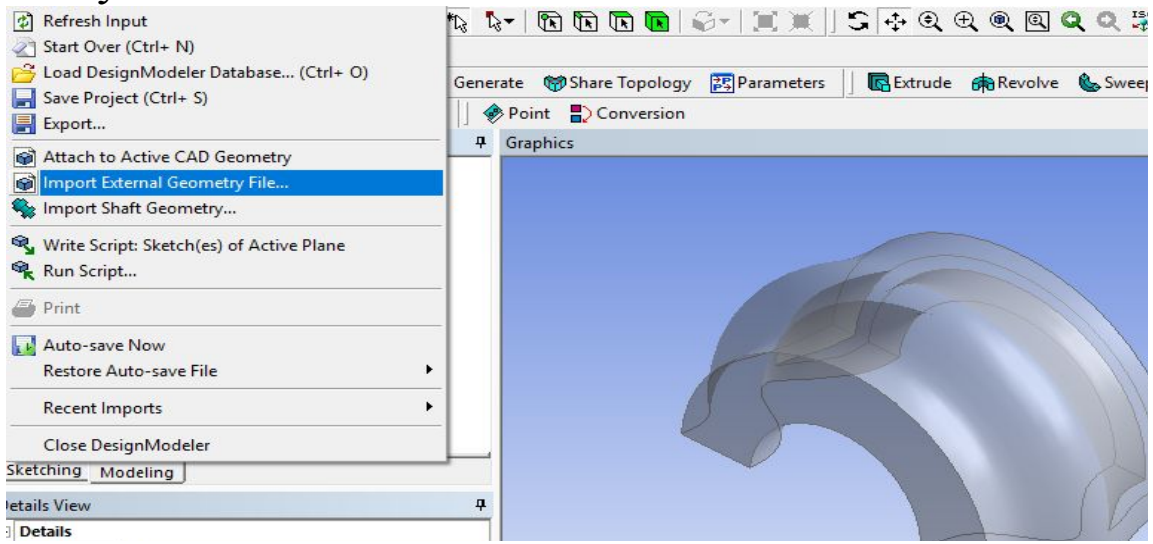


Рисунок 7 – Импорт модели в Ansys CFX-Geometry

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

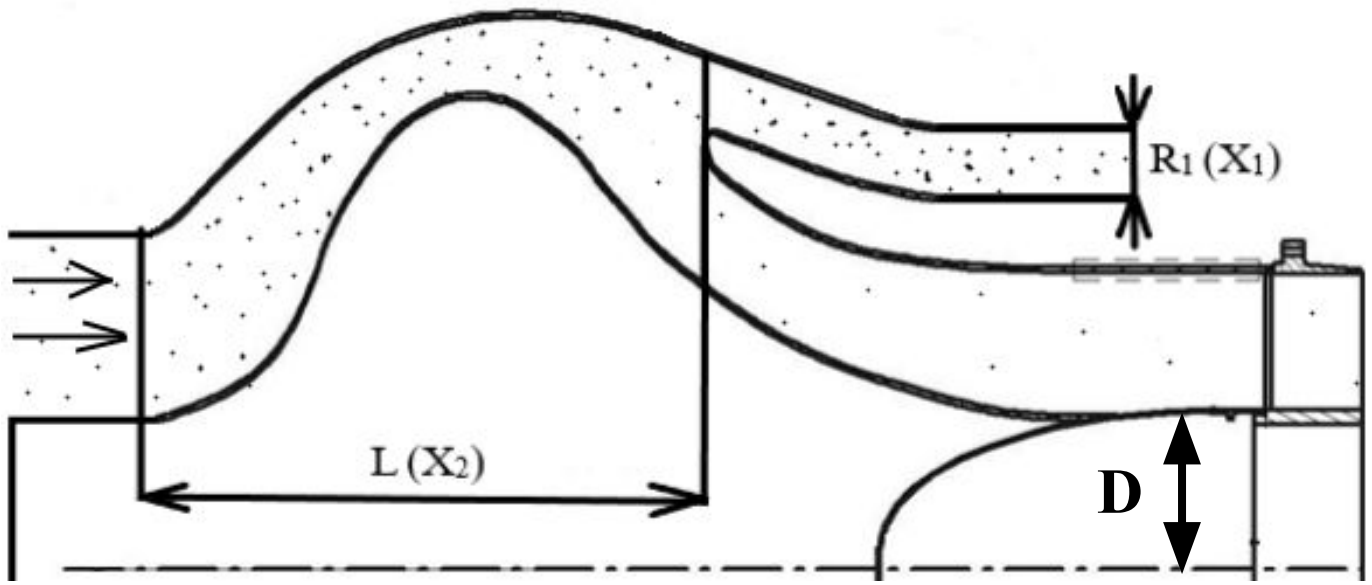


Рисунок 8 - Схема ПЗУ λ-образного типа

Условия расчета на входе в ПЗУ:

– давление на входе $P_{вх}$=101325 Па;

–скорость воздуха V=70м/с;

– температура – 288 К

Режим работы двигателя ТВ3-117 (“взлетный”):

– расход воздуха $G_в$=8кг/с;

– частота вращения вала n=15000 об/мин.

Свойства песка:

– плотность песка ρч=2800 кг/м3;

– размер частиц d=50…500 мкм;

– расход частиц Gч=0.0924кг/с

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

– радиус выходной части канала ПЗУ

– 1≤ X1 ≤ 1; (25,17 ≤ R1 ≤ 59,83 мм)

– длина сепаратора:

– 1 ≤ X2 ≤ 1 ; (212,16 ≤ L ≤ 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 η, ΔP, M = f(X_1, X_2)

Зависимости вида:

η = f1 (R1,L), ΔP = f2 (R1,L), M = f3 (R1,L) определялись методом регрессионного анализа по данным, полученным при моделировании работы ПЗУ различной геометрии (X1, X2) на взлетном режиме работы ГТД.

Для оценки влияния указанных факторов и математического описания процесса очистки использовались уравнении 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:

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

Таблица 1– Матрица плана эксперимента и результатов эксперимента

№	X_1 (R)	X_2 (L)	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	$У_1$ η, %	$У_2$ Δ P, мм. вод.ст.	$У_3$ M, 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≤ X1 ≤ 1; (25,17 ≤ R1 ≤ 59,83 мм)

– длина сепаратора:

– 1 ≤ X2 ≤ 1 ; (212,16 ≤ L ≤ 445,84 мм)

4. Выбор оптимальных значений геометрических размеров ПЗУ, с учетом основных критериев эффективности (η → max; ΔP → min; M → 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: η_1= 0,01%, ΔP=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

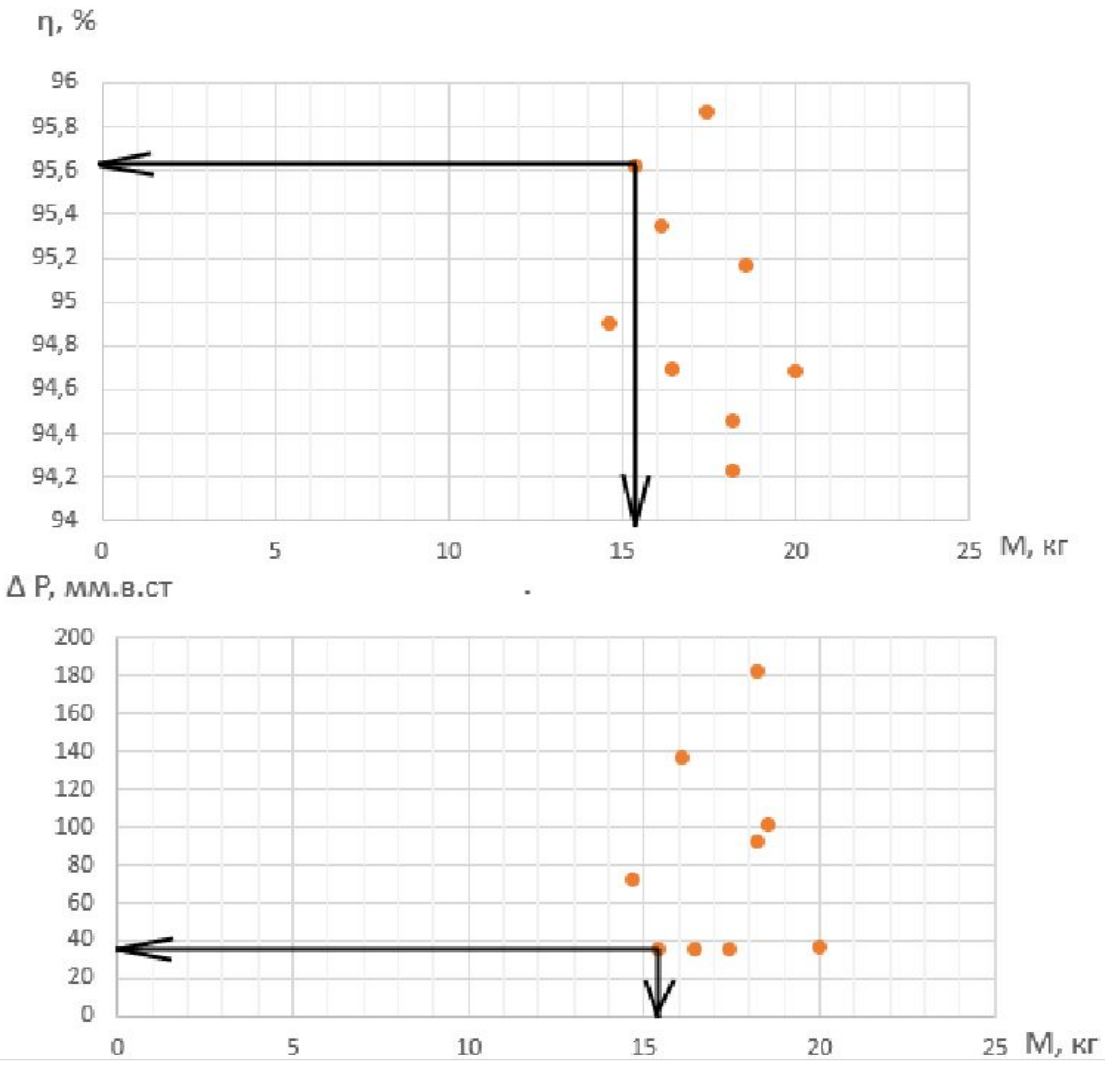


Рисунок 9 – параметры эффективности ПЗУ

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-твердая 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 (η = 95,6 %, ΔP = 35,3 мм.вод.ст., M =15.4 кг).

Спасибо за внимание!