

## АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В ПЫЛЕЗАЩИТНОМ УСТРОЙСТВЕ

А. Х. РАХИМОВ<sup>1</sup>, Б. БАЛЭКУА-МАДЗО<sup>2</sup>, Х. Т. МПИКА-ЭШЕР<sup>3</sup>, А. С. ГИШВАРОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>mr.abdusattor@list.ru, <sup>2</sup>balekouamadzobonheur@gmail.com, <sup>3</sup>euchermpika@gmail.com, <sup>4</sup>gas-rb@mail.ru

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

**Аннотация.** Проводится исследование эффективности моделирование двухфазного потока в пылезащитном устройстве  $\lambda$ -образного типа с применением различных видов моделей. Исследования проводилось на примере пылезащитного устройства  $\lambda$ -образного типа, изготовленного из композиционного материала и испытанного на стенде во ФГУП «ЦИАМ». Условия испытаний соответствовали взлетному режиму вертолетного двигателя, на котором наблюдается наибольшая запыленность воздуха, поступающего в двигатель через пылезащитное устройство при эксплуатации. Моделирование двухфазного потока «воздух – частицы пыли» проводилось с применением программного комплекса (ПК) *ANSYS Fluent*.

**Ключевые слова:** пылезащитное устройство; эффективность; степень очистки воздуха; потеря давления; испытания.

Пылезащитное устройство считается важнейшим элементом для сохранения работоспособности вертолетных двигателей при работе в условиях запыленного воздуха. К настоящему времени в зарубежных и отечественных ПЗУ достигнут примерно одинаковый уровень эффективности. Так, в ЦИАМ разработана и испытана базовая модель  $\lambda$ -образного ПЗУ со степенью очистки на взлетном режиме двигателя 97 % на пыли типа «С», 86 % на пыли типа «крупная АС» и 65 % на пыли типа «мелкая АС». Потери полного давления - до 1000 Па. Данная конструкция  $\lambda$ -образного ПЗУ предназначена для установки на двигатели ВК-800 и ТВ7-117В, а также двигатель вертолета Ка-226 [7].

В данной работе рассматриваются два основных метода моделирования двухфазного течения: Лагранжевый и Эйлеровый методы. В основе Лагранжева метода лежит рассмотрение движения отдельных частиц (или групп частиц) дисперсной фазы. В основе Эйлерова метода лежит рассмотрение изменений параметров течения (скоростей, давлений, температур) в точках пространства. В рамках Эйлерова подхода все фазы рассматриваются как сплошные [6].

В *ANSYS Fluent* Лагранжев метод представлен моделями *DPM* (*Discrete Phase Model* – модель дискретной фазы) и *DEM* (*Discrete Element Method* – метод дискретного элемента) [4].

Эйлеров метод представлен моделями *VOF* (*Volume of Fluid* — метод объема жидкости), *Mixture* (модель многофазной смеси) и *Eulerian* (полная Эйлерова модель или модель взаимопроникающих сред).

В *Ansys Fluent* рассматриваются 2 класса двухфазных течений [4]: стратифицированный (с протяженной границей раздела фаз) и дисперсный (вторичная фаза присутствует в виде отдельных мелких элементов). В случае дисперсного режима необходимо задают плотность дисперсной фазы (ожидаемые локальные значения объемной доли) и характерный размер ее элемента (капли, пузырька или зерна).

Полная Эйлерова модель *Eulerian* позволяет рассматривать как дисперсные течения, так и стратифицированные (специальная подмодель *Multifluid VOF*). Во всех случаях фазы считаются взаимопроникающими.

Лагранжева модель *DPM* подразумевает построение траекторий частиц дисперсной фазы в сплошной фазе на основе решения обыкновенных дифференциальных уравнений движения. Частицы могут быть как твердыми, так пузырьками и каплями. Модель учитывает двухсторонний обмен массой, импульсом и энергией частиц со сплошной фазой. Модель применима для небольших значений объемной концентрации частиц, когда взаимодействие частиц между собой учитывается опосредовано. Для более точного учета взаимодействия частиц при увеличении концентрации используется гибридная модель *DDPM*. Гибридный подход представлен моделью *DDPM* (*Dense Discrete Phase Model* - модель плотной дискретной фазы), построенной как комбинация моделей *Eulerian* и *DPM* [4].

Для решения рассматриваемой задачи, сначала необходимо получить решение для поля сплошной, а затем определить, какая модель требуется.

Первым шагом в решении любой многофазной задачи является определение того, какой из режимов многофазного потока наилучшим образом отражает поток. Сравнение моделей в руководстве *Ansys Fluent* содержит некоторые общие рекомендации по определению подходящих моделей для каждого режима.

При исследовании ПЗУ рассматривался поток вида «газ–твердое вещество» с использованием модели *DDPM*.

На основе физико-математической постановки и методологии решения задачи многофазного течения, описанной выше, была поставлена и решена задача оценки эффективности моделирования двухфазного потока на примере ПЗУ □-образного типа, изготовленного из композиционного материала и испытанного на стенде во ФГУП «ЦИАМ» (рис.1) с определением газодинамических и сепарационных характеристик, включая степень очистки воздуха и потери полного давления. Условия испытаний соответствовали взлетному режиму вертолетного двигателя, на котором запыленность воздуха наибольшая.



Рис. 1. Общий вид собранного ПЗУ с «улиткой» на испытательном стенде

При этом средняя скорость потока воздуха во входном сечении ПЗУ соответствовала 65–75 м/с, концентрация пыли на входе в ПЗУ 0,5–1,0 г/м<sup>3</sup>.

Оценка степени очистки воздуха проводилась при подаче в ПЗУ кварцевой пыли двух типов – «Крупная АС» и «С» (размер частиц – от 0 до 1000 мкм), применяемых в международной практике при испытаниях ПЗУ вертолетных двигателей [5].

Результаты испытаний ПЗУ были следующие:

– степень очистки воздуха от пыли типа «Крупная АС» 79...81%, от пыли типа «С» равна 86...92 %;

– потери полного давления в ПЗУ равны 1098 – 1480 Па.

Твердотельная модель и расчетная сетка λ-образного ПЗУ, с использованием которых производилось исследование показаны на рис. 2.

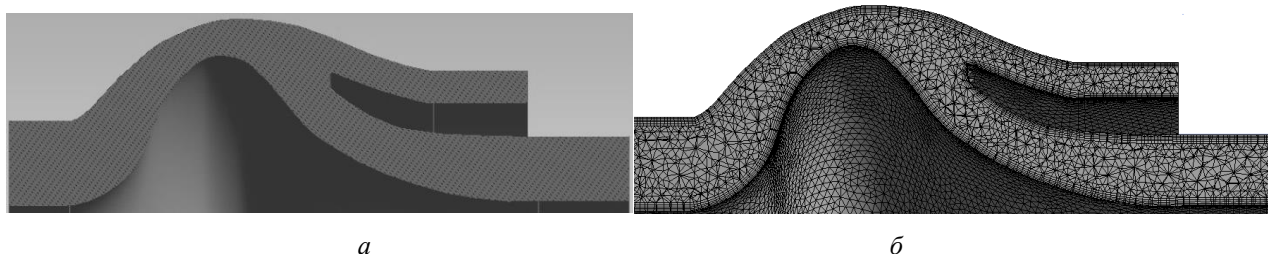


Рис. 2. Твердотельная модель (а) и расчетная сетка (б) λ-образного ПЗУ

Граничные условия были следующие:

- скорость потока на входе – 70 м/с;
- температура – 288 К;
- концентрация пыли на входе – 1 г/м<sup>3</sup>;
- материал частиц – кварцевый песок;
- размер частиц – 400 мкм;
- использовалась модель турбулентности – к-ε.

Погрешность моделирования параметров ПЗУ оценивалась по формулам:

$$\delta_{\eta} = \frac{\eta_{\text{мод}} - \eta_{\text{экс}}}{\eta_{\text{экс}}} * 100 \% ; \quad \delta_{\Delta P} = \frac{\Delta P_{\text{мод}} - \Delta P_{\text{экс}}}{\Delta P_{\text{экс}}} * 100 \% ,$$

где –  $\eta_{\text{мод}}$  и  $\Delta P_{\text{мод}}$  – значения параметров  $\eta$  и  $\Delta P$ , полученные моделированием;  $\eta_{\text{экс}}$  и  $\Delta P_{\text{экс}}$  – значения параметров  $\eta$  и  $\Delta P$ , полученные в эксперименте.

Результаты сравнения моделирования с экспериментом приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Результаты моделирования	Эксперимент	Погрешность моделирования абсолютная	Погрешность моделирования в %
1. Степень очистки, %	89	92	3	3,3
2. Потеря давления, Па	1601	1480	879	7,6

Из таблицы видно, что для рассматриваемого ПЗУ погрешность моделирования составляет: по степени очистки воздуха от пыли – 3,3 %; по потере давления в ПЗУ – 7,6 %.

Примечание: моделирование двухфазного потока в рассматриваемом ПЗУ проводилось при следующих допущениях:

- частицы рассматривались как твёрдые сферы одинакового радиуса;
- частицы взаимодействовали друг с другом только попарно;
- аэродинамическое взаимодействие между частицами отсутствовало;
- на частицы воздействовали силы, моменты и тепловые потоки, причём эти воздействия обусловлены мгновенными значениями параметров частиц: поступательной скоростью частиц и воздуха, угловой скоростью частиц, а также температурой частиц и воздуха.

#### 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. **Вычислительная гидродинамика** [Электронный ресурс] // Инженерная Компания Технополис. С. 30. URL: <https://tpolis.com/ansys/liquieds.php>.

4. **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, каф. авиационных двигателей.

**БАЛЭКУА-МАДЗО Бонхэр**, студент 4-го курса, каф. авиационных двигателей.

**МПИКА-ЭШЕР Херман-Тони**, студент 4-го курса, каф. авиационных двигателей.

**ГИШВАРОВ Анас Саидович**, д.т.н., проф., каф. авиационных двигателей.

#### METADATA

**Title:** Study the effectiveness of the dust devices.

**Authors:** A. N. Rahimov<sup>1</sup>, B. Balekoua-Madzo<sup>2</sup>, H. T. Mpika Eucher<sup>3</sup>, A. S. Gishvarov<sup>4</sup>

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

**Email:** : <sup>1</sup>mr.abdusattor@list.ru, <sup>2</sup>balekouamadzobonheur@gmail.com, <sup>3</sup>eucherpika@gmail.com <sup>4</sup>gas-rb@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (24), pp. 43-46, 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:

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

**BALEKOUA-MADZO, Bonheur**, student of the department. aircraft engines.

**МПИКА EUCHER, Herman Tony**, student of the department. aircraft engines.

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