

УДК 621.45.017
Код ГРНТИ 55.42.47

doi 10.54708/19926502_2025_29210828

Исследование течения газодисперсных потоков в пылезащитных устройствах ГТД

Д.А. Емельянов*, С.Я. Елисеев

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная проблема износа лопаток компрессора вследствие попадания дисперсных частиц в воздухозаборники газотурбинных двигателей вертолетов. Степень воздействия эрозии на характеристики двигателей зависит от концентрации и массы пыли, попавшей в двигатель в процессе эксплуатации, а также от ее физико-химических параметров. Для исследования процесса очистки воздуха в пылезащитном устройстве проанализированы физико-химические параметры частиц. Определены экспериментальные значения коэффициента лобового сопротивления для одномерного перемещения частиц. Показана взаимосвязь скорости витания и концентрации твердых частиц различных размеров при их движении в потоке газа. Установлено, что при повышении концентрации твердых частиц в газодисперсном потоке, коэффициент формы увеличивается. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и расчетах пылезащитных устройств газотурбинных двигателей.

Ключевые слова: газодисперсный поток, пылезащитное устройство, газотурбинный двигатель, концентрация, дисперсные частицы, коэффициент формы, скорость витания.

*vvavrn@bk.ru

Введение

С расширением областей применения авиационной техники увеличивается ареал ее использования. Это часто приводит к тому, что качество аэродромов и воздействие агрессивных факторов окружающей среды, таких как влажность и повышенное содержание твердых частиц в потоке воздуха, негативно сказываются на рабочих органах авиационных двигателей. Особенно это касается газотурбинных двигателей (ГТД), что связано с особенностями их рабочего цикла. Защита их проточной части от попадания посторонних предметов стала одной из важнейших проблем при создании новых и модернизации существующих ГТД для эксплуатации в условиях загрязненной атмосферы [1].

Специфической проблемой при использовании вертолетов в различных природно-климатических зонах является поднятие облака пыли и песка при взлете и посадке, которое засасывается в двигатели. Это сказывается на эксплуатационной надежности и приводит к износу компрессора двигателя до окончания назначенного ресурса из-за абразивной эрозии.

Эрозия от газодисперсного потока, содержащего твердые частицы, представляет опасность для двигателей вертолетов, которые чаще всего базируются на грунтовых площадках и создают пылевое облако высотой до 15 метров. Аппараты вертикального взлета и посадки вызывают пылевое облако до 30 метров и находятся в нем в три раза дольше (до 90 секунд), чем двигатели самолетов при длительном рулении по земле [2].

Абразивное действие пыли объясняется наличием в ней частиц окиси кремния с дисперсностью от 5 до 500 микрометров, что обеспечивает ее высокую проникаемость. Из-за пылевой эрозии элементов проточной части ГТД и отложений пыли возникают такие отказы, как падение мощности, недопустимое повышение температуры газа перед турбиной, поломка ослабленных эрозией лопаток и помпаж [3]. Из-за больших относительных скоростей воздуха, подаваемого на лопатки, и высоких окружных скоростей столкновение их даже с мельчайшими твердыми частицами приводит к сильному износу.

Степень воздействия эрозии на характеристики двигателей зависит от концентрации и плотности пыли, попавшей в двигатель в процессе эксплуатации, а также от ее физико-химических свойств. Исходя из всего выше перечисленного, исследование влияния концентрации и вида твердой фазы на аэродинамические характеристики газодисперсного потока является важной и актуальной проблемой, решение которой позволит увеличить ресурс двигателя.

Постановка исследуемой задачи

Скорость эрозии определяется в основном твердостью и химическим составом частиц пыли, а также зависит от размера этих частиц. Частицы размером до 20 микрон не вызывают значительной эрозии [4]. В компрессоре первые ступени изнашиваются равномерно по всей входной кромке, но на последующих ступенях износ усиливается по направлению к периферии лопаток из-за разделения частиц. Рабочие лопатки в средних и последующих ступенях подвержены большему износу, в то время как направляющие лопатки – в первых ступенях [5]. Согласно другим исследованиям, для вертолетных ГТД рабочие лопатки первых ступеней изнашиваются больше, а направляющие – в зоне забора воздуха из компрессора [6]. На последних ступенях малых двигателей задние кромки лопаток, толщина которых составляет всего от 50 до 120 микрон, могут быть полностью стерты пылью. Наиболее сильно в осевом компрессоре изнашиваются рабочие лопатки (Рис. 1).

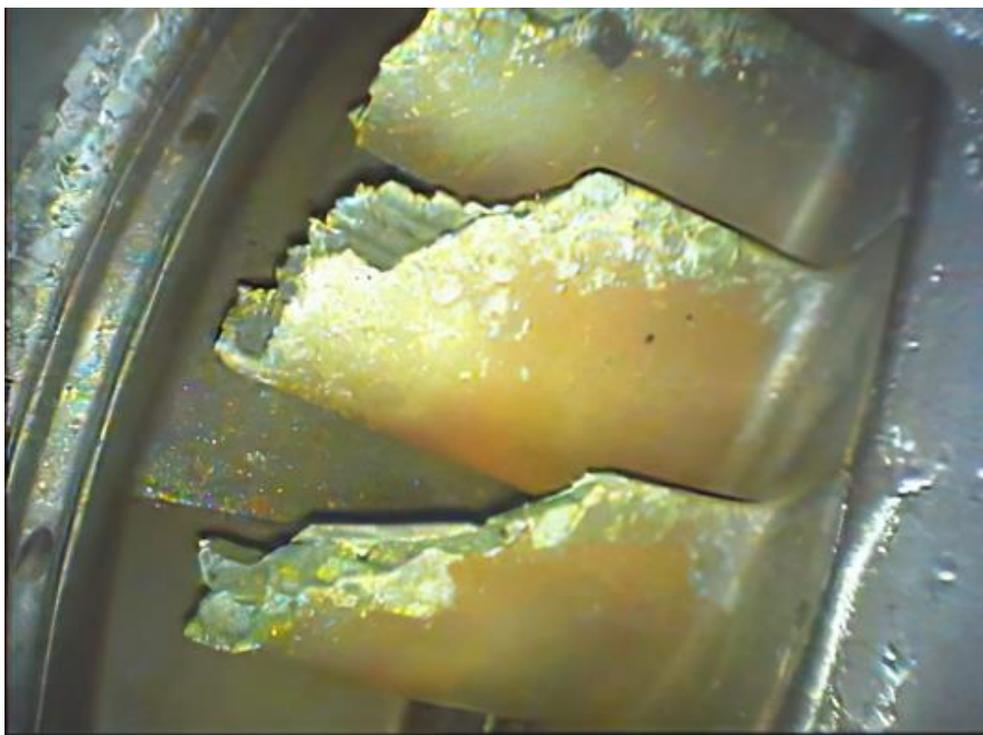


Рисунок 1. Изношенные рабочие лопатки осевого компрессора двигателя ТВ3-117.

Износ этих лопаток происходит по входной кромке и корытцу, причем степень износа увеличивается от средних ступеней к последним с локализацией зоны износа на периферии лопаток (Рис. 2).



Рисунок 2. Характер предельного износа рабочих лопаток компрессора со 2-й по 8-ю ступени.

Для предотвращения повреждения двигателей частицами пыли используются специальные пылезащитные устройства. Например, на вертолете Ми-24 установлены двигатели ТВ3-117В с такими устройствами, которые очищают воздух на 70–75 % и уменьшают износ лопаток компрессора примерно в 2,5–3 раза [7].

Методы и методология исследования

Для исследования процесса очистки воздуха в пылезащитном устройстве необходимо изучить их физико-химические параметры, такие как размер и форма частиц, их скорость вращения, форма и другие свойства [8].

Процесс улавливания мелкодисперсных частиц под воздействием силы тяжести в турбулентном потоке включает две составляющие [9]:

1. Непрерывное опускание частиц вниз внутри несущих их колебательных молекул.
2. Случайное по направлению, частоте и амплитуде перемещение частиц с подъемами и спусками вместе с колебательными полями, которые их несут.

Первая составляющая – непрерывное опускание частиц – описывается уравнением (1) в стоксовском приближении:

$$v_p = \tau_p g, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; τ_p – время релаксации частицы, с.

Это уравнение применимо для случая свободного опускания частиц в стационарном ламинарном потоке.

Уравнение вертикального перемещения стоксовской частицы в горизонтальном потоке с учетом гравитационной силы имеет вид [10]:

$$\begin{aligned} \frac{dv_p}{dt} + \beta v_p &= \beta V' \sin \omega t - g, \\ v_p(0) &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где v_p – скорость оседания частицы, м/с; t – рассматриваемый момент времени, с; β – фактор инерционности частицы, называемой иногда «постоянной времени»; ω – лангранжевая частота пульсации, с⁻¹; V' – амплитуда поперечной составляющей скорости пульсаций турбулентного потока, м.

Его решение имеет вид:

$$v_p = -\tau_p g + \frac{V' \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau_p^2}} + \frac{\omega \tau_p V' e^{-t/\tau_p}}{1 + \omega^2 \tau_p^2}. \quad (3)$$

Форма частицы оказывает значительное влияние на ее аэродинамические свойства и, следовательно, на траекторию ее движения. В частности, уравнение (3) показывает, что форма частицы влияет на параметры τ_p .

Степень отклонения реальной частицы от сферической формы называют геометрическим коэффициентом формы, K_z . Геометрический коэффициент формы K_z определяется как отношение реальной площади поверхности частицы, S , к площади поверхности сферы, $S_{ш}$, имеющей тот же объем [11]:

$$K_z = \frac{S}{S_{ш}} = \frac{1}{\Psi} = 0,207 \frac{S}{V_n^{2/3}}. \quad (4)$$

Величина Ψ , обратная коэффициенту формы K_z , называется коэффициентом сферичности или фактором формы [12].

Динамический коэффициент формы, K_ϕ , используется для частиц, форма которых сильно отличается от сферической. Он представляет собой отношение лобового сопротивления частицы нестандартной формы к сопротивлению сферической частицы с эквивалентным диаметром d_3 .

Общий случай динамического коэффициента формы определяется из условия соотношения скоростей осаждения частицы нестандартной формы с эквивалентным диаметром d_3 и сферической частицы с седиментационным диаметром d_s [13]:

$$K_\phi = \frac{d_3^2}{d_s^2}, \quad (5)$$

где d_s – седиментационный диаметр, определяемый как диаметр шара с той же плотностью и скоростью оседания, что и частица неправильной формы диаметром d_s ; d_3 – эквивалентный диаметр частицы по объему, определяемый как диаметр шара с той же плотностью, объемом $V_r = V_3$ и массой этой частицы.

Рекомендуют следующие выражения для динамического коэффициента формы частиц при ламинарном режиме их обтекания [14]:

при $Re_u < 0,2$:

$$K_\phi = (0,8431 \lg(1/0,065K_z))^{-1} \quad (6)$$

при $0,2 < Re_u < 2000$:

$$K_\phi = K_z^{0,9} Re_u^{0,15\sqrt{K_z-1}} \quad (7)$$

при $2 \cdot 10^3 < Re_u < 2 \cdot 10^5$:

$$K_\phi = 12,4 - 11,4K_z^{-1}. \quad (8)$$

При вертикальном движении частицы вниз ее скорость равна нулю в начальный момент, затем под воздействием силы тяжести она возрастает до тех пор, пока сила тяжести не станет равной силе сопротивления $G = F_{сопр.}$, где:

$$G = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_m g. \quad (9)$$

При этом $F_{сопр.}$ принимает вид:

$$F_{сопр.} = \frac{C_x \rho g (W - V) |W - V| \pi d^2}{8}. \quad (10)$$

Коэффициент лобового сопротивления C_x здесь является функцией числа Рейнольдса и обычно определяется по экспериментальным данным в виде кривой $C_x = f(Re_u)$.

Различные авторы предложили множество эмпирических формул для связи коэффициента лобового сопротивления C_x и числа Рейнольдса Re_u [15–17].

Однако наиболее удачной по простоте и точности является формула, предложенная Л. Клячко [18]:

$$C_x = \frac{24}{Re_q} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re_q}}. \quad (11)$$

Коэффициенты аэродинамического сопротивления влияют на величину лобового сопротивления. Оно, в свою очередь, зависит от множества факторов: размера, формы и ориентации мелкодисперсных частиц в потоке, режима обтекания и взаимного влияния частиц.

Движение частиц нестандартной формы в газовой среде сопровождается изменением характера обтекания. Эти частицы могут ориентироваться в воздушном потоке разными способами, что особенно важно при трехмерном движении. Экспериментальные значения C_x определяются для одномерного перемещения частиц.

Скорость витания сферической одиночной частицы в бесконечной среде можно рассчитать по разным формулам, включая обобщенный метод через критерий Архимеда и метод Лященко [19].

Критерий Архимеда содержит величины, которые не зависят от скорости и режима потока. Таким образом, значения этого критерия могут быть определены, если известны размеры частиц, их плотность и плотность газа, а также вязкость при заданных условиях.

$$Ar = Ga \frac{\Delta\rho_m}{\rho_g} = \frac{Re^2}{Fr} \cdot \frac{\rho_m - \rho_g}{\rho_g} = \frac{d^3(\rho_m - \rho_g)\rho_g g}{\mu_g^2}, \quad (12)$$

где μ_g – динамическая вязкость воздуха, Па·с; Ga – критерий Галилея; Fr – критерий Фруда.

По рассчитанному значению Ar определяется критерий Ly :

$$Ly = \frac{Re^3}{Ar} = \frac{Re Fr \rho_g}{\rho_m - \rho_g} = \frac{v_{sum}^3 \rho_g^2}{\mu_g (\rho_m - \rho_g) g}. \quad (13)$$

Затем вычисляется скорость витания:

$$v_{sum} = \sqrt[3]{Ly \mu_g (\rho_m - \rho_g) g / \rho_g^2}. \quad (14)$$

Форму исследуемых частиц можно определить, определив коэффициент лобового сопротивления C_x .

При высоких значениях числа Рейнольдса обтекание происходит в области автомодельного сопротивления и C_x может быть рассчитан по формуле:

$$C_x = K_\phi \cdot 0,44, \quad (15)$$

где K_ϕ – динамический коэффициент формы частицы.

В условиях движения газодисперсного потока в ограниченном пространстве частицы подвергаются воздействию со стороны концентрации этих частиц в потоке.

Для учета воздействия концентраций частиц на их сопротивление в потоке можно использовать различные эмпирические зависимости, такие как формула Тодеса [20]:

$$Re = \frac{Ar(1 - \varepsilon_m)^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar(1 - \varepsilon_m)^{4,75}}}, \quad (16)$$

справедливой для объемной концентрации частиц в потоке $\varepsilon_m > 0,01$.

Результаты исследования

Для исследования были взяты образцы пыли, песка и бетона с плотностью 1200 кг/м³, 1800 кг/м³ и 2500 кг/м³ соответственно [18]. В разных условиях были проведены вычисления и создана графическая зависимость, показывающая взаимосвязь скорости витания и концентрации твердых частиц в потоке газа при различных размерах (Рис. 3).

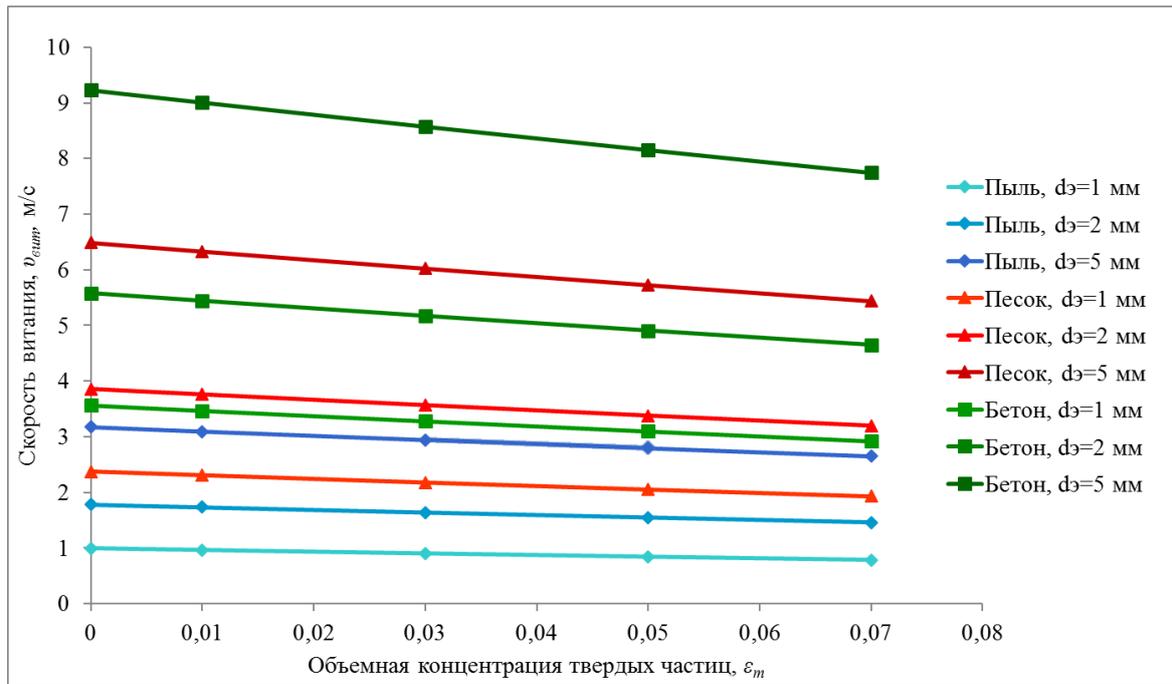


Рисунок 3. Зависимость скорости витания $v_{вит}$ от объемных концентраций ϵ_t при различных диаметрах d_p частиц пыли ($\rho = 1200\text{кг/м}^3$), песка ($\rho = 1800\text{кг/м}^3$) и бетона ($\rho = 2500\text{кг/м}^3$).

На рисунке видно, что увеличение содержания твердой фазы существенно влияет на скорость витания. При концентрации примерно $0,05 \text{ м}^3/\text{м}^3$ скорость витания примерно на 10–12% меньше скорости витания отдельной частицы в неограниченном пространстве. С увеличением концентрации эта разница становится еще более значительной.

Из-за не совсем корректного учета влияния содержания твердого вещества на скорость его восходящего движения при объемных концентрациях свыше $0,04\text{--}0,05 \text{ м}^3/\text{м}^3$ могут возникнуть существенные погрешности. Именно поэтому содержание твердого вещества в районе $0,05 \text{ м}^3/\text{м}^3$ может считаться верхним пределом, при котором еще допустимо вычислять скорость потока с учетом скорости движения отдельной частицы.

Увеличение содержания твердого вещества в потоке газа существенно влияет на скорость его восходящего движения и на форму исследуемых частиц (Рис. 4).

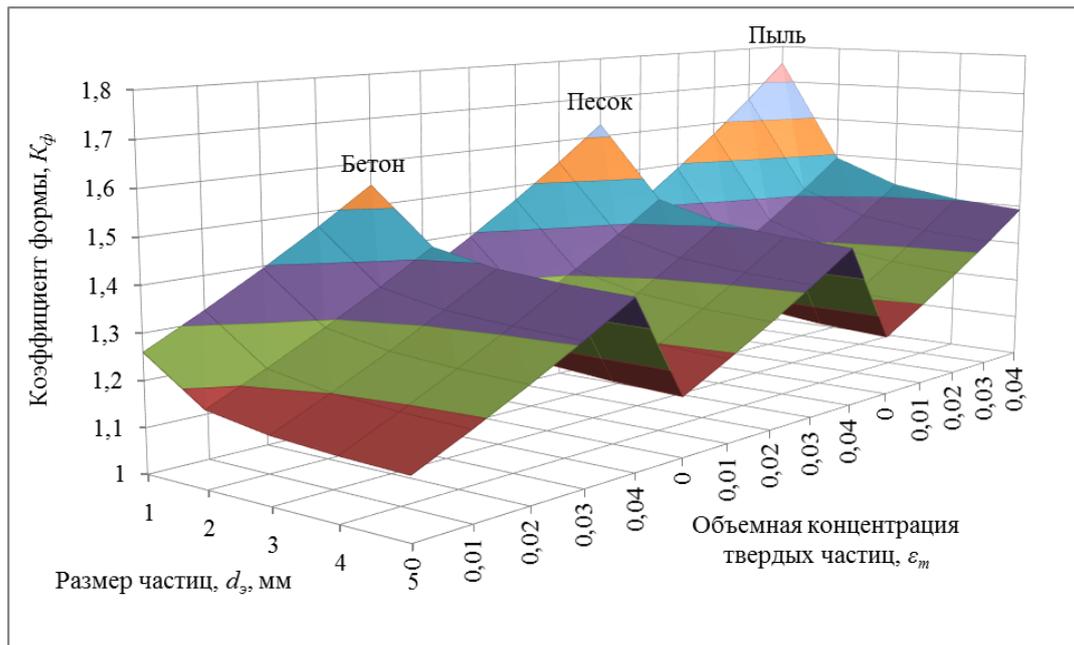


Рисунок 4. Зависимость коэффициента формы дисперсных частиц от эквивалентного диаметра и концентрации твердой фазы.

Как видно из рисунка, по мере увеличения содержания твердых частиц в воздушном потоке коэффициент формы возрастает. Это свидетельствует об объединении отдельных частиц, изменении их формы и увеличении сопротивления. При этом степень объемного заполнения оказывает неоднозначное влияние на изменение размера частиц.

Исследования показывают, что по мере возрастания концентрации частиц и их движения в стесненных условиях, количество столкновений между ними в воздушном потоке увеличивается, что приводит к формированию объединенных частиц с коэффициентом формы больше единицы.

Заключение

Исследование показало, что увеличение концентрации частиц и их движение в ограниченном потоке приводят к увеличению вероятности их столкновения друг с другом, что, в свою очередь, приводит к образованию более крупных частиц с формой, отличающейся от сферической.

Повышение содержания твердой фазы значительно влияет на скорость витания и коэффициент формы исследуемых частиц. По мере увеличения содержания твердых частиц в газодисперсном потоке коэффициент формы становится больше, что говорит о трансформации формы частиц и повышении сопротивления. При этом влияние степени объемного заполнения на изменение размера частиц является неоднозначным. Эти зависимости необходимо учитывать при разработке и расчетах пылезащитных устройств газотурбинных двигателей.

Литература:

1. Еникеев Г.Г. Комплексная защита газотурбинного двигателя, эксплуатирующегося в запыленной атмосфере и морской среде // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17. № 3 (56). С. 41-48. [in Enikeev G.G. Complex protection of a gas turbine engine operated in the dusty atmosphere and marine environment // Vestnik UGATU. 2013. Vol. 17. No. 3(56). P. 41–48 (in Russian)].
2. Гинзбург Л.Е., Никитин Е.И. Исследование запыленного воздуха вблизи вертолетов Ми-1 и Ми-4 в эксплуатационных условиях. М.: Машиностроение, 1966. 165 с. [Ginzburg L.E., Nikitin E.I. Investigation of dusty air near Mi-1 and Mi-4 helicopters in operational conditions, M.: Mashinostroenie, 1966. 165 p. (in Russian)].
3. Kurz R., Brun K. Degradation of gas turbine performance in natural gas service // J. Nat. Gas Sci. Eng. 2009. Vol. 1. No. 3. P. 95–102.
4. Scala S.M., Konrad M., Mason R.B. Predicting the performance of a gas turbine engine undergoing compressor blade erosion // Proc. of the 39th Joint Propulsion Conf. and Exhibition. Huntsville, Alabama, USA, 20–23 July 2003. AIAA 2003. P. 5250–5259.
5. Блинов В.Л., Дерябин Г.А., Зубков И.С. Классификация уровня эрозии проточной части изолированной ступени осевого компрессора // Энергетические системы. 2022. № 1. С. 8–18. [Blinov V.L., Deryabin G.A., Zubkov I.S. Classification of the gas path erosion level of the insulated stage of the axial compressor // Energy Systems. 2022. No. 1. P. 8–18 (in Russian)].
6. Шулехин В.Т., Лазарев Е.А. Оценка влияния повреждений рабочих и направляющих лопаток компрессора на эффективность функционирования авиадвигателей // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2005. № 85. С. 51-56. [Shulehin V.T., Lazarev E.A. Assessment of the impact of damage to the working and guiding blades of the compressor on the efficiency of aircraft engines // Civil Aviation High Technologies. 2005. No. 85. P. 51–56 (in Russian)].
7. 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. [Gishvarov A.S., Aitov R.R., Aytumbetov A.M. Study the effectiveness of dust devices // Vestnik UGATU. 2015. Vol. 19. No. 2(68). P. 100–110 (in Russian)].
8. Минко В.А., Ильина Т.Н., Минко А.В., Емельянов Д.А. К расчету воздухопроводов для двухфазных потоков // Вестник Тамбовского государственного технического университета.

2016. №4. С. 648–656. [Minko V.A., Pyina T.N., Minko A.V., Emelyanov D.A. Calculation of ducts for two-phase flows // Transactions of Tambov State Technical University. 2016. No. 4. P. 648–656 (in Russian)].
9. Розенцвайг А.К. Структурный анализ механизмов взвешивания частиц в турбулентном потоке жидкостных дисперсных систем // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2003. № 9–10. С. 19–33. [Rozenzwaig A.K. Structure analysis of mechanism of weighing of particles in a turbulent flow of liquid disperse systems // Power Engineering: Research, Equipment, Technology. 2003. No. 9–10. P. 19–33 (in Russian)].
10. Соболев А.А., Мельников П.А., Тютюнник А.О. Движение частиц в воздушном потоке // Frontier Materials & Technologies. 2011. № 3(17). С. 82–86. [Sobolev A.A., Melnikov P.A., Tyutyunnik A.O. The movement of particles in the air stream // Frontier Materials & Technologies 2011. No. 3(17). P. 82–86 (in Russian)].
11. Беленко О.А. Компьютерная методика определения размера частиц несферической формы. В сб.: ГЕО-Сибирь-2005. Т. 5. Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли / Сб. материалов научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25–29 апреля 2005 г., Новосибирск: СГГА, 2005. С. 156–161. [Belenko O.A. Computer methodology for determining the size of non-spherical particles. In: GEO-Sibir-2005. Vol. 5. Environmental monitoring, geocology, methods of remote probing of the Earth / Proceedings of the Scientific Congress “GEO-Sibir-2005”, 25–29 April 2005, Novosibirsk. Novosibirsk: Siberian State Academy of Geodesy, 2005. P. 156–161 (in Russian)].
12. Kelbaliyev G.I. Drag coefficients of variously shaped solid particles, drops, and bubbles // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2011. Vol. 45. No. 3. P. 248–266.
13. Бусройд Р. Течение газа со взвешенными частицами. М.: Мир, 1975. 378 с. [Busroyd R. Gas flow with suspended particles / transl. ed. by Z.R. Gorbis. Moscow: Mir, 1975. 378 p. (in Russian)].
14. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. М.: Энергия, 1968. 424 с. [Deich M.E., Filippov G.A. Gas dynamics of two-phase media. Moscow: Energiya, 1968. 424 p. (in Russian)].
15. Elsayed H. Analysis and optimization of the cyclone geometry using the Reynolds equation, Navier-Stokes equation, and the large vortex method. Brussels: Free University of Brussels, 2011. 317 p.
16. Солодченкова Т.Б., Елисеева П.Н. Определение скорости седиментации аэрозольных частиц // Системы компьютерной математики и их приложения. 2018. № 19. С. 326–331. [Solodchenkova T.B., Eliseeva P.N. Determination of the sedimentation velocity of aerosol particles // Computer Mathematics Systems and Their Applications. 2018. No. 19. P. 326–331 (in Russian)].
17. Шалынков С.А. Влияние параметров атмосферы на коэффициент силы лобового сопротивления // Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов. 2022. № 20. С. 297–303. [Shalynkov S.A. Influence of atmospheric parameters on the drag coefficient // XXI Century Engineering through the Eyes of Young Scientists and Specialists. 2022. No. 20. P. 297–303 (in Russian)].
18. Архипов В.А., Басалаев С.А., Перфильева К.Г., Романдин В.И., Усанина А.С. Анализ режимов гравитационного осаждения капли // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2023. № 86. С. 21–34. [Arkhipov V.A., Basalaev S.A., Perfilieva K.G., Romandin V.I., Usanina A.S. Analysis of gravitational settling regimes for a drop // Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics. 2023. No. 86. P. 21–34 (in Russian)].
19. Емельянов Д.А., Плотников К.В. О влиянии объемной концентрации техногенных волокнистых материалов на коэффициент формы частиц в материально-воздушном потоке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 3. С. 91–95. [Emelyanov D.A., Plotnikov K.V. About the effect of the volume concentration of technogenic fibrous materials on the particle shape

coefficient in the material-air flow // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2016. No. 3. P. 91–95 (in Russian)].

20. Шиляев М.И., Шиляев А.М. Аэродинамика и тепломассообмен газодисперсных потоков. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2003. 272 с. [Shilyaev M.I., Shilyaev A.M. Aerodynamics and heat and mass transfer of gas-dispersed flows. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2003. 272 p. (in Russian)].

Об авторах:

ЕМЕЛЬЯНОВ Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры авиационных двигателей, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 54а, ул. Старых Большевиков, г. Воронеж, Воронежская область, 394064, Россия, vvavrn@bk.ru.

ЕЛИСЕЕВ Сергей Яковлевич, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры авиационных двигателей, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 54а, ул. Старых Большевиков, г. Воронеж, Воронежская область, 394064, Россия, el-c@bk.ru.

Metadata:

Title: Investigation of the course of gas-dispersed flows in dust protection devices of gas turbine engines.

Author 1: Dmitry Alexandrovich Emelyanov, Associate Professor of the Department of Aviation Engines at the Air Force Education and Research Center “Air Force Academy n.a. Prof. N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin”, 54a Staryh Bolshevikov st., 394064 Voronezh, Voronezh Oblast, Russia, vvavrn@bk.ru.

Author 2: Sergey Yakovlevich Eliseev, Lecturer of the Department of Aviation Engines at the Air Force Education and Research Center “Air Force Academy n.a. Prof. N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin”, 54a Staryh Bolshevikov st., 394064 Voronezh, Voronezh Oblast, Russia, el-c@bk.ru.

Abstract: The article considers the actual problem of wear of compressor blades due to the ingress of dispersed particles into the air intakes of helicopter gas turbine engines. The degree of impact of erosion on the characteristics of engines depends on the concentration and mass of dust trapped in the engine during operation, as well as on its physicochemical parameters. To investigate the process of air purification in a dustproof device, the physicochemical parameters of the particles were analyzed. The experimental values of the drag coefficient for one-dimensional movement of particles are determined. The relationship between the soaring velocity and the concentration of solid particles of various sizes during their movement in a gas flow is demonstrated. The dependence of the shape coefficient of dispersed particles on the equivalent diameter and concentration of the solid phase is identified. The results obtained can be used in the projecting and calculations of dust protection devices of gas turbine engines.

Keywords: gas-dispersed flow, dust protection device, gas turbine engine, concentration, dispersed particles, shape coefficient, soaring velocity.