

Анализ движения частиц в свободных концентрированных вихрях применительно к проблеме безопасности полетов

А.Ю. Вараксин, зав. отделением¹, зав. кафедрой², чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор
М.В. Протасов, научный сотрудник¹

¹ Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Москва

² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

email: varaksin_a@mail.ru

Ключевые слова:

безопасность полетов, вихревые течения, движение частиц в свободных вихрях, попадание посторонних предметов в двигатели.

Попадание посторонних предметов в двигатели летательных аппаратов относится к актуальным проблемам, связанным с обеспечением безопасности полетов. Одной из причин возможного попадания предметов в газозаборный тракт компрессора является возникновение вихревого жгута под воздухозаборником на поверхности взлетно-посадочной полосы при работе двигателя на стоянке. В статье выполнен расчет движения твердых частиц в свободных концентрированных вихрях, являющихся аналогами вихревых жгутов. Результаты расчетов позволили установить особенности поведения частиц различной инерционности (плотности и размеров) в вихрях различной интенсивности. На основании расчетов и имеющихся экспериментальных данных предложен безразмерный критерий, характеризующий поведение частиц в концентрированных вихревых структурах. С использованием этого критерия проведены оценки максимального времени динамической релаксации частиц, засасываемых в воздухозаборник вихревыми жгутами различной интенсивности. Знать динамику частиц в вихревых жгутах, формирующихся вблизи воздухозаборников двигателей летательных аппаратов, необходимо для выработки методов их защиты от возможного попадания посторонних предметов, находящихся на взлетно-посадочной полосе, с целью обеспечить безопасность полетов.

1. Введение

Проблема повреждения лопаток компрессоров твердыми посторонними предметами (ПП), попадающими на вход двигателя, возникла одновременно с появлением в гражданской авиации самолетов с газотурбинными двигателями. Вследствие этого большое количество двигателей снимается с самолетов задолго до выработки ими гарантийного ресурса, что нарушает регулярность рейсов и приводит к неоправданно высокой загрузке заводов-изготовителей и ремонтных предприятий. Повреждение компрессоров снижает эксплуатационную надежность двигателей и безопасность полетов.

Повреждение газозаборного тракта происходит преимущественно вследствие попадания в него частиц износа с взлетно-посадочной полосы, пыли,

льда, града, воды, проволоки щеток снегоочистителей, птиц и т.п. В настоящее время известно, что попадание ПП в газозаборный тракт компрессора происходит вследствие трех основных причин [1]:

- во время рулежки, разбега и пробега из-под передних и основных колес шасси;
- из-под струй газа при позднем закрытии створок реверса тяги при посадке самолета;
- при работе двигателя на стоянке из-за возникновения вихревого жгута под воздухозаборником на поверхности взлетно-посадочной полосы (рис. 1, см. обл. 3 журнала).

Основные направления защиты двигателей от повреждений предполагают комплекс мероприятий, способствующих предотвращению попадания ПП в воздухозаборник, очистке воздуха на входе в двига-

тель от ПП и создание «самозащищенных» двигателей, сохраняющих свою работоспособность в случае попадания ПП.

Вихревое движение, возникающее между воздухозаборником и поверхностью аэродрома, становится одной из причин попадания ПП с поверхности взлетно-посадочной полосы. Обязательное условие возникновения вихревого жгута — наличие точки торможения в приземном воздушном потоке вблизи воздухозаборника [2] (рис. 2, см. обл. 3 журнала). Известно, что отрыв точки торможения, происходящий, например, при воздействии встречного ветра на вихревое течение, приводит к разрушению вихря.

Для разработки мероприятий по предотвращению попадания ПП в газозаборный тракт необходимо ясно представлять все физические процессы, ведущие к вихревому засасыванию предметов, влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на интенсивность этого явления. Важно определить параметры ПП, способных попасть в двигатель и нанести ему недопустимые повреждения [3].

Цель настоящей статьи — проанализировать поведение твердых частиц различной инерционности в вихревых жгутах различной интенсивности с целью оценить возможность их попадания в газозаборный тракт двигателя.

2. Расчет движения частиц в свободном вихре

Для выяснения некоторых особенностей поведения частиц в свободных вихрях выполним расчет их движения во вращающемся газе. Лагранжево уравнение движения твердых частиц в газе при учете лишь силы аэродинамического сопротивления согласно закону Стокса ($Re_p < 1$) в векторной форме имеет вид [4]:

$$\frac{d\vec{V}}{d\tau} = \frac{\vec{U} - \vec{V}}{\tau_{p0}}, \quad (1)$$

где: \vec{V} — вектор скорости частицы; \vec{U} — вектор скорости несущего газа; τ — время; $\tau_{p0} = \rho_p d_p^2 / 18\mu$ — время динамической релаксации стоксовской частицы; ρ_p — физическая плотность материала частицы, d_p — диаметр частицы, μ — динамическая вязкость несущей фазы.

Рассмотрим движение частиц в газе, вращающемся по закону твердого тела (с постоянной угловой скоростью) (рис. 3).

Двумерное поле скоростей газа зададим как

$$U_x = -\Omega r \sin \phi = -\Omega y, \quad (2)$$

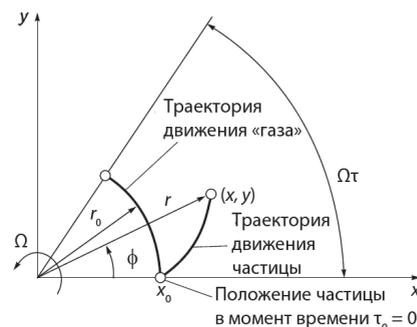


Рис. 3. Система координат при рассмотрении движения частицы в газе, вращающемся по закону твердого тела

$$U_y = \Omega r \cos \phi = \Omega x, \quad (3)$$

где: U_x и U_y — проекции скорости газа на оси x и y в декартовой системе координат (x, y, z) ; $\Omega = \Omega_z$ — проекция вектора угловой скорости на ось z в декартовой системе координат; r, ϕ — радиус-вектор и угол в полярной системе координат (r, ϕ) соответственно.

Из (1) с учетом (2) и (3) можно записать уравнение движения частицы

$$\frac{dV_x}{d\tau} \equiv \frac{d^2 x}{d\tau^2} = \frac{1}{\tau_{p0}} \left(-\Omega y - \frac{dx}{d\tau} \right), \quad (4)$$

$$\frac{dV_y}{d\tau} \equiv \frac{d^2 y}{d\tau^2} = \frac{1}{\tau_{p0}} \left(\Omega x - \frac{dy}{d\tau} \right). \quad (5)$$

Для упрощения математической модели примем допущение о равенстве угловых скоростей частиц и несущего газа $d\phi/d\tau = \Omega$, строго выполняемое только для безынерционных частиц. Уравнения (4) и (5) с использованием принятого допущения и подстановки $d/d\tau = \Omega(d/d\phi)$ перепишем в следующем виде:

$$\frac{d^2 x}{d\phi^2} + \frac{1}{A} \frac{dx}{d\phi} + \frac{y}{A} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{d^2 y}{d\phi^2} + \frac{1}{A} \frac{dy}{d\phi} - \frac{x}{A} = 0, \quad (7)$$

где $A = \Omega \tau_{p0}$ — параметр, определяющий поведение частиц во вращающемся газе.

Начальные условия зададим как

$$x_{\phi=0} = x_0, \quad y_{\phi=0} = y_0, \quad (dx/d\phi)_{\phi=0} = \Omega^{-1} (dx/d\tau)_{\tau=0},$$

$$(dy/d\phi)_{\phi=0} = \left(\frac{dy}{d\tau} \frac{d\tau}{d\phi} \right)_{\phi=0} = \left(\frac{V_y}{\Omega} \right)_{\phi=0} = x_0. \quad (8)$$

Решения системы уравнений (6) и (7) с учетом (8) можно получить с использованием преобразования Лапласа [5] в следующем виде:

$$x = x_0 \exp(-\psi) \left[\left(\cosh(a\psi) + \frac{a(1+2AB) + 2Ab}{c^2} \sinh(a\psi) \right) \times \right. \\ \left. \times \cos(b\psi) + \left(\frac{b(1+2AB) - 2Aa}{c^2} \cosh(a\psi) \right) \sin(b\psi) \right], \quad (9)$$

$$y = x_0 \exp(-\psi) \left[\left(\frac{a}{2} + \frac{a}{2c^2} (1+4AB) \right) \sin(b\psi) \cosh(a\psi) + \right. \\ \left. + \sinh(a\psi) \sin(b\psi) + \left(\frac{b}{2} - \frac{b}{2c^2} (1+4AB) \right) \sinh(a\psi) \cos(b\psi) \right], \quad (10)$$

где: $\psi = \frac{\phi}{2A}$; $B = \frac{(dx/d\tau)_{\tau=0}}{\Omega x_0}$;

$$a^2 = \sqrt{\frac{1}{4} + 4A^2} + \frac{1}{2}; \quad b^2 = \sqrt{\frac{1}{4} + 4A^2} - \frac{1}{2};$$

$$c^2 = a^2 + b^2 = \sqrt{1 + 16A^2}.$$

В случае малоинерционных частиц ($A \ll 1$) решения (9) и (10) упрощаются и могут быть записаны, как в [5]:

$$x \approx x_0 (1 + AB) \exp(A\phi) \cos[(1 - 2A^2)\phi], \quad (11)$$

$$y \approx x_0 (1 + AB) \exp(A\phi) \sin[(1 - 2A^2)\phi]. \quad (12)$$

Выражения (9) и (10) определяют вид траектории частиц различной инерционности ($A = \text{var}$) и обладающих разными начальными скоростями ($B = \text{var}$). Отметим, что инерционность частиц в рассматриваемом случае определяется не только временем их релаксации, но и угловой скоростью вращающегося газа.

На рис. 4 приведены полученные с использованием (9) и (10) траектории движения частиц различной инерционности ($A = \text{var}$) в газе, вращающемся по закону твердого тела ($\Omega = \text{const}$). При выполнении расчетов начальная скорость частиц полагалась равной нулю ($B = 0$). Угловая скорость несущего потока при-

нималась равной $\Omega = 10 \text{ с}^{-1}$; физическая плотность материала частиц — $\rho_p = 3900 \text{ кг/м}^3$; динамическая вязкость газа — $\mu = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$. Инерционность частиц изменялась путем варьирования их диаметра. Расчеты были выполнены для трех разных диаметров — $d_p = 10, 32$ и 100 мкм .

Из данных рис. 4 следует, что частицы небольшого размера ($d_p = 10 \text{ мкм}$, $A = 0,012$) практически полностью отслеживают движение вращающегося газа (рис. 4а). С увеличением размера ($d_p = 32 \text{ мкм}$, $A = 0,12$) радиальная составляющая скорости частиц, приводящая к их удалению от центра вихря, резко возрастает (рис. 4б). Это приводит к тому, что в рассматриваемом случае расстояние от частицы до центра вихревой структуры удваивается за каждый оборот. Дальнейшее увеличение размера частиц ($d_p = 100 \text{ мкм}$, $A = 1,2$) приводит к росту радиальной скорости так, что уже за первый оборот удаление частицы от центра вихря возрастает в несколько раз (рис. 4в).

3. Критерий инерционности частиц (число Стокса)

Скорость частицы, попавшей в вихрь, начинает «подстраиваться» под локальную скорость вихревой структуры. В физике двухфазных потоков процесс релаксации скорости частицы и воздуха обычно характеризуется безразмерным критерием — числом Стокса [4, 6], определяемым следующим образом:

$$Stk_f = \frac{\tau_p}{T_f}, \quad (13)$$

где: τ_p — время динамической релаксации частицы; T_f — характерное время вихревой структуры.

Выражение для времени динамической релаксации τ_p имеет вид:

$$\tau_p = \frac{\tau_{p0}}{C} = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu C} = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu(1 + 0,15 Re_p^{0,687})}. \quad (14)$$

В выражении (14) τ_{p0} характеризует время динамической релаксации стоксовой частицы ($Re_p < 1$). Поправочная функция C учитывает влияние сил

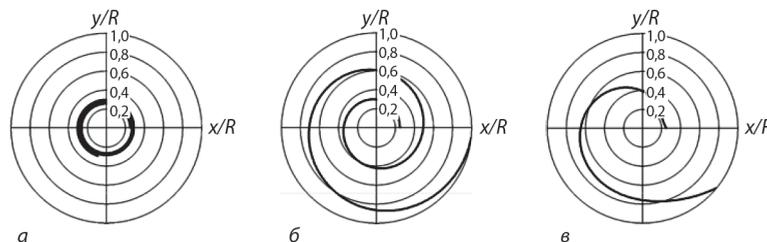


Рис. 4. Траектория движения частиц во вращающемся по закону твердого тела газе $R = 0,2 \text{ м}$, $x_0 = 0,05 \text{ м}$, $y_0 = 0$): (а) $A = 0,012$; (б) $A = 0,12$; (в) $A = 1,2$

инерции на время релаксации нестоксовой частицы [4, 6]. Таким образом, в случае движения нестоксовой частицы ее инерционность зависит также от безразмерного комплекса — числа Рейнольдса частицы Re_p , вычисляемого по относительной скорости между фазами и диаметру дисперсной примеси.

Характерное время свободного вихря (время одного «оборота») представим как

$$T_f = \frac{\pi D}{U_\phi}, \quad (15)$$

где: D — диаметр вихря; U_ϕ — характерное значение азимутальной скорости вихря.

С учетом (15) выражение (13) для числа Стокса приобретает вид

$$Stk_f = \frac{U_\phi \tau_p}{\pi D}. \quad (16)$$

Величина найденного числа Стокса определяет быстроту релаксации (сближения) скоростей твердых частиц и воздуха. Если время динамической релаксации частиц мало по сравнению с характерным временем вихревой структуры ($Stk_f \ll 1$), то частицы практически мгновенно достигают скорости воздуха. Отметим, что между используемым числом Стокса и приведенной выше характеристикой частиц A — выражения (6) и (7) — в случае стоксовых частиц ($\tau_p = \tau_{p0}$) имеется простая связь

$$Stk_f = \frac{A}{2\pi}. \quad (17)$$

В [7] получены экспериментальные данные об особенностях визуализации свободных концентрированных вихрей, генерируемых в лабораторных условиях [8], путем введения в них частиц магнезии (рис. 5, см. обл. 3 журнала). Анализ распределения данных частиц по размерам показал, что средний диаметр составляет $d_{p1} = 6$ мкм; при этом имеются крупные конгломераты частиц — $d_{p2} = 50$ мкм и более. Перед проведением экспериментов были выполнены оценки инерционности частиц магнезии. В результате получены значения чисел Стокса (Stk_{f1} , Stk_{f2}) и параметров A для малоинерционных (d_{p1}) и крупных частиц (d_{p2}) соответственно: $Stk_{f1} = 0,0014$ ($A_1 \cong 0,008$) и $Stk_{f2} = 0,10$ ($A_2 \cong 0,6$).

Из проведенных оценок следует вывод, что малоинерционные частицы ($d_{p1} = 6$ мкм, $Stk_{f1} = 0,0014$) будут практически мгновенно «подстраиваться» под скорость воздуха в вихре, а крупные частицы ($d_{p2} = 50$ мкм, $Stk_{f2} = 0,10$) могут «выбрасываться» из вихря вследствие действия центробежных сил. На рис. 6 (обл. 3 журнала) приведен типичный кадр с зафиксированным лабораторным вихрем. На фотографии

Таблица 1
Максимальное значение времени динамической релаксации частиц τ_p (в секундах), засасываемых в воздухозаборник, для вихревых жгутов различной интенсивности ($Stk_f = 0,1$)

$U_\phi, \text{ м/с}$	$\pi D, \text{ м}$				
	0,05	0,1	0,2	0,5	1
0,5	0,01	0,02	0,04	-	-
1	0,005	0,01	0,02	0,05	-
5	0,001	0,002	0,004	0,01	0,02
10	0,0005	0,001	0,002	0,005	0,01

отчетливо видны воронка вихря и каскад, визуализированные малоинерционными и крупными частицами соответственно.

4. Поведение частиц в вихревых жгутах

Движение частиц или ПП в вихревых жгутах, формирующихся вблизи воздухозаборников газотурбинных двигателей, зависит от их инерционности и интенсивности самих вихревых структур. Рост характерной скорости вихря приводит, с одной стороны, к увеличению массы поднимаемых с взлетно-посадочной полосы предметов. С другой стороны, как это было показано выше, увеличение скорости (при том же диаметре вихря) однозначно ведет к росту относительной инерционности поднимаемых предметов, что способствует их выбрасыванию из центральной части вихря вследствие действия центробежных сил.

Учитывая полученные в [7] результаты, примем $Stk_f = 0,1$ в качестве граничного значения числа Стокса. В этом случае можно оценить свойства частиц (ПП), которые будут с высокой вероятностью засасываться в воздухозаборник авиационного двигателя посредством их движения в пределах вихревого жгута. Выполним такие оценки с использованием соотношения (16). Полученные максимальные значения времени динамической релаксации частиц, увлекаемых (с большой вероятностью) в воздухозаборник вихревыми жгутами, обладающими различными диаметрами ($\pi D = \text{var}$) и характерными скоростями ($U_\phi = \text{var}$), приведены в таблице 1. Прочерки в некоторых ячейках таблицы означают, что свободные вихри с указанными скоростями не позволяют отрывать от поверхности частицы, время релаксации которых получается из выражения (16). Для отрыва частицы от поверхности необходимо, чтобы вертикальная скорость вихря, принимаемая в первом приближении равной азимутальной скорости, по крайней мере, превышала скорость витания частицы.

Из данных таблицы 1 видно, что вихревым жгутом с параметрами $\pi D = 0,1$ м и $U_\phi = 1$ м/с будут

хорошо увлекаться а, следовательно, и попадать в воздухозаборник, частицы с $\tau_p \leq 0,01$ с. Таким временем релаксации обладают, например, частицы песка с $d_p \leq 35$ мкм. Увеличение размера свободного вихря (при той же характерной скорости) приводит к линейному росту времени релаксации засасываемых частиц. Например, при $\pi D = 0,5$ м и $U_\phi = 1$ м/с имеем $\tau_p \leq 0,05$ с, что соответствует частицам песка с $d_p \leq 80$ мкм. Отметим, что рост скорости вихря (при одних и тех же размерах) ведет к снижению массы частиц (предметов), засасываемых с большой вероятностью в компрессор, так как их движение происходит вне вихревого жгута из-за действия центробежных сил (это требует отдельного исследования).

ЛИТЕРАТУРА

1. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. — М.: Машиностроение, 2008. Т. 2. Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства.
2. Комов А.А. Расчетные исследования влияния компоновки силовой установки в составе воздушного судна на вихревое течение // Научный вестник МГТУ ГА. Серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. — 2005. № 90(8). — С. 123–128.
3. Комов А.А., Белоусов Г.Г. Основные закономерности повреждения лопаток компрессоров авиационных ГТД посторонними предметами // Научный вестник МГТУ ГА. Серия Эксплуатация воздушного транспорта. — 2008. № 134. — С. 25–34.

REFERENCES

1. Inozemtsev A.A., Nikhamkin M.A., Sandratskiy V.L. Osnovy konstruirovaniya aviatsionnykh dvigateley i energeticheskikh ustanovok [Basics of designing aircraft engines and power plants: a textbook for high schools]. Vol. 2. Kompresory. Kamery sgoraniya. Forsazhnye kamery. Turbiny. Vykhodnye ustroystva [Compressors. The combustion chamber. Afterburner. Turbines. Output devices]. Moscow, «Mashinostroenie» Publ., 2008.
2. Komov A.A. Raschetnye issledovaniya vliyaniya komponovki silovoy ustanovki v sostave vozdušnogo sudna na vikhrevoe techenie [Computational studies influence the layout of the power plant as part of an aircraft on a vortex flow]. *Nauchnyy vestnik MGTU GA. Seriya Ekspluatatsiya vozdušnogo transporta i remont aviatsionnoy tekhniki. Bezopasnost' poletov* [Scientific Bulletin MSTUCA. Series Operation of air transport and repair of aircraft. Safety]. 2005, I. 90(8), pp. 123–128. (in Russian)

5. Выводы

Рассмотрены особенности движения твердых частиц разной инерционности в свободных концентрированных вихрях различной интенсивности. Предложен безразмерный критерий (число Стокса), характеризующий инерционность твердых частиц при их движении в свободных концентрированных воздушных вихрях. Предложенный подход к изучению динамики частиц в вихревых жгутах может быть использован при выработке технических и организационных мер защиты двигателей летательных аппаратов от попадания в них посторонних предметов с взлетно-посадочной полосы.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14–19–00453).

4. Вараксин А.Ю. Гидрогазодинамика и теплофизика двухфазных потоков: проблемы и достижения (обзор) // Теплофизика высоких температур. — 2013. Т. 51. № 3. — С. 421–455.
5. Kriebel A.R. Particle trajectories in a gas centrifuge // *Trans. ASME. J. Basic Eng.* — 1961. Vol. 83D. — P. 333–339.
6. Вараксин А.Ю. Кластеризация частиц в турбулентных и вихревых двухфазных потоках // Теплофизика высоких температур. — 2014. Т. 52. № 5. — С. 777–796.
7. Вараксин А.Ю., Протасов М.В., Теплицкий Ю.С. К выбору параметров частиц для визуализации и диагностики свободных концентрированных воздушных вихрей // Теплофизика высоких температур. — 2014. Т. 52. № 4. — С. 581–587.
8. Вараксин А.Ю. Физическое моделирование воздушных смерчей // *Безопасность в техносфере.* — 2013. № 5. — С. 3–10.

3. Komov A.A., Belousov G.G. Osnovnye zakonomernosti povrezhdeniya lopatok kompressorov aviatsionnykh GTD postoronnimi predmetami [Basic laws of damage to compressor blades GTE foreign objects]. *Nauchnyy vestnik MGTU GA. Seriya Ekspluatatsiya vozdušnogo transporta* [Scientific Bulletin MSTUCA. Series Operation of air transport]. 2008, I. 134, pp. 25–34. (in Russian)
4. Varaksin A.Yu. Fluid Dynamics and Thermal Physics of Two-Phase Flows: Problems and Achievements. *High Temperature*, 2013. Vol. 51. I. 3, pp. 377–407. DOI: 10.1134/S0018151X13030073
5. Kriebel A.R. Particle Trajectories in a Gas Centrifuge. *Trans. ASME. J. Basic Eng.* 1961. Vol. 83D, pp. 333–339.
6. Varaksin A.Yu. Clusterization of Particles in Turbulent and Vortex Two-Phase Flows. *High Temperature*, 2014. Vol. 52. I. 5, pp. 752–769. DOI: 10.1134/S0018151X14050204

7. Varaksin A.Yu., Protasov M.V., Teplitskii Yu.S. About Choice of Particle Parameters for Visualization and Diagnostics of Free Concentrated Air Vortices. High Temperature, 2014. Vol.52. I. 4. pp. 554–559. DOI: 10.1134/S0018151X14040257
8. Varaksin A.Yu. Physical Modeling of Tornadoes. *Bezopasnost' v tekhnosfere*. [Safety in Technosphere], 2014, I. 1, pp. 77–82. DOI: 10.12737/1572 (in Russian)

Analysis of Particle Motion in Wall-Free Concentrated Vortexes in Relation to Flight Safety Problem

A.Yu. Varaksin, Chief of Department, Head of Chair, Corresponding Member of RAS, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Bauman Moscow State Technical University

M.V. Protasov, Scientific Researcher, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences

The ingestion in aircraft engines is one of the actual problems related to the flight safety. One of possible reasons of ingestion in the gas-air flow duct of compressor is a formation of vortex core under an air intake on a runway surface during engine working on a stop. Calculations of the solid particles' motion in wall-free concentrated vortexes, being the analogues of vortex core have been made in this paper. The numerical results have allowed to find peculiarities of behavior for particles with different inertia (different density and sizes) in vortexes of various intensity. Based on calculations and available experimental data a dimensionless criterion had been supposed, which determines the particles' behavior in concentrated vortex structures. Estimations for maximal time of dynamic relaxation for particles involved in the air intake by vortex cores of different intensities have been made with use of this criterion. The knowledge of particles' dynamics in the vortex cores formed near the air intake of aircraft engines is necessary to develop the methods to protect them from possible ingestion from the runway to ensure the flight safety.

Keywords: flight safety, vortex flows, particles motion in wall-free vortexes, ingestion in aircraft engines.

Наилучшие доступные технологии и экологическая сертификация в России

С 1 января 2015 года вступает в силу новый Федеральный закон №219-ФЗ «О внесении изменений в федеральный закон «Об охране окружающей среды». Он предусматривает гармонизацию с нормами международного права и стимулирование перехода промышленности на наилучшие доступные технологии (НДТ) — дружественные окружающей среде.

Переход на НДТ в России будет проходить в три этапа в течение десяти лет. К 2018 году необходимо будет разработать 47 информационно-технических справочников по НДТ. Однако предприятия, не дожидаясь перехода в рамках десятилетнего плана на комплексные экологические решения, уже сейчас могут проходить сертификацию производств на соответствие НДТ.

Сегодня возможности добровольной демонстрации соответствия НДТ и экологической маркировки недооцениваются, и ФЗ № 219 может послужить стимулом для проведения оценки и улучшения экологических результатов работы предприятий. Национальные стан-

дарты НДТ и системы добровольной сертификации создают условия для формирования группы лидеров, компаний, доказывающих целесообразность, экономическую эффективность и региональную применимость наилучших доступных технологий.

Число компаний, прошедших сертификацию по жизненному циклу и получивших экологическую маркировку международного уровня, с 2010 года выросло более чем в семь раз. Многие компании, получившие экологический сертификат, заинтересованы пройти процедуру взаимного признания с европейскими эко-маркировками для экспорта продукции в Евросоюз.

Внедрение экологических стандартов помогает предприятиям избежать штрафов за нарушение природоохранного законодательства, снизить потребление основных ресурсов, а также усовершенствовать систему экологического менеджмента, и, как следствие, сэкономить средства. При этом предприятие получает преимущества в рамках госзакупок и маркетинговый инструмент в борьбе за потребителя на рынке.

Источник: *GreenEvolution.ru*.