

ДВИЖЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ВОЗДУХОЗАБОРНИКАХ ГТД

Гузаиров А.Р., Гузаиров Р.М., Еникеев Г.Г.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Авиационные газотурбинные двигатели (ГТД), установленные на вертолетах, амфибийных аппаратах и наземных транспортных средствах, подвержены вредному воздействию высокоскоростных мелкодисперсных посторонних частиц, в частности твердых аэрозолей.

Уменьшение эрозионного изнашивания проточной части и увеличение ресурса ГТД, при работе в таких условиях (пыль, песок), достигается за счет применения эрозионностойких материалов, рационального профилирования проточной части, установки воздухоочистителей. При разработке конкретных мероприятий является актуальной задача определения полей параметров пылевоздушного потока в воздухозаборниках ГТД.

Для решения вопросов, смыкающихся с указанной задачей, авторами разработана методика расчета параметров двухфазного потока "воздух - твердые частицы" с малой концентрацией частиц в дозвуковом осесимметричном воздухозаборнике при наличии внешнего обтекания в трехмерной постановке (с возможностью расчета при косом обдуве воздухозаборника) с учетом отражения частиц от ограничивающих поверхностей.

Расчет течения пылевоздушного потока сводился к определению поля течения несущего потока (воздуха) и рассмотрению движения в этом поле дисперсных частиц под воздействием аэродинамических сил сопротивления.

Для расчета поля течения несущего воздушного потока в воздухозаборнике использовалась методика расчета потенциального обтекания осесимметричного дозвукового воздухозаборника [1,2], основанная на принципе суперпозиции потенциальных потоков. Выбор методики основывался на возможности эффективного описания с его помощью характерных особенностей дозвукового течения, за исключением особых точек, расположенных по поверхности воздухозаборника, и областей, примыкающих к ним на расстояниях, соизмеримых с длиной разбиения контура воздухозаборника, в которых решение является неустойчивым и может давать неверные результаты. Для преодоления недостатков имеющейся методики расчета и обеспечения расчета скорости и ее составляющих вблизи и на контуре воздухозаборника использовалась линейная экс-

траполяция значений составляющих скорости в точках, расположенных по нормали к поверхности воздухозаборника.

Для расчета движения пылевых частиц в потоке воздуха вблизи воздухозаборника и внутри его канала использовалось дифференциальное уравнение движения одиночной частицы [3], которое в проекциях на оси цилиндрической системы координат (r, θ, z) (см. рис.1) запишется в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_r}{dt} &= \frac{V_\theta^2}{r} + F_{ar}, \\ \frac{dV_\theta}{dt} &= -\frac{V_\theta V_r}{r} + F_{a\theta}, \\ \frac{dV_z}{dt} &= F_{az} \\ \frac{dr}{dt} &= V_r; \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{V_\theta}{r}; \quad \frac{dz}{dt} = V_z, \end{aligned} \right\} (1)$$

где r, θ, z координаты частицы в цилиндрической системе координат; V_r, V_θ, V_z - скорости частицы в радиальном, окружном и осевом направлениях; $F_{ar}, F_{a\theta}, F_{az}$ соответствующие составляющие силы сопротивления [3].

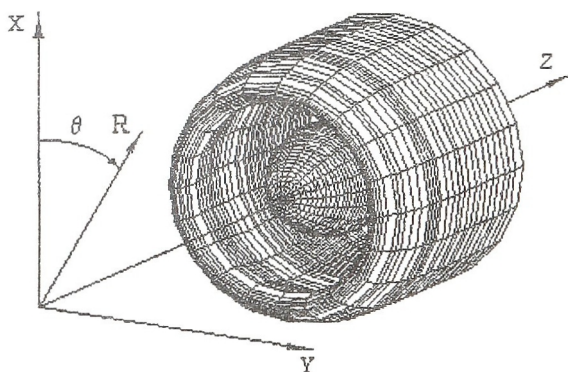


Рисунок 1

Процедура численного решения состоит из следующих этапов: а) математическое представление поверхности воздухозаборника на основе

кубических сплайнов и разбиение ее на элементы; б) определение параметров несущего потока с возможностью прямого вычисления скоростей в любой области течения; в) расчет траекторий частиц под воздействием аэродинамических сил путем численного интегрирования уравнений движения частицы на основе алгоритма Рунге-Кутты пятого порядка с переменным шагом; г) вычисление координат точек соударения частиц с ограничивающими поверхностями комбинацией методов бисекции и секущих; д) определение характеристик отскакивания частиц на основе кинематических соотношений в виде корреляционных зависимостей [3], описывающих упругий удар частицы о поверхность; е) расчет траекторий частиц под воздействием аэродинамических сил после отскока.

Расчет движения твердых частиц в потоке воздуха в воздухозаборниках производился для стандартных атмосферных условий. Начальная скорость частицы принималась равной скорости воздуха в месте введения частиц. Положение точки соударения определялось исходя из расчетной траектории частицы и формы поверхности, на которую она попадает, если расстояние между ними становится меньше диаметра частиц. Ниже приведены некоторые результаты вычислительного эксперимента.

Анализ траекторий движения частиц в цилиндрическом воздухозаборнике серии "В" [4] свидетельствует о существенном влиянии отношения скорости невозмущенного потока V_{∞} к скорости потока в канале C_i на перераспределение частиц по радиусу.

При $(V_{\infty} / C_i) = 0$ частицы оттесняются к оси канала, образуя зону повышенной концентрации. Наибольшее перераспределение характерно для крупных частиц, которые могут пересекать ось воздухозаборника, образуя "отраженную картину" и приводя к последующему расширению этой зоны. При увеличении (V_{∞} / C_i) характер перераспределения частиц изменяется. Мелкие частицы следуют за потоком и их перераспределение уменьшается. Часть крупных частиц из-за большей инерционности испытывают столкновение с кромкой обечайки воздухозаборника и отскакивают либо за пределы либо во внутрь воздухозаборника, где, продолжая движение после рикошета, приближаются к оси канала, а также могут пересекать ее, образуя "отраженную картину". Таким образом, происходит их перераспределение по радиусу, изменение концентрации и образование местных спектров дисперсного состава.

Для количественного описания изменения средней концентрации частиц в потоке используется коэффициент захвата частиц ψ .

Влияние отношения (V_{∞} / C_i) при $C_i = 80$ м/с на изменение коэффициента захвата частиц в сечении входа показано на рис. 2. Из рисунка видно, что коэффициент захвата относительно мелких частиц практически не меняется, а для более крупных частиц сначала снижается, а затем возрастает, проходя точку минимума, причем указанный минимум становится более выраженным с увеличением размера частиц. Таким образом, для каждого достаточно крупного размера частицы существует такое отношение скоростей, которое соответствует минимуму коэффициента захвата. Из рис. 2 видно, что этот минимум хорошо просматривается и для выбранных условий расчета соответствует значениям $(V_{\infty} / C_i) = (0.25 \dots 0.30)$.

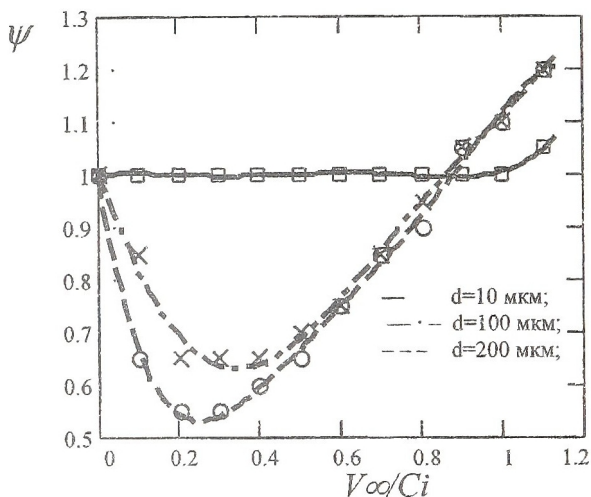


Рисунок 2 - Изменение коэффициента захвата частиц в зависимости от отношения скоростей воздуха (V_{∞} / C_i)

На рис. 3 и 4 показаны траектории движения частиц в воздухозаборнике с центральным телом. Профилирование внутренних обводов обечайки и установка центрального тела в канале воздухозаборника приводят к качественному изменению картины течения воздушного потока с частицами, по сравнению с картиной течения в воздухозаборнике с цилиндрическим внутренним каналом, вследствие существенной роли соударений на траектории частиц.

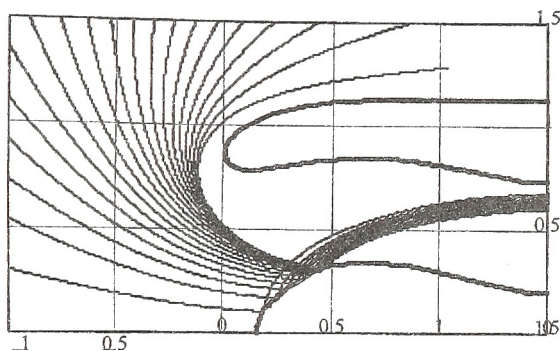


Рисунок 3 - Траектории частиц с размером 125 мкм в воздухозаборнике с центральным телом.

При движении мелких частиц (до 15 мкм) происходит их отщепление от оси и от поверхности обечайки и образование более высокой концентрации в ядре потока, причем их траектории зависят, в основном, не от столкновений частиц с ограничивающими поверхностями, а от аэродинамических сил. Эти частицы сильнее увлекаются воздушным потоком и имеют тенденцию избегать столкновения с граничными поверхностями.

Траектории частиц крупных размеров, обладающих большей инерцией, меньше зависят от аэродинамических сил и больше - от столкновений. Частицы перемещаются ближе к оси воздухозаборника и частично или полностью сталкиваются с поверхностью центрального тела. Некоторые из частиц соударяются с центральным телом после отскока от входной кромки внешней обечайки. Частицы отскакивают от центрального тела, приобретая значительную радиальную составляющую скорости, и двигаются на периферию к внутренней поверхности наружной обечайки, ограничивающей канал, достигнув которой, они могут претерпевать повторное соударение. Другие частицы, не соударяющиеся с центральным телом, близко подходят к его поверхности и попадают в зону высоких скоростей и максимальной кривизны канала, ускоряясь в которой, отбрасываются к периферии.

На рис. 5 показаны расчетные линии тока воздуха и траектории движения твердых частиц в воздухозаборнике вертолетного двигателя. Движение частиц крупных размеров в канале воздухозаборника характеризуется их неоднократными столкновениями с ограничивающими поверхностями центрального тела и внутренним корпусом.