

УДК 629.7.067

**М.Е. КОЧУГИН, С.В. САРЫЧЕВ, В.Т. ШЕПЕЛЬ****ОАО «НПО «Сатурн», Россия****МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ПОСТОРОННИХ ПРЕДМЕТОВ  
В S-ОБРАЗНЫХ ВОЗДУХОЗАБОРНИКАХ ГТД**

В данной работе рассматривается вопрос использования инерционного S-образного защитного устройства (воздухозаборника) для предотвращения попадания на вход авиационных ГТД малой мощности посторонних предметов. Разработана математическая модель движения посторонних предметов, позволяющая проектировать такие устройства. Описывается опыт по забросу птиц в авиационный ГТД, оснащенный инерционным защитным устройством указанного типа.

**ГТД, защитное устройство, попадание посторонних предметов, безопасность, траектория движения постороннего предмета**

**Введение**

При эксплуатации авиационных ГТД в газоздушный тракт двигателей попадают различные посторонние предметы, наиболее опасными из которых являются птицы. Для исключения попадания посторонних предметов на вход авиационного ГТД малой мощности применяются различные защитные устройства [1]. Значительный интерес для вертолетных двигателей представляют инерционные S-образные защитные устройства (рис. 1).

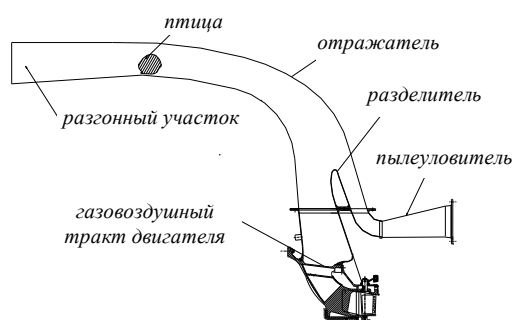


Рис. 1. Вид инерционного S-образного защитного устройства

Такое устройство состоит из разгонного участка, обтекателя, отражателя и уловителя. На разгонном участке посторонние предметы должны разогнаться таким образом, чтобы силы инерции превышали силы вязкости потока. Выполнение этого требова-

ния позволяет преодолеть постороннему предмету верхнюю точку разделителя, делящего общий канал на воздухозаборник и канал уловителя. Отражающая часть канала должна быть спроектирована так, чтобы посторонние предметы, ударившись о нее, с большой вероятностью должны попасть в канал уловителя. Для этого необходимо подобрать требуемую протяженность разгонного участка, кривизну отражающей поверхности и относительное расположение разделителя, гарантирующее, что посторонний предмет получит силу инерции, значительно превышающую силы вязкости потока, что необходимо для преодоления верхней точки разделителя и попадания в канал пылесборника.

**1. Анализ проблемы**

При проектировании инерционного S-образного защитного устройства необходимо знать траекторию движения тела в поле инерционных и вязкостных сил.

Траектория движения до столкновения со стенкой инерционного защитного устройства позволит оценить длину участка разгона, обеспечивает ли она посторонний предмет силой инерции, достаточной для прохождения разделителя и, соответственно, попадания постороннего предмета в канал уловите-

ля, а также позволяет оценивать скорость и угол соударения в случае упругого удара.

Такая модель позволяет также оценить значение угла наклона отражателя, необходимое для того, чтобы посторонний предмет попал в канал уловителя для случая упругого и неупругого столкновения.

Вопросы траектории движения посторонних предметов и их отражения о корпус инерционного S-образного защитного устройства изучались в работах [1, 2], однако без учета аэродинамических свойств потока. Поэтому целью настоящей работы является построение траектории движения постороннего предмета в поле инерционных и вязкостных сил.

## 2. Математическая модель

На тело, находящегося в потоке воздуха, действуют силы инерции, и силы вязкости воздуха (силы внутреннего трения). Система дифференциальных уравнений описывающих в плоскости движение постороннего предмета в потоке воздуха, имеет вид:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 X}{dt^2} = c_X \rho S \left( V_X - \frac{dX}{dt} \right)^2; \\ m \frac{d^2 Y}{dt^2} = c_Y \rho S \left( V_Y - \frac{dY}{dt} \right)^2 + gm, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – масса тела;  $S$  – площадь миделя тела;  $\rho$  – плотность воздуха;  $c_X$  и  $c_Y$  – аэродинамические коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы соответственно;  $V_X$  и  $V_Y$  – горизонтальные и вертикальные скорости движения потока,  $X$  и  $Y$  – координаты движения постороннего предмета.

В результате решения системы (1) получаем уравнения, связывающие координаты постороннего предмета с параметрами потока и начальными условиями:

$$\begin{cases} X = V_X t + \frac{1}{\frac{1}{m} c_X \rho S} \ln \left( t - \frac{U_{X0} + V_{X0}}{\frac{1}{m} c_X \rho S} \right) - \\ - \frac{1}{\frac{1}{m} c_X \rho S} \ln \left( - \frac{U_{X0} + V_{X0}}{\frac{1}{m} c_X \rho S} \right) - X_0; \\ Y = \frac{m}{c_Y \rho S} \ln \left[ \cos \left( - \operatorname{arctg} \frac{U_{Y0} + V_{Y0}}{\sqrt{\frac{mg}{c_Y \rho S}}} \right) - \sqrt{\frac{gc_Y \rho S}{m}} t \right] + \\ + V_Y t + \frac{m}{c_Y \rho S} \ln \left[ \cos \left( - \operatorname{arctg} \frac{U_{Y0} + V_{Y0}}{\sqrt{\frac{mg}{c_Y \rho S}}} \right) \right] - Y_0, \end{cases}$$

где  $X_0$  и  $Y_0$  – координаты движения постороннего тела в начальный момент времени;  $U_{X0}$  и  $U_{Y0}$  – скорость движения тела в начальный момент времени;  $V_{X0}$  и  $V_{Y0}$  – скорость движения потока в начальный момент времени.

Численное решение представленной системы уравнений позволяет моделировать траектории движения посторонних предметов в S-образных воздухозаборниках до столкновения с отражателем для различных начальных условий. На рис. 2 представлены траектории движения крупной, мелкой, средней птицы и частиц пыли.

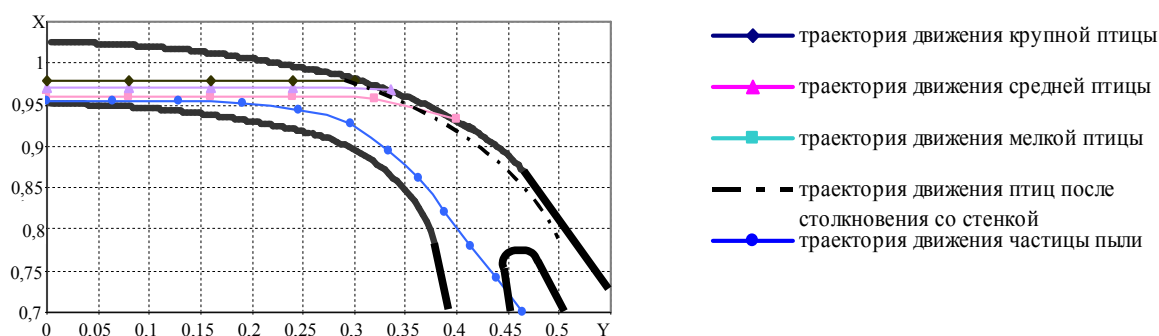


Рис. 2. Траектории движения крупной, мелкой и средней птицы в инерционном S-образном устройстве (скорость потока в воздухозаборнике 80 м/с)

Отражение от стенки воздухозаборника рассматривается в двух вариантах. В первом варианте рассматривалось условие упругого столкновения. В этом случае необходимо расположить верхнюю точку разделителя как можно выше, тем самым, обеспечивая попадание постороннего предмета в канал пылесборник. Во втором случае после столкновения постороннего предмета со стенкой предполагается его прилипание к поверхности S-образного воздухозаборника и дальнейшее движение по поверхности канала в уловитель.

Из представленного графика видно, чем выше инерция постороннего предмета, тем вероятнее его попадание в канал уловителя.

### 3. Опыт по забросу птиц

Для проверки достоверности полученных расчетов проводился опыт по забросу птиц в макет двигателя, оснащенного S-образным защитным устройством. Для проведения испытаний на попадания птиц стенд оборудован устройством для разгона тушек птиц, состоящий из пневматической пушки, установленной на расстоянии от 1,5 до 2,0 м от двигателя, с набором стволов для птиц мелких, средних и крупных размеров.

В ходе проведения испытаний был выполнен заброс двух мелких птиц в двигатель и массой 85 и 89 г со скоростью равной  $110 \pm 10$  км/ч и одной средней птицы массой 705 г со скоростью  $250 \pm 10$  км/ч, соответственно. Скорость заброса птиц при испытаниях соответствует работе двигателя со скоростью потока перед входом равной 80 м/с. После проведения заброса произведен осмотр S-образного воздухозаборника. В результате заброса все птицы попали внутрь канала уловителя.

После проведенного опыта был выполнен численный расчет траектории движения постороннего предмета методом поступательного движения твердого тела (не учитывающий аэродинамические свойства потока). Результаты расчета имеют расхо-

ждение со значениями, полученными численным исследованием по предлагаемой модели, и составили: для мелкой птицы – 0,04 м; для средней птицы – 0,02 м; для крупной птицы – 0,005 м.

### Заключение

1. Разработана математическая модель движения постороннего предмета в поле инерционных и вязкостных сил, позволяющая проектировать инерционные S-образные защитные устройства.

2. Проведен эксперимент по забросу птиц в двигатель, оснащенный S-образным воздухозаборником, который подтвердил адекватность разработанной математической модели.

3. Получена оценка расхождения между траекториями, рассчитанные по разработанной математической модели, учитывающей силы инерции и вязкости потока, и моделью поступательного движения тела не учитывающей вязкость воздуха.

### Литература

1. Защита авиационных ГТД от повреждения посторонними предметами / Обзор по материалам открытой иностранной печати. Сост. В.Д. Орехов, П.И. Курилкина. – Жуковский: ЦАГИ, 1987. – 92 с.
2. Косолапов Е.А., Мореплавцев А.Г., Синицын Д.И. Моделирование взаимодействия дисперсного потока со стенкой пылезащитного устройства ГТД // Энерготехнические установки и термодинамика. Межвуз. сб. – Н. Новгород: НГТУ, 2002 (в публикации).
3. Теоретическое и экспериментальное исследование движения частиц пыли в S-образном канале на входе в двигатель (реферат). ЦИАМ Технический перевод, инв. № 11240, 1969, 13 с.

*Поступила в редакцию 3.06.2005*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ш.А. Пиралишвили, РГАТА им. П.И. Соловьёва, Рыбинск.