

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ БЕЗОПАСНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ГРУЗА ОТ САМОЛЕТА-НОСИТЕЛЯ

АНАШКИН Александр Юрьевич – Московский авиационный институт (государственный технический университет), старший преподаватель
e-mail: alandm@inbox.ru

Alexandr U. Anashkin – Moscow Aviation Institute (State Technical University), senior lecturer
e-mail: alandm@inbox.ru

НЕСТЕРОВ Виктор Антонович – Московский авиационный институт (государственный технический университет), профессор, д.т.н.
Тел.: 499 158-4602

Victor A. Nesterov – Moscow Aviation Institute (State Technical University), professor, doctor
Phone: 499 158-4602

В работе обосновывается выбор критерия безопасного отделения груза от самолета-носителя при внутрифюзеляжном принудительном отделении и представлена методика его расчета.

In work selection of criterion of safety cargo ejection from aircraft-carrier inner section is described and method of criterion calculation is represented.

Ключевые слова: критерий безопасного отделения, вероятность столкновения, плотность распределения вектора фазовых координат, показатель эффективности.

Key words: safety ejection criterion, probability of impacting, frequency distribution of phase coordinates vector, efficiency indicator.

Описание задачи

Развитие авиационной науки и техники, и в частности авиадвигателестроения, аэродинамики, радиоэлектроники, определило появление малозаметных самолетов среднего класса (со взлетным весом 12...40 т) с внутрифюзеляжными отсеками. Самолеты данного типа должны обладать следующими характеристиками:

- возможность осуществлять сверхзвуковой крейсерский полет на бесфорсажном режиме;
- возможность осуществлять полет на малых высотах с околозвуковой скоростью;
- малая радиолокационная и тепловая заметность;
- высокие аэродинамические свойства, возможность полета в режиме «сверхманевренность».

Рассмотрим кратко проблемы, возникающие на различных этапах применения грузов внутрифюзеляжного расположения.

а) *Этап подвески и размещения грузов.* В отличие от самолетов дальнего действия, где традиционно применялось внутрифюзеляжное расположение грузов, самолеты ближнего действия имеют меньшие полез-

ные объемы, необходимые для размещения грузов. В то же время они должны располагать значительно большей номенклатурой грузов, размещаемых в отсеке. Поэтому весьма важной представляется не только задача проведения унификации грузов и установок летательных аппаратов, но и определение единых типоразмеров отсеков самолетов-носителей.

б) *Этап транспортировки грузов.* Условия транспортировки и отделения грузов зависят от типа течения, реализуемого в отсеке, которое может быть открытым (с равномерным распределением давления по длине), переходным и закрытым (с большим градиентом давления). Течение в отсеках носит неустойчивый отрывной характер. При высоких числах Рейнольдса внешнего потока в отсеке возникают интенсивные аэроакустические колебания, содержащие как мелкомасштабные пульсации давления, типичные для турбулентного сдвигового слоя, так и дискретные резонансные составляющие, частота, амплитуда и форма которых зависят от формы и заполнения отсека, состояния его створок и параметров набегающего потока. Интенсивность возмущения этой среды

может оказаться настолько большой (уровень звукового давления порядка нескольких сотен децибел), что не исключена возможность повреждения грузов, установок летательных аппаратов или самого отсека.

в) *Этап перевода грузов в рабочее положение.* Методика применения накладывает жесткие ограничения по времени вывода грузов из отсека. Исследования показывают, что в процессе маневрирования самолетов ближнего действия время, требуемое на вывод грузов из отсека, не должно превышать 0,75...4,00 с.

Как видно из пункта б проведенного выше анализа проблем внутрифюзеляжного размещения грузов, существует возможность столкновения груза с носителем. Следовательно, необходимо произвести оценку эффективности безопасного отделения.

Выбор критерия безопасного отделения

Самолет и груз далее будем рассматривать с позиции сложной системы.

Поскольку функционирование сложной системы протекает, как правило, в условиях значительного влияния внешних случайных факторов, то оценку ее эффективности целесообразно проводить с помощью различных вероятностных характеристик. Существует несколько требований и условий, которыми следует руководствоваться при выборе показателя эффективности:

1. Показатель эффективности должен характеризовать не какую-то часть системы или отдельные ее средства, а именно систему как единое целое.

2. Показатель эффективности и его зависимость от установленных факторов должны обеспечить возможность получения количественной оценки с требуемой достоверностью.

3. Область изменения показателя эффективности должна иметь четко очерченные границы.

Для сложных систем трудность задачи выбора конкретного показателя эффективности возрастает в еще большей степени. Многочисленность элементов и связей в составе системы обуславливают многообразие состояний последней. Действительно, из-за наличия и воздействия различного рода случайных факторов и возмущений возможно такое состояние системы, когда в ходе взаимодействия один или несколько элементов в ней полностью или не полностью выполняют свои функции. Если учесть, что элементов и связей в сложной системе много, то естественно, что число их сочетаний будет чрезвычайно большим. Но это множество состояний системы, характеризующихся только отказами и неисправностями отдельных элементов, может привести к различным результатам с точки зрения функционирования всей системы. Например, возможен случай, когда отказ одного из эле-

ментов приводит к тому, что конечный результат в системе не достигается. Но возможны случаи, когда и при плохой работе одного или нескольких элементов конечная цель при функционировании системы все же достигается, однако при этом не удовлетворяются заранее определенные ограничения. Из-за влияния случайных факторов вполне допустим случай, когда отдельный элемент (элементы) выполняет свои функции плохо, но конечная цель (безопасное отделение) тем не менее достигается. Следовательно, множество возможных состояний системы и конечных эффектов только затрудняет выбор конкретного вида показателя эффективности.

Учитывая вышеизложенное, в качестве критерия безопасного отделения целесообразно выбрать вероятность столкновения груза с носителем.

Расчет вероятности столкновения груза с носителем

Рассмотрим интервал времени $[0; T]$. Обозначим расстояние между крайними точками отсека и груза через h . Тогда вероятность столкновения груза с носителем запишется как $P(h \leq 0)$.

Пусть уравнение поверхности j -го тела описывается уравнением $S_j(\bar{r}, t) = 0$, где \bar{r} – радиус-вектор, определяющий положение j -го тела в пространстве, $j = 1, 2$. Причем $j=1$ соответствует грузу, а $j=2$ соответствует носителю. Обозначим через $\bar{x}_j(t)$ вектор фазовых координат объекта. Тогда $S_j(\bar{r} + \bar{x}_j(t), t) = 0$ – уравнение поверхности j -го тела в момент времени t , имеющего фазовые координаты $\bar{x}_j(t)$.

Пусть по результатам эксперимента у нас имеется плотность распределения вектора фазовых координат $f(\bar{x}_j)$, в которой содержится некая систематическая ошибка m_x^j определения данного вектора. Тогда плотность распределения вектора фазовых координат объекта при наличии систематической ошибки будет $f(\bar{x}_j | m_x^j)$. При этом предполагаем, что движение описывается нормальным законом распределения и

$$f(\bar{x}_j | m_x^j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{(x_j - m_x^j)^2}{2\sigma_x^2(m_x^j)}\right).$$

Тогда вероятность столкновения в заданном сечении можно записать как

$$P_{\text{сеч}}(h \leq 0) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1 | m_x^1) \int_{x_1 - S_1}^{x_1 + S_1} (f(x_2 | m_x^2)) dx_1 dx_2.$$

Как частный случай можно рассмотреть столкновение груза с носителем в виде пересечения двух параллелепипедов.

В данном случае условия столкновения запишутся следующим образом:

$$|x_1 - x_2| \leq L_x;$$

$$|y_1 - y_2| \leq L_y;$$

$$|z_1 - z_2| \leq L_z,$$

где $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ – координаты центров масс груза и носителя соответственно; L_x, L_y, L_z – величины, характеризующие максимальную разницу координат точек груза. Тогда вероятность столкновения в заданном сечении

$$P_{\text{сеч}}(h \leq 0) = \left[\int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1 | m_x^1) \int_{x_1 - L_x}^{x_1 + L_x} f(x_2 | m_x^2) dx_1 dx_2 \right] \times \\ \times \left[\int_{-\infty}^{+\infty} f(y_1 | m_y^1) \int_{y_1 - L_y}^{y_1 + L_y} f(y_2 | m_y^2) dy_1 dy_2 \right] \times \\ \times \left[\int_{-\infty}^{+\infty} f(z_1 | m_z^1) \int_{z_1 - L_z}^{z_1 + L_z} f(z_2 | m_z^2) dz_1 dz_2 \right]$$

при условии, что координаты ЦМ носителя и груза были определены с систематическими ошибками.

Поскольку процесс происходит в динамике, нам надо определить вероятность столкновения груза с носителем на интервале времени $[0; T]$. Разобьем этот интервал на равные промежутки Δt , а моменты наблюдений обозначим $t_1, t_2, \dots, t_n = T$. При этом время процесса вычисляется по формуле $T = \Delta t \times n$, а момент k -го наблюдения – по формуле t_k ; $k = 0, 1, \dots, n$.

Вычислим вероятность столкновения в заданный момент времени.

Пусть $p(t, t + \Delta t) = a(t)\Delta t + o(\Delta t)$ – вероятность столкновения за интервал времени $[t, t + \Delta t]$, а $\pi(t)$ – вероятность того, что столкновение не произойдет до момента времени t . Тогда $\pi(t + \Delta t)$ – вероятность того, что в следующий момент не произойдет столкновения, $\pi(t + \Delta t) = \pi(t)\pi(t + \Delta t, t)$, где $\pi(t + \Delta t, t)$ – вероятность отсутствия столкновения в интервал времени $[t, t + \Delta t]$, если прошло t секунд.

$$\pi(t + \Delta t, t) = 1 - p(t, t + \Delta t) = 1 - a(t)\Delta t - o(\Delta t),$$

$$\pi(t + \Delta t) = \pi(t)[1 - a(t)\Delta t - o(\Delta t)],$$

$$\pi(t + \Delta t) - \pi(t) = -a(t)\pi(t)\Delta t,$$

$$\frac{\pi(t + \Delta t) - \pi(t)}{\Delta t} = -a(t)\pi(t),$$

$$\frac{d\pi(t)}{dt} = -a(t)\pi(t),$$

$$\pi(t) = C \exp\left(-\int_0^t a(t) dt\right).$$

Если в момент времени $t=0$ считать, что груз удерживается установкой, то $\pi(0) = 1$.

Тогда

$$1 = Ce^0,$$

$$C = 1.$$

Отсюда

$$\pi(t) = \exp\left(-\int_0^t a(t) dt\right).$$

Тогда вероятность столкновения до времени t будет

$$1 - \pi(t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t a(t) dt\right).$$

В данном случае

$$a(t) = P_{\text{сеч}}.$$

Тогда вероятность столкновения на интервале времени $[0; T]$ будет определяться формулой:

$$P(h \leq 0) = 1 - \exp\left(-\int_0^t P_{\text{сеч}} dt\right).$$

Разобьем интервал времени $[0; T]$ на n участков $[t_{k-1}; t_k]$, для каждого из которых вероятность столкновения груза с объектом является постоянной величиной, равной $p_{[t_{k-1}; t_k]} = P_{\text{сеч}k}$.

Тогда

$$\int_0^t P_{\text{сеч}} dt = \sum_{k=0}^n P_{\text{сеч}k} (t_k - t_{k-1}).$$

Отсюда вероятность столкновения на интервале $[0; T]$

$$P(h \leq 0) = 1 - \exp\left(-\sum_{k=0}^n p_{\text{сеч}k} (t_k - t_{k-1})\right) =$$

$$= 1 - \exp\left(-\sum_{k=0}^n p_{\text{сеч}k} \Delta t\right) = 1 - \prod_k \exp(p_{\text{сеч}k} \Delta t)$$

Выводы

Подводя итог изложенному выше, отметим, что на основе анализа проблем, связанных с внутрифюзеляж-

ным размещением грузов, был выработан численный критерий безопасного отделения грузов от носителя и получено расчетное выражение для его определения.

Библиографический список

Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей: Учебник. – Изд. 9-е, испр. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007.

Московский авиационный институт
(государственный технический университет)