



В.В. Любимов, Е.В. Куркина

АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА В РЕЗОНАНС АСИММЕТРИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ В АТМОСФЕРЕ МАРСА

(Самарский университет)

Постановка задачи. Рассматривается задача о неуправляемом спуске космических аппаратов с малой аэродинамической и малой инерционной асимметриями в атмосфере Марса. Следует отметить, что присутствие с малой аэродинамической и инерционной асимметрий может явиться причиной реализации длительного главного резонанса и привести к нештатному увеличению угла атаки. Следовательно, возникает практическая необходимость в расчете вероятности захвата в главный резонанс при входе в атмосферу космического аппарата с малой инерционной и малой аэродинамической асимметриями. Применение метода малого параметра позволяет получить оценку вероятности захвата динамической системы в главный резонанс при атмосферном спуске на Марс космических аппаратов в случае малых углов атаки. Анализ оценки вероятности захвата в резонанс при спуске космического аппарата с малой массовой и аэродинамической асимметриями в атмосфере Марса производился в статье [1]. Цель этой работы состоит в получении результатов численного анализа вероятности захвата в главный резонанс для космических аппаратов с малой инерционной и аэродинамической асимметрий при различных сочетаниях осевых моментов инерции. Предположим, что космические аппараты конической формы, имеют следующие общие параметры и начальные условия движения: масса равна 550кг, высота конуса равна $l=2$ м, скорость входа в атмосферу Марса равна $V(0)=3800$ м/с, начальная высота полета $H(0)=120$ км, угол наклона траектории $\vartheta(0)=-0,02$ рад.

Математическая модель движения. При численном моделировании применяются приближенные квазилинейные уравнения движения космических аппаратов с малой инерционной и аэродинамической асимметриями [2]:

$$\frac{d\omega_x}{dt} = \varepsilon \frac{m^A \omega_{1,2}^2 \alpha^2}{I_x} \sin(2\theta + 2\theta_2), \quad (1)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = \mp \varepsilon \frac{m^A \omega_{1,2} \alpha}{2\omega_a} [2\omega_x - \omega_{1,2}] \sin(2\theta + 2\theta_2) \mp \varepsilon \frac{m^A}{2\omega_a} \cos(\theta + \theta_1) - \varepsilon \frac{\omega \alpha}{2\omega_a^2} \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_x - \omega_{1,2} \pm \varepsilon \frac{m^A}{2\alpha\omega_a} \sin(\theta + \theta_1) \pm$$



$$\pm \varepsilon \frac{m^{\Delta} \omega_{1,2}}{2\omega_a} [2\omega_x - \omega_{1,2}] \cos(2\theta + 2\theta_2), \quad (3)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon \frac{\omega}{2q} \frac{dq}{dt}. \quad (4)$$

Здесь ε – малый безразмерный параметр, ω_x – угловая скорость космического аппарата относительно оси симметрии, $OXYZ$ - связанная система координат, α – угол атаки, θ – быстрая фаза, $\omega = \sqrt{-m_{zn}^{\alpha} qsl / I}$, $m^A, m^{\Delta}, \theta_1, \theta_2$ – параметры, характеризующие величину и взаимное расположение аэродинамической и инерционной асимметрий, $m^A = \sqrt{(m_1^A)^2 + (m_2^A)^2}$, $m^{\Delta} = \sqrt{(\bar{I}_{yz})^2 + (\Delta\bar{I})^2}$, $m_1^A = -\frac{\omega^2}{m_{zn}} m_{y0}^{\phi} - \bar{I}_{xz} \omega_x^2$, $m_2^A = -\frac{\omega^2}{m_{zn}} m_{z0}^{\phi} + \bar{I}_{xy} \omega_x^2$, $\cos 2\theta_2 = -\frac{\Delta\bar{I}}{m^{\Delta}}$, $\sin 2\theta_2 = -\frac{\bar{I}_{yz}}{m^{\Delta}}$, $m_{y0}^{\phi}, m_{z0}^{\phi}, m_{zn}$ – известные коэффициенты разложения аэродинамических характеристик в степенной ряд по углу атаки, q – скоростной напор, s – площадь миделева сечения, $\omega_a = \sqrt{\bar{I}_x \omega_x^2 / 4 + \omega^2}$, $\omega_x - \omega_{1,2}$ – резонансная соотношение частот, I_x, I_y, I_z – осевые моменты инерции аппарата, $\bar{I}_x = I_x / I$, $I = (I_y + I_z) / 2$, I_{xy}, I_{yz}, I_{xz} – центробежные моменты инерции аппарата, $\bar{I}_{xy} = I_{xy} / I$, $\bar{I}_{xz} = I_{xz} / I$, $\Delta\bar{I} = I_z - I_y / I$, $\omega_{1,2} = \frac{\bar{I}_x \omega_x}{2} \pm \omega_a$. Здесь $\omega_{1,2} = \omega_1$ и знак «+» выбираются при $\omega_x > 0$. Если $\omega_x < 0$, то выбираются $\omega_{1,2} = \omega_2$ и знак «-». Главный резонанс в системе (1)-(4) возможен при выполнении равенства $\omega_x - \omega_{1,2} \approx 0$.

Оценка вероятности захвата. Известно [3], что при малых углах атаки α и малом крутящем моменте a вероятность захвата в главный резонанс можно оценить следующим образом:

$$Pr = \frac{2\Phi}{\pi a + \Phi}, \text{ если } \Phi < \pi|a| \quad (5)$$

$$\text{где } \Phi = \pm \frac{2\pi \sqrt{1 - \bar{I}_x}}{\sqrt{\bar{I}_x} (2 - \bar{I}_x)^{3/2}} \omega^2 \sqrt{m^{\Delta} m^A} \cos(\theta_1 - \theta_2) + \\ + \frac{4\alpha}{\sqrt{\bar{I}_x} \sqrt{2 - \bar{I}_x}} \frac{d\omega}{dt} \sqrt{m^{\Delta}} \left(1 - \frac{2(1 - \bar{I}_x)}{(2 - \bar{I}_x)^{3/2}} \right), a = \mp \frac{2(1 - \bar{I}_x)^{1/2}}{2 - \bar{I}_x} \frac{d\omega}{dt}.$$

Численное моделирование. Производилось численное моделирование вероятности захвата в резонанс при различных значениях отношения моментов инерции \bar{I}_x . В процессе численного моделирования вероятности захвата применялась оценка (5). На рисунке 1 показаны результаты расчета частной произ-



водной вероятности захвата в главный резонанс $\frac{\partial \text{Pr}}{\partial \bar{I}_x}$, полученные при различных значениях отношения моментов инерции \bar{I}_x .

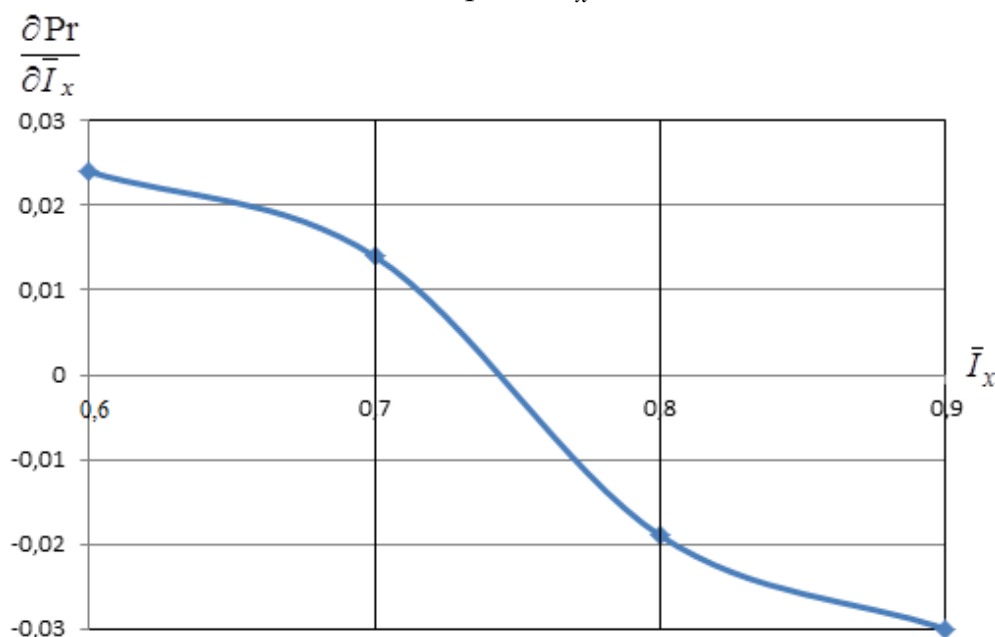


Рисунок 1 – Зависимость производной вероятности захвата в резонанс $\frac{\partial \text{Pr}}{\partial \bar{I}_x}$ от отношения моментов инерции \bar{I}_x

Выводы. Из результатов численного моделирования, содержащихся на рисунке 1 следует, что на практически значимом интервале значений отношения моментов инерции \bar{I}_x имеется два интервала. На интервале $\bar{I}_x \in [0.6, 0.75)$ частная производная $\frac{\partial \text{Pr}}{\partial \bar{I}_x}$ положительна. Таким образом, на указанном интервале вероятность захвата в главный резонанс Pr увеличивается с увеличением отношения моментов инерции \bar{I}_x . Напротив, на интервале $\bar{I}_x \in (0.75, 0.9]$ частная производная $\frac{\partial \text{Pr}}{\partial \bar{I}_x}$ отрицательна. В этом случае вероятность захвата Pr уменьшается с увеличением отношения моментов инерции \bar{I}_x . При $\bar{I}_x \approx 0.75$ вероятность захвата Pr достигает своего максимального значения.

Литература

1. Любимов, В.В. Оценка вероятности захвата в резонанс асимметричного космического аппарата при управляемом спуске в атмосфере Марса [Текст] / В.В. Любимов, Е.В. Куркина // Естественные и технические науки.- М: Спутник+. 2015. №11(89). С. 363-369.
2. Любимов, В.В. Внешняя устойчивость резонансов в динамике полета космических аппаратов с малой асимметрией [Текст] / В.В. Любимов // Самара, Издательство СНЦ РАН. 2013. 276 с.



3. Любимов, В.В. Оценка вероятности захвата в резонанс при движении динамически несимметричного твердого тела в атмосфере [Текст] / В.В. Любимов // Вестник Самарского государственного технического ун-та. Серия физико-математические науки. 2007. № 2. С.110-115.

В.А. Трусов, А.Е. Вершинин, Л.А. Авдоница, В.В. Трусов

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХПРОЦЕССОВ АВТОМАТНО–МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

(Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия)

Известно, что наибольшее распространение в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) получили следующие методы регулирования: 1) пропорциональный; 2) интегральный; 3) пропорциональный–интегральный; 4) пропорционально–интегрально–дифференциальный и их цифровые аналоги. В АСУ ТП формируется согласно закону регулирования сигнал ε пропорционально ошибке в этих системах. При применении информационных критериев для решения задач регулирования необходимо:

- 1) выбрать информационно–статистический критерий регулирования;
- 2) проанализировать существующие ошибки, возникающие при функционировании АСУ ТП;
- 3) разработать информационно–статистический (ИС) критерий регулирования, основанный на мере информации, свободной от недостатков, присущих современным мерам информации.

Важную роль играет вопрос о корректности постановки задачи. Задача считается поставленной корректно, если ее решение существует единственно и устойчиво относительно малых вариаций исходных данных. Эти задачи решались в работах А.Н. Тихонова, А.М. Лаврентьева, В.В. Солодовникова, В.Л. Ленского и других [1].

Предлагается рассмотреть метод регуляризации, когда на вход системы поступают случайный сигнал и помеха, причем задан допустимый уровень среднеквадратичной ошибки (СКО) этого сигнала, т.е.

$$\bar{\varepsilon}^2 = \sigma_0^2, \quad (1)$$

больший минимально возможного для этой системы. Имеется функционал $I[K(t)]$, определенный для рассматриваемого класса переходных функций $K(t)$. Требуется найти импульсную переходную функцию $K(t)$, минимизирующую функционал $I[K(t)]$ и обеспечивающую заданный допустимый уровень ошибки (1). Таким образом, нужно найти минимум функционала (1), т.е.

$$\min I = \lambda I[k(t)] + \bar{\varepsilon}^2, \quad (2)$$

где λ – множитель Лагранжа.