В.Б. Сахибазарова, О.Н. Наумов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ В НЕЦЕНТРАЛЬНОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва)

В настоящее время одной из активно развиваемых и востребованных областей деятельности человека является космическая отрасль. Изучение состояния Земли, посредством съемок с орбиты, мониторинг верхних слоев атмосферы, обеспечение спутниковой связи и телевидения – все это осуществимо благодаря космическим летательным аппаратам, вращающимся вокруг Земли. А математическое моделирование – удобнейший инструмент, позволяющий без значительных затрат средств и времени предсказать поведение летательного аппарата, и продемонстрировать его реакцию на изменение исходных условий движения.

В данной работе происходит моделирование движения космической тросовой системы (КТС) — комплекса искусственных космических объектов (спутников, кораблей, грузов), соединенных длинными тонкими гибкими элементами (тросами, кабелями, шлангами), совершающий орбитальный полет. В наиболее простом виде КТС — это связка двух космических аппаратов (в данной работе – космический аппарат (КА) и спускаемая капсула (СК)), соединенных тросом длиной в десятки или даже сотни километров [1].

Уравнения движения КТС представляют собой совокупность уравнений движения центров масс КА и СК, движения относительно центра масс, а также уравнения, описывающие работу механизма управления развёртыванием троса.

Для вывода уравнений движения требуется определить возмущающие силы. При движении космической тросовой системы в гравитационном поле Земли возмущающими силами являются: аэродинамические силы, действующие как на трос, так и на концевые тела, а также силы связанные с нецентральностью гравитационного поля Земли.

Уравнения вращательного движения описываются динамическими и кинематическими уравнениями Эйлера [2]:

$$I_X \cdot \frac{d\omega_X}{dt} + \omega_Y \cdot \omega_Z \cdot (I_Z - I_Y) = \sum M_X,$$

$$I_Y \cdot \frac{d\omega_Y}{dt} + \omega_X \cdot \omega_Z \cdot (I_X - I_Z) = \sum M_Y, \qquad (1)$$

$$I_Z \cdot \frac{d\omega_Z}{dt} + \omega_X \cdot \omega_Z \cdot (I_Y - I_X) = \sum M_Z,$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\omega_X \cdot \sin\varphi + \omega_Y \cdot \cos\varphi}{\sin\theta},$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega_Z - \frac{(\omega_X \cdot \sin\varphi + \omega_Y \cdot \cos\varphi) \cdot \cos\theta}{\sin\theta}, \qquad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_X \cdot \cos\varphi - \omega_Y \cdot \sin\varphi,$$

где I_X, I_Y, I_Z – моменты инерции груза в главных связанных осях; ω_i и $\sum M_i$ ($i = x,y,z$) – проекции угловых скоростей вращения груза и действующих на него моментов на оси главной связанной системы координат; , , - углы Эйлера, определенные относительно связанной системы координат; $M_i = M$,

где $\bar{M}$ - момент от силы упругости троса.

Момент от силы упругости троса ($\bar{M}$) определяется из выражения $\vec{M}_{elast_i} = \overrightarrow{\Delta R_e} \times \vec{F}$ (5), где - радиус-вектор точки крепления троса относительно центра масс концевого тела; $\vec{F}$ - сила упругости.

Для определения модуля силы упругости применяется односторонний закон Гука

$$F_{elast} = \begin{cases} \frac{c \cdot (L_{AB} - L)}{L}, \text{при } L_{AB} - L \\ 0, \text{при } L_{AB} - L \leq \end{cases} \qquad (6)$$

где - расстояние между точками крепления троса на КА и на грузе, - длина выпущенного из механизма троса, c - жесткость троса, и - модуль Юнга и площадь поперечного сечения троса.

Уравнения, описывающие работу механизма управления, записываются в виде

$$m_{in} \cdot \frac{dV_T}{dt} = F_{elast} - F_c$$

$$\frac{dL}{dt} \qquad (8)$$

где $F_c = K_L \cdot (L - L_{progr}) + K_V \cdot (V_T - V_{p}$ - управляющая сила в механизме развертывания, - коэффициент, характеризующий инерционность механизма; и - коэффициенты обратной связи системы управления; - скорость троса.

В работе рассматривается нецентральное гравитационное поле, гравитационный потенциал которого, определяется следующим образом:

$$U = U_0 + U_1 + U_2 + \ldots \tag{9}$$

Для практических исследований гравитационный потенциал Земли, часто записывают с учётом только трёх составляющих гравитационного потенциала (9), в следующей форме [3]:

$$U = \frac{\mu}{r} + \frac{\varepsilon}{r^3}\left(\frac{1}{2} - \sin^2\varphi\right) + \frac{\chi}{r^5}\left(\sin^4\varphi - \frac{6}{7}\sin^2\varphi + \frac{3}{35}\right), \tag{10}$$

где $\varepsilon = 2.634 \cdot 10^5$ км$^5 \cdot$ с$^{-2}$, $\chi = 6.773 \cdot 10^5$ км$^5 \cdot$ с$^{-2}$

Для анализа уравнений движения центров масс концевых тел используется второй Закон Ньютона, где в правой части уравнений добавляются слагаемые связанные с действием силы упругости троса и гравитационной силой.

В ортогональной геоцентрической системе координат, гравитационные силы имеют вид:

$$G_x = m\frac{\partial U}{\partial x}, \quad G_y = m\frac{\partial U}{\partial y}, \quad G_z = m\frac{\partial U}{\partial z}. \tag{11}$$

Здесь m - масса тела, движение которого исследуется.

Полученная математическая модель движения космической тросовой системы в нецентральном поле Земли, можем быть использована для расчёта траектории развёртывания КТС, и определения начальных условий дальнейшего спуска СК в плотных слоях атмосферы.

Литература

1. Осипов В.Г., Шошунов Н.Л. Космические тросовые системы: история и перспективы // Земля и Вселенная – 1998. - №4. – С. 19-29.
2. Заболотнов Ю.М., Наумов О.Н. Анализ пространственного вращательного движения концевого тела при развертывании орбитальной тросовой системы [Текст]/Ю.М. Заболотнов, О.Н. Наумов // Управление и навигация летательных аппаратов. – Самара. СГАУ, 2012 г. – С. 104-107
3. Анучин О. Н., Комарова И. Э., Порфирьев Л. Ф. Бортовые системы навигации и ориентации искусственных спутников Земли. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ “Электроприбор”, 2004. – 326 с.

М.С. Светлов, А.А. Львов, П.В. Мартынов, М.К. Светлова

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ БОЛЬШОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

(Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Институт проблем точной механики и управления РАН)

Одна из наиболее актуальных задач синтеза современных цифровых информационных каналов (ИК) как совокупности каналов связи (КС) и устройств кодирования (КУ) и декодирования (ДКУ), работающих в условиях действия случайных импульсных помех большой интенсивности, – обеспечение требуемого уровня достоверности приема переданной по КС информации, определяемой помехоустойчивостью ИК. Количественно помехоустойчивость и достоверность принято оценивать значениями вероятностей исходов приема (правильный и ложный приемы, защитный отказ) при известной статистике канала. При этом основная задача повышения помехоустойчивости ИК в целом состоит в максимально возможном снижении значений вероятностей ложного приема и защитного отказа, что традиционно обеспечивается использованием корректирующих кодов при каскадном кодировании, но эффективно лишь при малых и средних значениях интенсивности случайных импульсных помех $i_{\text{с.п.}} = f_{\text{с.п.}} / f_{\text{К}} < 3$ ($f_{\text{с.п.}}$, $f_{\text{К}}$ – частоты случайной импульсной помехи и кода, соответственно). При случайных импульсных помехах большой интенсивности ($i_{\text{с.п.}} \geq 3$), кроме корректирующих кодов, как правило, используются различные способы дублирования передачи, обратные каналы, параллельные сигнальные признаки, что не только усложняет алгоритмы работы КУ и ДКУ, но и существенно снижает быстродействие и экономическую эффективность ИК [1].

В ходе проведенных исследований для повышения помехоустойчивости ИК предложены алгоритмы вторичного (защитного) кодирования и декодирования на базе кодового сигнального признака (КСП), подробно представленные в [2-3].

Особенностью кодирования с КСП является представление каждого разрядного символа используемого в общем случае K-ичного алфавита первичного канального кода (ПКК) в виде кодовых последовательностей разрядов вторичного канального кода (ВКК) существенно малой длительности τ, жестко связанных между собой фиксированными интервалами времени. При этом КУ ВКК формирует K различных рабочих двоичных n-разрядных кодовых слов, первый единичный разряд которых формируется с фиксированной начальной задержкой Δt_0 по отношению к переднему фронту каждого кодируемого КСП разрядного символа ПКК, а последующие единичные разряды формируются через интервалы времени, кратные некоторому значению времени задержки Δt.