

УДК 629.78

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ НАМАГНИЧЕННОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Садуакас Е. М., Дорошин А. В.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

На искусственный спутник Земли, находящийся на орбите, воздействуют различные факторы, такие как гравитация, аэродинамика, солнечное излучение, магнитное поле планеты. Эти силы создают вращательный момент спутника. На околоземной орбите, заметно ощущается влияние магнитного поля планеты на искусственный спутник. Это создает вращательный импульс, за счет лоренцевых сил действующих на намагниченные космические аппараты.

Момент, создаваемый магнитным полем, будет описываться следующим выражением:

$$M_{МП} = \bar{m} \times \bar{B}_{orb}, \quad (1)$$

где  $M_{МП}$  – момент сил,  $\bar{m} = [m_x, m_y, m_z]^T$  – собственный дипольный момент аппарата,  $\bar{B}_{orb} = |\bar{B}_{orb}| \cdot [\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3]^T$  – вектор магнитной индукции. При этом:

$$|\bar{B}_{orb}| = \frac{\mu_0 \mu_m}{4\pi(R_3+h)^3}, \quad (2)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2}$  – магнитная постоянная,  $\mu_m = 7,8 \cdot 10^{22} \frac{A}{m^2}$  – плотность электрического тока,  $R_3$  – радиус Земли,  $h$  – высота орбиты. Направляющие косинусы  $\bar{\gamma} = [\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3]^T$  можно найти через уравнение Пуассона:

$$\dot{\gamma} = \bar{\gamma} \times \bar{\omega}, \quad (3)$$

где  $\bar{\omega} = [p, q, r]^T$  – вектор угловой скорости.

Если рассматривать, что на КА действует только магнитное возмущение, то есть пренебречь остальными внешними силами, то динамические уравнения Эйлера можно записать следующим образом:

$$A\dot{p} + (C - B)qr = M_{МПx}, \quad B\dot{q} + (A - C)rp = M_{МПy}, \quad C\dot{r} + (B - A)pq = M_{МПz}, \quad (4)$$

где  $A, B, C$  – главные моменты инерции.

В качестве примера моделирования динамики движения намагниченного КА, рассмотрим спутник со следующими характеристиками:  $m_x=0,3$  Кл·м,  $m_y=0,2$  Кл·м,  $m_z=1$  Кл·м;  $A=0,2$  кг/м<sup>2</sup>,  $B=0,15$  кг/м<sup>2</sup>,  $C=0,8$  кг/м<sup>2</sup>. И начальными условиями:  $p=0,5$  1/с,  $q=0,5$  1/с,  $r=1$  1/с;  $\gamma_1=0,721$  рад,  $\gamma_2=0,558$  рад,  $\gamma_3=0,412$  рад;  $h=220 \cdot 10^3$  м. Будем считать, что вектор  $\bar{B}_{orb}$  параллелен с неподвижной осью  $OZ$ , и в малый отрезок времени 60 с, они останутся параллельны.

Также будем рассматривать, что внутри КА находится электромагнит, и на отрезке времени от  $t_0=0$  с до  $t_1=10$  с он выключен, а с  $t_1=10$  с до  $t_2=60$  с включен. Эти условия задаем при помощи добавления функции Хевисайда в уравнения (4). Для отрезка  $t_0 - t_1$ :

$$Heaviside(t) = H(t - t_0) - H(t - t_1). \quad (5)$$

А для отрезка  $t_1 - t_2$ :

$$Heaviside(t) = H(t - t_1) - H(t - t_2). \quad (6)$$

Расчеты произведены в среде математического моделирования Maple 2016. Ниже представлены графики изменения угловых скоростей и направляющих косинусов (рисунок 1, рисунок 2).

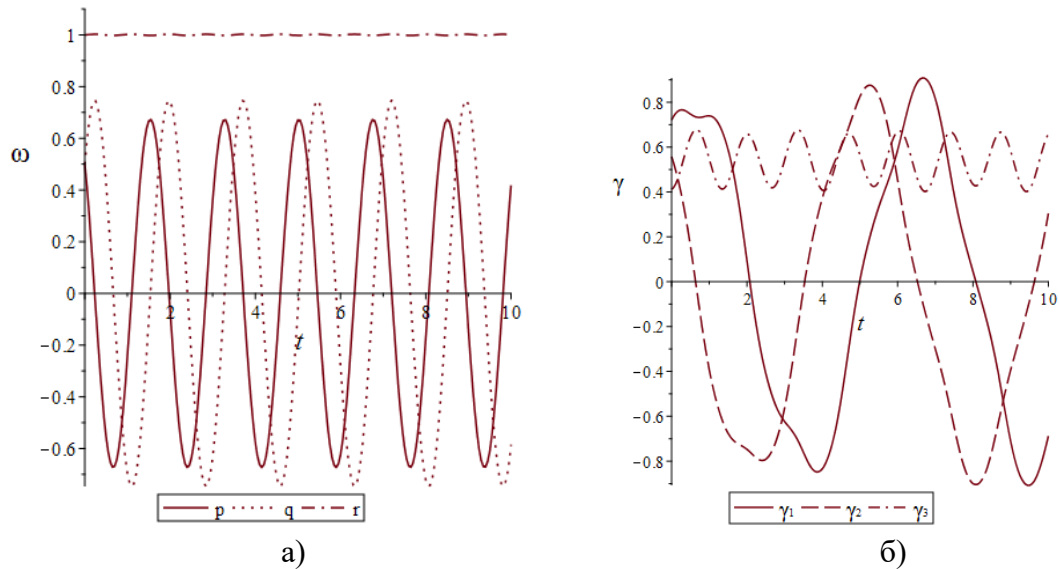


Рис. 1. Изменения параметров а) угловой скорости, б) направляющих косинусов, на отрезке времени  $t_0$ -  $t_1$ .

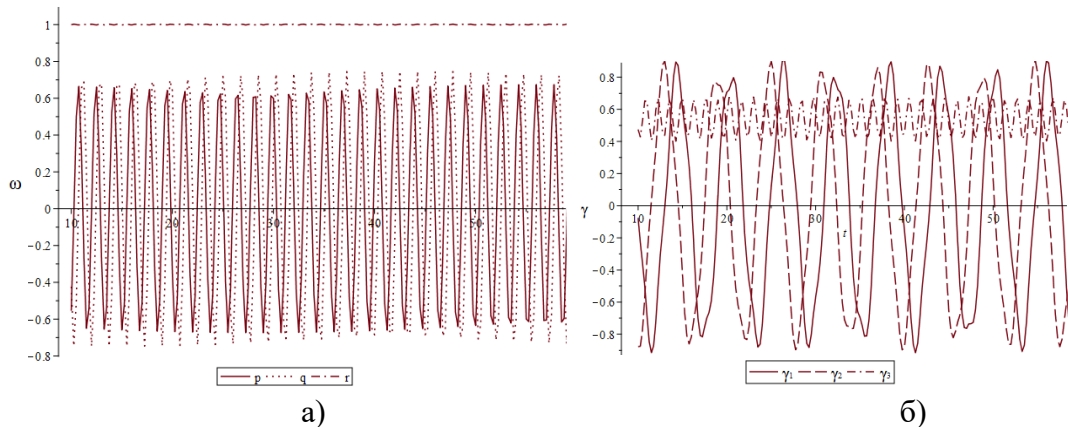


Рис. 2. Изменения параметров а) угловой скорости, б) направляющих косинусов, на отрезке времени  $t_1$ -  $t_2$ .

На 60-ой секунде КА принимает следующие условия:  $p=-0.1854$  1/с,  $q=0.7179$  1/с,  $r=1,0020$  1/с;  $\gamma_1=-0,5511$  рад,  $\gamma_2=0,7147$  рад,  $\gamma_3=0,4318$  рад.

#### Библиографический список

1. Белецкий, В. В. Вращательное движение намагниченного спутника [Текст] / В. В. Белецкий, А. А. Хентов// М.: Наука. - 1985. – 288 с.
2. Черноусько, Ф. Л. Эволюция движения твердого тела относительно центра масс: монография [Текст]/ Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Д. Д. Лещенко// М.: Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований. - 2015. — 308 с.
3. Савотченко С. Е. Методы решения математических задач в Maple: учебное пособие [Текст]/ С. Е. Савотченко, Т. Г. Кузьмичева// Белгород: Изд. Белаудит. - 2001. – 116 с.