

УДК 629.7

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ МИКРОСПУТНИКА «АИСТ1» С МАГНИТНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ**

Лебедев А.С., Любимов В.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

При разработке микроспутника «АИСТ1» (университетский спутник СГАУ), требуется смоделировать функционирование его системы пространственной ориентации, обеспечивающей уменьшение начальной угловой скорости, полученной при отделении микроспутника от базового космического аппарата. Система автоматического управления (САУ) микроспутника имеет в качестве исполнительных органов электромагнитные катушки, которые взаимодействуя с геомагнитным полем, обеспечивают заданную ориентацию микроспутника на орбите. Для проектирования САУ микроспутника необходимо изучить особенности его вращательного движения при различных начальных условиях и алгоритмах управления. Целью данной работы является проведение имитационного моделирования пространственного движения микроспутника «АИСТ1» для получения наилучших из рассмотренных законов управления электромагнитными катушками, которые будут использованы в разрабатываемой САУ.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Моделирование возмущающих воздействий, действующих на спутник в неуправляемом полете. В данной системе учитываются гравитационный, аэродинамический и магнитный моменты.
2. Моделирование управляющих воздействий. Необходимо смоделировать реакцию системы управления на изменение внешних воздействий и выбрать подходящий закон управления магнитным моментом катушек.
3. Визуализация результатов. Для анализа поведения системы управления важно представить результаты моделирования в наглядном виде. В разработанной системе моделирования используется представление информации в форме 3D анимации, графиков и таблиц.
4. Реализация САУ. Основываясь на результатах моделирования была разработан программный комплекс для моделирования управляемого движения микроспутника «АИСТ1».

При создании программного комплекса применялась модель магнитного поля Земли, позволяющая вычислить магнитную индукцию поля в географической системе координат в произвольной точке орбиты, с учетом источников поля, которые находятся внутри планеты. Данная модель традиционно описывается в следующем виде:

$$B_{xg}(r, \lambda, \tilde{\theta}) = \sum_{n=1}^l \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} (I_n^m \cos m\lambda + i_l^m \sin m\lambda) \tilde{R}_n^m(\cos \tilde{\theta}),$$

$$B_{yg}(r, \lambda, \tilde{\theta}) = \sum_{n=1}^l \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} (I_n^m \sin m\lambda - i_l^m \cos m\lambda) \frac{m \tilde{P}_n^m(\cos \tilde{\theta})}{\sin \tilde{\theta}},$$

$$B_{zg}(r, \lambda, \tilde{\theta}) = - \sum_{n=1}^l \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} (I_n^m \cos m\lambda + i_l^m \sin m\lambda) (n+1) \tilde{P}_n^m(\cos \tilde{\theta}),$$

где  $\lambda$  и  $\tilde{\theta}$  – географические долгота и дополнение к широте точки наблюдения,  $R$  – радиус Земли,  $r$  – расстояние от точки наблюдения до центра Земли,  $I_n^m$  и  $i_l^m$  – постоянные коэффициенты, характеризующие источники магнитного поля, находящиеся внутри Земли, рассчитываемые на каждый календарный год,  $\tilde{P}_n^m(\cos\tilde{\theta})$  – квазинормированный полином

Лежандра первого рода,  $\tilde{R}_n^m(\cos\tilde{\theta}) = \Delta_n^m \frac{\partial(\tilde{P}_n^m(\cos\tilde{\theta}))}{\partial\tilde{\theta}}$ ,  $\Delta_n^m = \sqrt{\frac{\varepsilon_m(n-m)!}{(n+m)!}}$ ,  $\varepsilon = \begin{cases} 1, m=0 \\ 2, m \geq 1 \end{cases}$ .

В результате сравнения поведения системы при различных алгоритмах управления и начальных условиях в качестве наилучшего был выбран следующий закон управления магнитным моментом катушек:

$$L = \begin{cases} \alpha \frac{\vec{k}, \vec{B}}{B^2}, |\vec{\omega}| \geq \varepsilon, \\ \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \frac{\vec{k}, \vec{B}}{B^2}, |\vec{\omega}| < \varepsilon, \end{cases}$$

Здесь  $\varepsilon$  – пороговое значение модуля вектора полной угловой скорости микроспутника  $\vec{\omega}$ , при достижении которого необходимо снизить уровень управляющего момента для того, чтобы избежать перерегулирования системы.

На рис.1 представлен результат моделирования, демонстрирующий уменьшение угловой скорости микроспутника при наилучшем законе управления электромагнитными катушками.

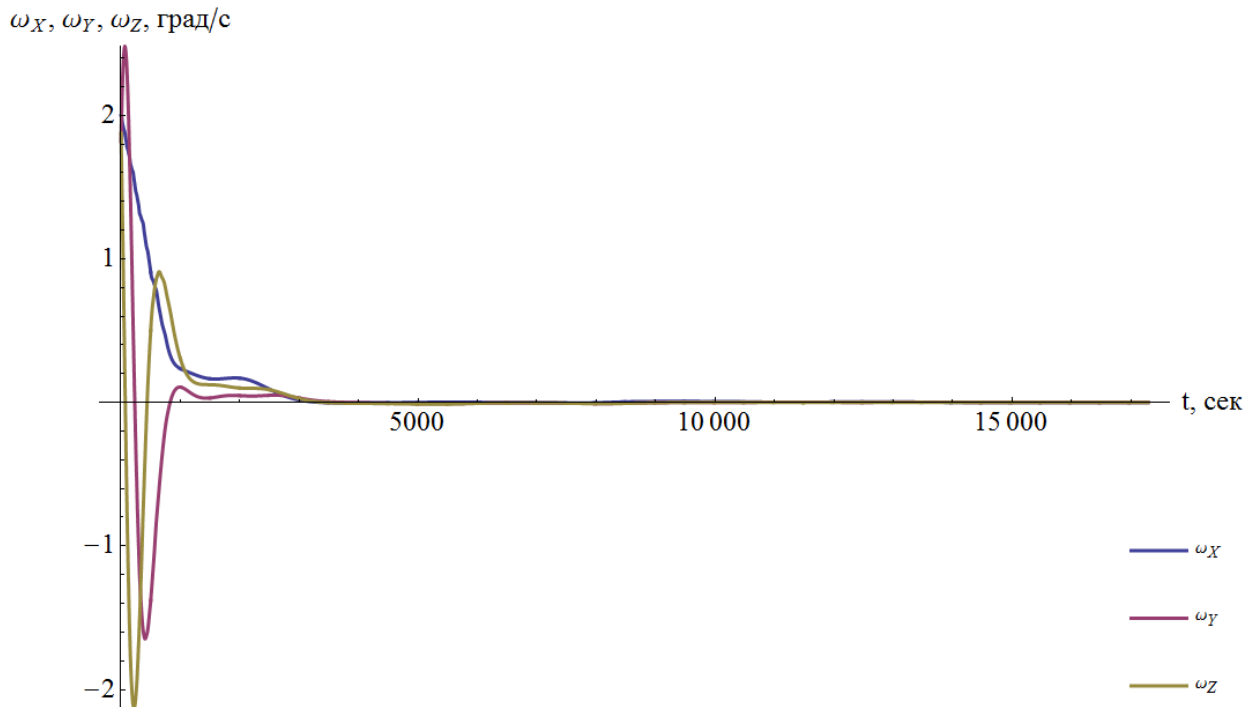


Рисунок 1. Динамика изменения составляющих угловой скорости микроспутника «АИСТ1»

В Институте космического приборостроения СГАУ производилось полунатурное моделирование функционирования системы управления ориентацией микроспутника «АИСТ1» на испытательном стенде. Результаты экспериментов на стенде качественно совпадают с результатами компьютерного моделирования, полученными при помощи разработанного программного комплекса.