

Моделирование движения наноспутника с двойным вращением с упругой продольной осью

А.В. Дорошин
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
doran@inbox.ru

А.В. Ерёменко
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
yeryomenko.a@bk.ru

Аннотация—В работе рассматривается динамика составного наноспутника с двойным вращением. Наноспутник состоит из двух модулей - тела-носителя и подвижного модуля с быстро вращающимся внутренним ротором, что относит наноспутник к классу космических аппаратов с двойным вращением. Тело-носитель и подвижный модуль соединены посредством системы гибких стержней, изменение длин которых позволяет осуществлять угловые смещения наноспутника и тем самым управлять динамикой движения и пространственной ориентацией наноспутника.

Ключевые слова— наноспутник, система гибких стержней, подвижный модуль.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время формат наноспутников все чаще используется для самых разных космических исследовательских программ и миссий, включая разработку спутниковых систем для дистанционного мониторинга Земли и изучение свойств верхних слоев земной атмосферы (например, это проекты Наноспутник-гиростат проектов MicroMAS-1 и MicroMAS-2A [1, 2]). Конструкция современных наноспутников в интересах повышения их функциональности может предусматривать установку подвижных модулей, способных совершать как поступательное, так и угловое движение относительно тела-носителя. Подвижный модуль может представлять собой различное функциональное оборудование такое как солнечные батареи, антенны связи, оптические элементы системы дистанционного зондирования Земли. При движении подвижного модуля относительно тела-носителя меняются моменты инерции и кинетический момент всего наноспутника, что в свою очередь влияет на его динамику. В подобных механических системах подвижный модуль может быть использован в качестве элемента пассивной системы стабилизации вращения или актуатором системы управления угловым движением наноспутника [3-5]. В настоящей работе строится математическая модель для последующего анализа динамики составного наноспутника с двойным вращением и управляемой упругой продольной осью, включая изучение возмущенного движения и переходу к хаотическим режимам динамики.

2. МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассмотрим системы координат, расположенные в центрах масс составных частей наноспутника с двойным вращением:

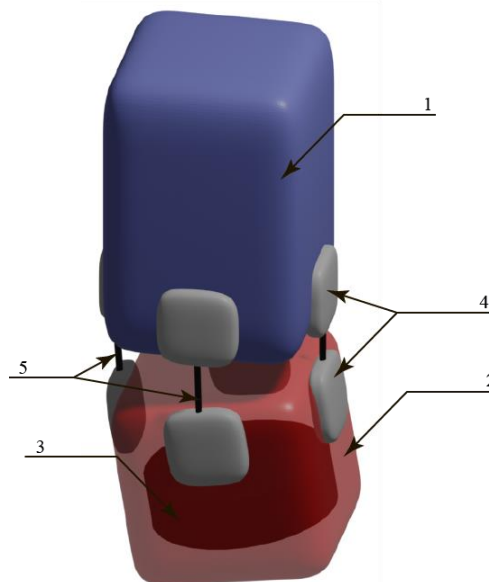
1. $CXYZ$ – система координат расположенная в центре масс всей составного наноспутника с двойным вращением, оси которой параллельны главным центральным осям инерции тела-носителя;

2. $C_1X_1Y_1Z_1$ – система координат расположенная в центре масс тела-носителя, оси которой параллельны главным центральным осям инерции тела-носителя;

3. $C_2X_2Y_2Z_2$ – система координат расположенная в центре масс подвижного модуля, оси которой параллельны главным центральным осям инерции подвижного модуля;

4. $C_3X_3Y_3Z_3$ – система координат расположенная в центре масс ротора, оси которой параллельны главным центральным осям инерции ротора.

Механическая модель наноспутника с двойным вращением представлена на Рис. 1.



1 – тело-носитель, 2 – подвижный модуль, 3 – ротор, 4 – система управления гибкими стержнями, 5 – гибкие стержни.

Рис. 1. Составной наноспутник с двойным вращением

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Математическая модель составного наноспутника с двойным вращением может быть построена на основе теоремы об изменении кинетического момента.

Общий кинетический момент составного наноспутника в системе координат $CZYZ$ имеет вид:

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_1 + \delta_{21}\mathbf{K}_2 + \delta_{31}\mathbf{K}_3 \quad (1)$$

где \mathbf{K} – кинетический момент всего наноспутника, \mathbf{K}_1 – кинетический момент тела-носителя, \mathbf{K}_2 – кинетический момент подвижного модуля, \mathbf{K}_3 – кинетический момент ротора, δ_{21} – матрица перехода из системы координат $C_2X_2Y_2Z_2$ в систему координат $CXYZ$, δ_{31} – матрица перехода из системы координат $C_3X_3Y_3Z_3$ в систему координат $CXYZ$.

Для анализа хаотического движения составного наноспутника с двойным вращением целесообразно использовать переменные Андуэйе-Депри, связанные с компонентами кинетического момента системы:

$$\begin{cases} K_{(1)} = \sqrt{G^2 - L^2} \sin l \\ K_{(2)} = \sqrt{G^2 - L^2} \cos l \\ K_{(3)} = L \end{cases} \quad (2)$$

где $K_{(i)}$ – компоненты вектора кинетического момента \mathbf{K} , G, L, l – переменные Андуэйе-Депри.

После перехода к переменным Андуэйе-Депри записывается гамильтониан механической системы:

$$\mathbf{H} = T + P = \frac{1}{2}(\mathbf{K}_1 \cdot \boldsymbol{\omega}_1 + \mathbf{K}_2 \cdot \boldsymbol{\omega}_2 + \mathbf{K}_3 \cdot \boldsymbol{\omega}_3) + P \quad (3)$$

где T – кинетическая, а P – потенциальная энергия наноспутника; \mathbf{H} – гамильтониан механической системы; $\boldsymbol{\omega}_i$ – угловые скорости частей составного наноспутника.

Общая запись динамических уравнений в переменных Андуэйе-Депри примет вид:

$$\dot{L} = -\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial l} \quad \dot{l} = \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial L} \quad (4)$$

После записи возмущенных уравнений динамики в конкретизированном виде, учитывающем угловые

смещения подвижного модуля с ротором на управляемой упругой продольной оси, а также возможные внешние силовые факторы по построенным сечениям Пуанкаре осуществляется анализ динамики движения наноспутника, а также его переход к хаосу, что и является основными задачами настоящей работы. Сечение Пуанкаре построенное для случая движения наноспутника без внешних и внутренних возмущений представлено на Рис. 2.

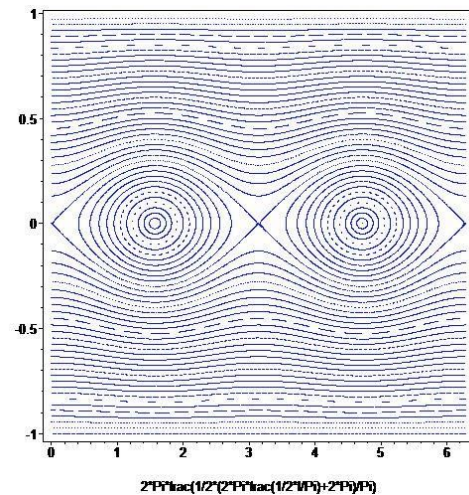


Рис. 2. Сечение Пуанкаре

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Doroshin, A. V Attitude control of nanosatellite with single thruster using relative displacements of movable uniT / A.V. Doroshin, A.V. Eremenko // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part G: Journal of Aerospace Engineering. – 2021. – P. 758-767.
- [2] Aslanov, V.S. Attitude dynamics of nanosatellite with a module on retractable beams / V.S. Aslanov, A.V. Doroshin, A.V. Eremenko // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1260(11). – P. 112004. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/11/112004.
- [3] Li, J. A survey on moving mass control technology / J. Li, C. Gao, C. Li // Aerosp Sci Technol. – 2018. – Vol. 82-83. – P. 594-606.