

УДК 629.7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ НАНОСПУТНИКА СТАНДАРТА CUBESAT ПОД ДЕЙСТВИЕМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО, ГРАВИТАЦИОННОГО И СЛУЧАЙНОГО МОМЕНТОВ

© **Миронов Е.**

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: mironovevgeniy01@gmail.com

Научный руководитель: Барина Е.В., канд. техн. наук, доцент
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: наноспутник стандарта CubeSat, аэродинамический момент, гравитационный момент, случайный момент, угол атаки, угол прецессии, угол собственного вращения.

В настоящее время стандарт CubeSat [1] является наиболее распространенным при разработке наноспутников (НС) для исследовательских и образовательных космических миссий. Его характерными отличиями от прочих космических аппаратов является относительно малый размер и форма прямоугольного параллелепипеда.

Для успешного выполнения большинства целевых задач полёта требуется определённая ориентация НС. Ввиду малых размеров НС и низких энергетических запасов, целесообразно обеспечивать необходимую ориентацию с помощью пассивных или комбинированных систем стабилизации. При проектировании пассивных и комбинированных систем стабилизации важным этапом является определение устойчивых положений углового равновесия НС.

Поскольку большинство НС выводятся на низкие околоземные орбиты, на которых преобладает влияние гравитационного и аэродинамического моментов, целесообразно использовать их при создании систем стабилизации. Наличие дополнительного случайного момента, при рассмотрении движения относительно центра масс НС позволит учесть внешние возмущения, оказывающие меньшее влияние на динамику, чем преобладающие моменты.

В отличие от сферических спутников, форма прямоугольного параллелепипеда приводит к появлению зависимости коэффициентов аэродинамической силы от ориентации аппарата относительно набегающего потока, что усложняет расчет аэродинамики и определение устойчивых положений равновесия НС стандарта CubeSat.

Определению положений равновесия относительно центра масс уделяется большое внимание в литературе. Работы Сарычева, Гутника [2–4] посвящены определению положений равновесия под действием гравитационного и аэродинамического моментов для спутника, форма которого близка к сферической и исследованию их устойчивости. Для НС, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда, ранее в работах [5; 6] были получены аналитические выражения для определения положений равновесия углового движения для двух частных случаев: смещения центра давления динамически симметричного НС от его центра масс по трём координатам; смещения центра давления НС с тремя разными главными моментами инерции от его центра масс по одной из главных осей инерции. Кроме того, был

разработан численный алгоритм определения положений равновесия для НС с недиагональным тензором инерции при смещении центра масс от геометрического центра по трём координатам [7].

В данной работе изучается возможность определения устойчивых положений равновесия НС стандарта CubeSat под действием аэродинамического, гравитационного и случайного моментов. Случайный момент моделируется как стационарный случайный процесс с экспоненциальным законом распределения. Определена максимально допустимая величина случайного момента. Проведено исследование влияния случайного момента на динамику НС стандарта CubeSat при моделировании движения из устойчивого положения равновесия для различных функций плотности атмосферы, включая динамическую.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-67-10007, <https://rscf.ru/project/23-67-10007>.

Библиографический список

1. California Polytechnic State University. Cubesat Design Specification Rev 14.1. – 2022.
2. Sarychev, V.A. Investigation of equilibria of a satellite subjected to gravitational and aerodynamic torques / V.A. Sarychev // Celest. Mech. Dyn. Astron. – 2007. – Vol. 97, № 4. – P. 267–287.
3. Сарычев, В.А. Динамика спутника под действием гравитационного и аэродинамического моментов. Исследование положений равновесия / В.А. Сарычев, С.А. Гутник // Космические исследования. – 2015. – Т. 53, № 6. – С. 488–496.
4. Сарычев, В.А. Динамика спутника под действием гравитационного и аэродинамического моментов. Исследование устойчивости положений равновесия / В.А. Сарычев, С.А. Гутник // Космические исследования – 2016. – Т. 54, № 5. – С. 415–426.
5. Баринаова, Е.В. Исследование положений относительного равновесия динамически симметричного наноспутника формата CubeSat под действием гравитационного и аэродинамического моментов / Е.В. Баринаова, И.А. Тимбай // XXVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2019. – С. 123–126.
6. Баринаова, Е.В. Определение положений равновесия наноспутника формата CubeSat под действием гравитационного и аэродинамического моментов / Е.В. Баринаова, И.А. Тимбай // XXVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2020. – С. 148–151.
7. Баринаова, Е.В. Численно-аналитическое определение положений равновесия наноспутника стандарта CubeSat под действием гравитационного и аэродинамического моментов / Е.В. Баринаова, И.А. Тимбай, Е. Миронов // XXXI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2024. – С. 403–406.