

УДК 629.7.05

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СТАНДАРТА ROCKETQUBE С МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

© Моряков Н.А., Кумарин А.А.

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

e-mail: n\_morykov98@mail.ru

Для многих космических миссий важной составляющих является обеспечение необходимой угловой ориентации аппарата [1]. Для аппаратов формата RocketQube обеспечение угловой ориентации является особенно проблемной задачей из-за габаритов аппарата.

Достаточно компактной системой управления является магнитная, состоящая минимум из трех перпендикулярных друг другу катушек. Управление обусловлено взаимодействием магнитного поля катушек с внешним магнитным полем (магнитным полем Земли).

В качестве катушек могут использоваться печатные платы, технология изготовления которых достаточно проста, а витками катушек будут медные дорожки этих плат. Данный тип катушек не занимает много пространства и может быть установлен на боковые и торцевые поверхности аппарата. Кроме того, такие катушки могут одновременно играть конструкционную роль.

В качестве примера была спроектирована тестовая плоская катушка в программе Altium Designer (рисунок 1, а) с внешним размером 43 x 43 мм и внутренним 4 x 34 мм. Данная катушка имеет 2 слоя по 8 витков.

Характеристики данной катушки занесены в таблицу.

Таблица 1 – Характеристики плоской катушки

Параметры катушки	Значение
Количество витков на одном слое	8
Количество слоев	2
Внешний линейный размер, мм	43
Внутренний линейный размер, мм	34
Средняя площадь на один виток, мм <sup>2</sup>	1513

Проведено математическое моделирование пространственного углового движения аппарата на круговой орбите с учетом влияния катушек. Подробный вывод математической модели неуправляемого движения представлен в [2].

Для оценки возможностей катушек в модель был добавлен алгоритм управления В-dot [3]. Данный алгоритм позволяет демпфировать угловую скорость аппарата. После добавления к внешним моментам управляющего момента, рассчитанного через алгоритм, в результате моделирования угловые скорости будут стремиться к нулю.

Таким образом, в ходе работы была спроектирована катушка, а также исследованы возможности управления угловым движением КА данной катушкой.

По расчетам, максимальный управляющий момент на высоте 400 км равен  $M = 3,1 \cdot 10^{-7} \text{Нм}$ .

Проведено моделирование управляемого углового движения аппарата формата PocketCube-3p с использованием спроектированной катушки (рисунок 1, б). Полученные результаты будут в дальнейшем использоваться при проектировании летных систем перспективного пикоспутника MiniSat.



Рисунок 1 а – Плоская катушка

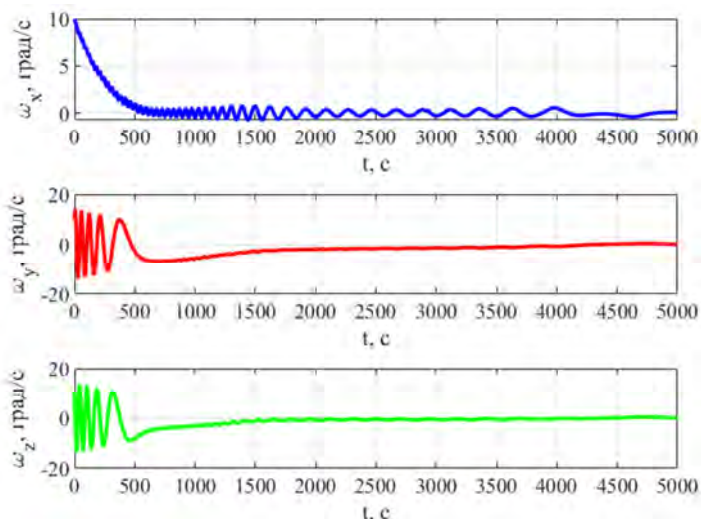


Рисунок 1 б – Результаты моделирования

По результатам моделирования можно сделать вывод, что данная катушка способна демпфировать начальную угловую скорость, равную  $10^\circ/\text{с}$ , примерно за 1500 секунд, что является неплохим показателем для данной катушки. Однако данные результаты моделирования предстоит в дальнейшем экспериментально подтвердить. В земных условиях это сделать довольно проблематично, необходимо либо усиливать магнитное поле Земли, либо проводить эксперимент в условиях космоса.

*Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.*

### Библиографический список

1. Овчинников М.Ю. Системы ориентации спутников: от Лагранжа до Королева // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 12. С. 91–96.
2. Белоконов И.В., Тимбай И.А. Движение наноспутника относительно центра масс на околоземных орбитах: учебное пособие. Самара: Издательство Самарского университета, 2020. 128 с.
3. Leonov A.I., Nikolaev P.N. Providing nanosatellite triaxial gravitational orientation using magnetic actuators // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2022. Vol. 1215. P. 1–9.