

# Динамика углового движения космических аппаратов с магнитным или гравитационным демпфером

З.В. Моруна, А.В. Дорошин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

**Обоснование.** Задача управления ориентацией космического аппарата (КА) предполагает гашение больших значений угловой скорости КА. Для гашения углового момента используют разные способы, в том числе применение магнитного и гравитационного демпфера. Поэтому исследование влияния демпферов на динамику углового движения КА является актуальной задачей.

**Цель** — моделирование динамики и синтез углового движения космического аппарата.

**Методы.** Рассматривается орбитальное движение наноспутника по круговой орбите. Используются следующие системы координат (СК):

1.  $OXYZ$  — орбитальная СК;
2.  $Oxyz$  — центральная СК, связанная с основным телом и совпадающая с его главными осями инерции;
3.  $Ox_1y_1z_1$  — центральная СК, связанная с главными осями тела-демпфера.

В случае, когда демпфер находится в центральной части наноспутника, считаем, что орбитальная система и связанные с ней системы являются центральными, т. е. начало координат всех трех СК совпадает с центром масс наноспутника (рис. 1).

Для описания углового положения системы используются углы эйлерового типа в орбитальной СК. Для системы  $Oxyz$  использовали углы  $\{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$  последовательных поворотов в порядке  $x \rightarrow y \rightarrow z$ . Аналогично система координат  $Ox_1y_1z_1$  переведена с помощью последовательных поворотов на углы  $\{\psi_1, \psi_2, \psi_3\}$  [1].

Изучен случай, когда тензор инерции основного тела спутника имеет в связанной системе  $Oxyz$  центральную общую диагональную форму  $J = \text{diag}(A, B, C)$ , а тензор инерции тела с демпфером  $J' = \text{diag}(A', B', C')$  в своей системе [2]. Справедливы динамические уравнения движения спутника на круговой орбите:

$$\begin{cases} A\dot{p} + (C - B)qr = 3\omega_0^2(C - B)\theta_{23}\theta_{33} + M_x; \\ B\dot{q} + (A - C)pr = 3\omega_0^2(A - C)\theta_{33}\theta_{13} + M_y; \\ C\dot{r} + (B - A)pq = 3\omega_0^2(B - A)\theta_{13}\theta_{23} + M_z. \end{cases}$$

где  $\{\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{33}\}$  — это компоненты матрицы перехода,  $M = [M_x, M_y, M_z]^T$  — момент, действующий на основное тело со стороны демпфера-тела из-за жидкостного трения между внешней и внутренней сферами (рис. 2).

Динамические уравнения Эйлера для тела-демпфера запишутся аналогично.

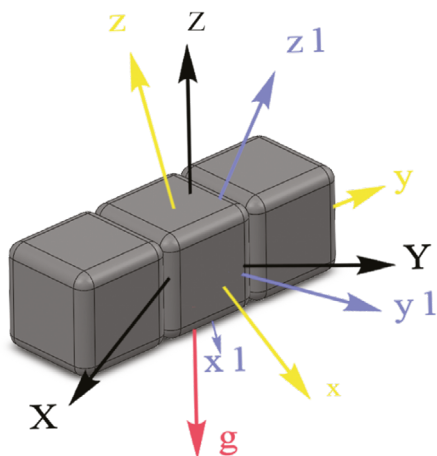


Рис. 1. Наноспутник с демпфером в центральном блоке и соответствующие СК



Рис. 2. Сферическая полость, заполненная вязкой жидкостью с установленным демпфером

**Результаты.** Проведено численное моделирование углового движения спутника с внутренним демпфером относительно орбитальной СК. В том числе моделировалась динамика только для гравитационного демпфера. Далее моделировался комплексный случай: к гравитационному демпферу добавился магнитный, т. е. в динамические уравнения движения спутника добавился магнитный момент [3]. Предпринимались попытки синтеза, обеспечивающего повышение быстродействия процесса демпфирования.

**Вывод.** В данной работе построена математическая модель движения спутника относительно орбитальной СК при действии гравитационных и магнитных моментов. Результаты численного моделирования показывают работоспособность демпферов. Изученная схема может быть применена в работе с наноспутниками.

**Ключевые слова:** наноспутники; гравитационный демпфер; магнитный демпфер; угловой момент; математическая модель; уравнения движения.

## Список литературы

1. Маркеев А.П. Теоретическая механика: учебник для университетов. Москва: ЧеРо, 1999. 572 с.
2. Doroshin A.V. Gravitational dampers for unloading angular momentum of nanosatellites. *Advances in Nonlinear Dynamics* / W. Lacarbonara, B. Balachandran, M.J. Leamy, et al. editors. NODYCON Conference Proceedings Series. Springer, Cham, 2022. P. 257–266. DOI: 10.1007/978-3-030-81162-4\_23
3. Морозов В.М., Каленова В.И. Управление спутником при помощи магнитных моментов: управляемость и алгоритмы стабилизации // *Космические исследования*. 2020. Т. 58, № 3. С. 199–207. DOI: 10.31857/S0023420620030048

### *Сведения об авторах:*

**Зоя Владимировна Морина** — студентка, группа 1405-010303D, институт авиационной и ракетно-космической техники; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: morina.z@yandex.ru

**Антон Владимирович Дорошин** — научный руководитель, доктор физико-математических наук, доцент; доцент кафедры теоретической механики; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: doran@inbox.ru