

СТАБИЛИЗАЦИЯ УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА С ПОМОЩЬЮ ОРБИТАЛЬНОГО ЛАЗЕРА

И.А. Тчанников, А.С. Ледков

Самарский национальный исследовательский университет, Самара, Россия

Обоснование. Загрязнение околоземного космического пространства — большая проблема, оказывающая существенное влияние на функционирование космических аппаратов. Наибольшую опасность представляет крупногабаритный космический мусор. В научной среде рассматриваются различные варианты уборки космического мусора, которые можно разделить на две группы, отличающиеся способом воздействия: контактный и бесконтактный способы. Одним из бесконтактных способов является уборка с помощью лазерной установки. Помимо непосредственно уборки космического мусора орбитальный лазер может быть использован для стабилизации угловых колебаний космического мусора для его последующей уборки контактным способом.

Цель — исследовать возможности стабилизации углового положения космического мусора цилиндрической формы за счет использования эффекта лазерной абляции.

Методы. Для подобного исследования необходимо построить соответствующую математическую модель и провести численное исследование процесса стабилизации колебаний с использованием линейного закона управления направлением луча лазера.

При построении математической модели были сделаны следующие допущения: космический мусор рассматривается как цилиндр, центр масс которого находится в его геометрическом центре; радиус орбиты, по которой движется мусор, считается постоянным; движение происходит в плоскости орбиты с постоянной угловой скоростью; тяга, возникающая из-за абляции, принимается постоянной, так как она зависит от многочисленных параметров [1]; активный космический аппарат рассматривается как материальная точка; учитывается влияние только гравитационного поля Земли и силы тяги, создаваемой лазерной установкой; двигательная установка космического аппарата поддерживает его неизменное положение относительно космического мусора. На рис. 1 показано схематическое представление рассматриваемой механической системы.

С помощью уравнений Лагранжа для обобщенной координаты φ (рис. 1) было получено уравнение движения космического мусора (1):

$$\frac{1}{12}m \left(\frac{3\mu(h^2 - 3R^2)\sin(\varphi)\cos(\varphi)}{r^3} + (h^2 + 3R^2)\ddot{\varphi} \right) = Q_\varphi(\varphi, \dot{\varphi}, \alpha), \quad (1)$$

где α — параметр управления, определяющий направление лазерного луча (рис. 1), $Q_\varphi(\varphi, \dot{\varphi}, \alpha)$ — обобщенная сила, создаваемая абляцией, которая зависит от углов φ , α и угловой скорости вращения мусора $\dot{\varphi}$. Нахождение значения момента связано с определением точки падения луча лазера на поверхность цилиндра (сторону прямоугольника; рис. 1). Алгоритм нахождения этой точки включает в себя следующие шаги: нахождение точек пересечения с прямыми, на которых лежат единичные векторы сторон; отбор решений, которые соответствуют пересечению сторон; выбор решения, для которого длина луча минимальна.

Также зададим закон изменения управляющего параметра α :

$$\alpha = k\dot{\varphi},$$

где k — постоянная величина, подбираемая таким образом, чтобы луч лазера большую часть времени был направлен на космический мусор.

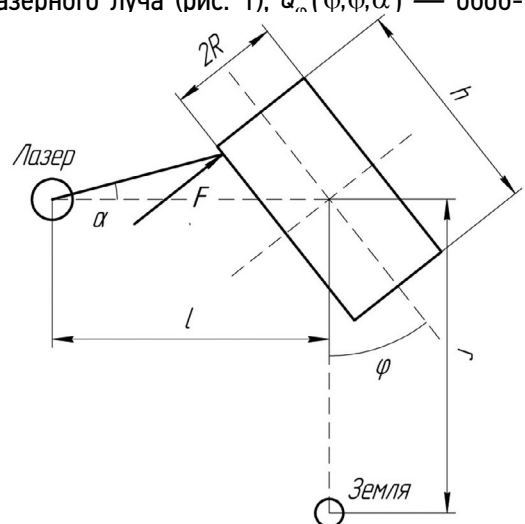
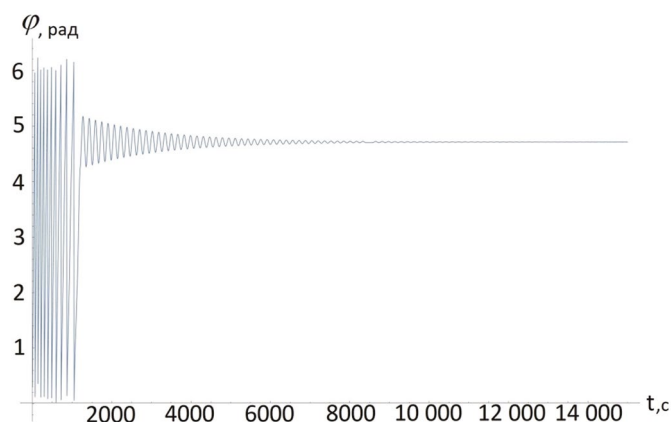


Рис. 1. Рассматриваемая механическая система

Рис. 2. График изменения угла φ

Результаты. Численное интегрирование уравнения движения (1) было произведено в системе компьютерной алгебры Wolfram Mathematica. Параметры системы и начальные условия приведены в табл.

Таблица. Параметры и начальные условия системы

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Радиус цилиндра R	1,5 м	Радиус орбиты r	6871000 м
Высота цилиндра h	6 м	Угловая скорость движения по орбите ω	0,00110851 рад/с
Расстояние между цилиндром и управляющим аппаратом l	5 м	Начальное положение цилиндра, угол φ_0	0,3 рад
Сила тяги, создаваемая лазером	1 Н	Начальная угловая скорость вращения цилиндра $\dot{\varphi}_0$	0,1 рад/с
Гравитационная постоянная Земли μ	$3,986004415 \cdot 10^{14} \text{ кг}^3/\text{с}^2$	Значение постоянной k	1

Результат численного интегрирования представлен на графике (рис. 2).

Выводы. Результаты численного моделирования, проведенные с использованием разработанной математической модели показывают, что используя приведенный закон управления, можно добиться уменьшения колебаний управляемого объекта, но при таком законе стабилизация угловых колебаний требует значительного времени. Дальнейшего изучения также требует сила тяги, возникающая благодаря абляции.

Ключевые слова: космический мусор; лазерная абляция; математическая модель; уравнения Лагранжа второго рода; стабилизация угловых колебаний.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-19-00160, <https://rscf.ru/project/22-19-00160>.

Список литературы

1. Phipps C., Birkan M., Bohn W., et al. Phipps Laser-Ablation Propulsion // J Propuls Power. 2010. Vol. 26, No. 4. P. 609–637. DOI: 10.2514/1.43733

Сведения об авторах:

Илья Алексеевич Тчаников — студент группы 1305-010303D, институт авиационной и ракетно-космической техники; Самарский национальный исследовательский университет, Самара, Россия. E-mail: ilya-tch2001.ru@yandex.ru

Александр Сергеевич Ледков — научный руководитель, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики; Самарский национальный исследовательский университет, Самара, Россия. E-mail: ledkov@inbox.ru