

УДК 62-531.6

Исследование динамики движения связки геостационарного космического аппарата-эвакуатора и объекта космического мусора

Меркулова Александра Александровна^(*) maa20m488@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведено исследование динамики движения связки геостационарного космического аппарата-эвакуатора и объекта космического мусора, по итогам которого подобраны количество и модель двигателей ориентации, двигателей разгрузки и маховиков. Составлена схема управления связкой после стыковки и сближения геостационарного космического аппарата-эвакуатора и объекта космического мусора. В рамках исследования были получены графики, иллюстрирующие изменение углов положения связки. Графики отображают динамику движения всей системы космического аппарата-эвакуатора и объекта космического мусора по тангажу, крену и рысканию. Дополнительно были рассмотрены и проанализированы варианты облегчения конструкции руки-манипулятора космического аппарата-эвакуатора.

Ключевые слова: космический аппарат-эвакуатор, объект космического мусора, геостационарная орбита, динамика движения связки, схема управления связкой

Study of the dynamics of the motion of a geostationary spacecraft-evacuator and a space debris object

Merkulova Alexandra Alexandrowna^(*) maa20m488@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. A study of the dynamics of the movement of the geostationary spacecraft-evacuator and the space debris object was carried out, the results of which selected the number and model of the maneuvering engines, unloading engines and flywheels. A scheme of control of the system after the docking and convergence of the geostationary spacecraft-evacuator and the space debris object was drawn up. As part of the study, graphs were obtained illustrating the change in the angles of the system. The graphs depict the dynamics of the movement of the entire system of the spacecraft-evacuator and the space debris object in pitch, roll and yaw. Additionally, options for simplifying the design of the spacecraft's manipulator arm were considered and analyzed.

Keywords: spacecraft-evacuator, space debris object, geostationary orbit, dynamics of the system movement, system management scheme

Введение. Заполнение геостационарной орбиты (ГСО) является серьезной проблемой в настоящее время. Увод объектов космического мусора (ОКМ) с ГСО на орбиты захоронения может быть осуществлен с помощью космического геостационарного аппарата-эвакуатора (КАЭ), оснащенного рукой-

манипулятором [1]. Сближение КАЭ и ОКМ с помощью руки-манипулятора может приводить к дестабилизации связки. Для корректировки положения связки могут использоваться ракетные двигатели ориентации, маховики и ракетные двигатели разгрузки маховиков.

Целью работы является исследование динамики движения связки геостационарного космического аппарата-эвакуатора и объекта космического мусора, определение требуемого количества и моделей ракетных двигателей, подбор маховиков, а также оптимизация конструкции руки-манипулятора.

Материалы и методы. В качестве объектов космического мусора (ОКМ) рассматривались разгонные блоки (РБ) ДМ-SL с известными массово-габаритными характеристиками. Исследование динамики производилось в программном комплексе MSC Adams 2019. Было принято, что ОКМ вращается вокруг продольной оси с угловой скоростью 12 градусов/сек. Габаритные размеры и масса КАЭ определены на основе объемно-массового анализа, проведенного на основе источников [2, 3]. КАЭ оснащен рукой-манипулятором, предназначенной для стыковки и сближения с ОКМ.

Результаты. Для исследования динамики движения связки КАЭ-ОКМ в программном комплексе SolidWorks 2021 были созданы 3D-модели КАЭ и ОКМ, которые затем были экспортированы в MSC Adams 2019. По результатам проектирования в SolidWorks 2021: масса КАЭ $M_{\text{КАЭ}} = 3235,6$ кг (заправленный КАЭ), масса ОКМ $M_{\text{ОКМ}} = 3500$ кг.

В MSC Adams 2019 рассмотрено сближение КАЭ и ОКМ после фиксации концевой эффектора КАЭ в сопле ОКМ. После фиксации жидкостные ракетные двигатели ориентации КАЭ выдают суммарную тягу 7,6 Н в течение 1,1 секунды для стабилизации связки по крену. Далее осуществляется сближение КАЭ и ОКМ посредством сложения звеньев руки-манипулятора. В результате данного маневра связка изменяет свое положение на 20° по тангажу и незначительно по крену и курсу (изменением положения по крену и курсу пренебрегаем). Дальнейшая стабилизация осуществляется с помощью маховиков, обладающих кинетическим моментом 250 мНм. При достижении насыщения маховиков, происходит их разгрузка с помощью газовых ракетных двигателей, обладающих тягой 0,73 Н.

На основе массово-инерционных характеристик связки КАЭ-ОКМ и уравнений Эйлера была составлена схема управления связкой КАЭ-ОКМ в программном комплексе Matlab Simulink 2019. Начальные углы отклонения приняты следующими: по крену $\gamma = 0,1^\circ$, по курсу $\varphi = 0,1^\circ$, по тангажу $\vartheta = 20^\circ$.

В результате работы получены графики изменения углов положения аппарата по крену, курсу и тангажу. Также были получены фазовые портреты, показывающие зависимость скорости от угла положения связки.

Для облегчения конструкции руки-манипулятора, с помощью которой осуществляется захват и сближение, была предложена модернизация третьего звена манипулятора, включающая изменение геометрии и смену материала.

Обсуждение полученных результатов. Сближение КАЭ и ОКМ приводит к дестабилизации связки по тангажу. Для стабилизации связки, образо-

ванной геостационарным космическим аппаратом-эвакуатором и объектом космического мусора, необходимо предусмотреть наличие ракетных двигателей малой тяги и маховиков. В ходе исследования выбраны следующие двигатели ориентации, маховики и двигатели разгрузки: 8 жидкостных ракетных двигателей ориентации (РДМТЗ) [4], 4 маховика (ДМ20-250) [5] и 2 газовых ракетных двигателя для разгрузки маховиков (МД08) [4].

Заключение. Исследование динамики связки геостационарного космического аппарата-эвакуатора (КАЭ) и объекта космического мусора (ОКМ) подтвердило необходимость комплексной системы управления для стабилизации после захвата. Моделирование показало, что сближение приводит к возмущениям по тангажу, требующим применения ракетных двигателей ориентации, маховиков и их разгрузочных систем. В ходе работы были подобраны следующие двигатели и маховики: РДМТЗ, МД08, ДМ20-250. Также разработана схема управления связкой в программном комплексе Matlab Simulink 2019. Полученные графики продемонстрировали эффективность предложенных решений для стабилизации системы КАЭ-ОКМ. Проанализированы варианты облегчения конструкции руки-манипулятора. Результаты работы являются основой для дальнейшей разработки КАЭ, способного безопасно и эффективно уводить ОКМ с ГСО.

Список источников

- [1] Леонов А.Г., Зеленцов Вл.В., Щеглов Г.А. *Космические аппараты для утилизации космического мусора*. Москва, АО «ВПК «НПО машиностроения», 2019, 48 с.
- [2] Туманов А.В., Зеленцов В.В., Щеглов Г.А. *Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 576 с.
- [3] Гришко Д.А., Васильков Б.О. О некомпланарном переходе второго типа между двумя круговыми орбитами. *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*, 2018, № 3, с. 35–41.
- [4] НИИМАШ. *Продукция РКТ. Двигательные установки*. URL: <https://www.niimashspace.ru/files/DU.pdf> (дата обращения 07.09.2025).
- [5] Некрасов В.В., Федоров В.В., Щетинин М.Ю. Цифровое управление двигателя-маховика для высокодинамичных космических аппаратов. *Орбита молодежи. Всерос. молодежный конкурс науч.-техн. работ*. Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017, с. 97–98.

