

УДК 520.78

Вопросы управления траекторным движением и построения режимов функционирования малых космических аппаратов с орбитальной тросовой системой

Кульков Владимир Михайлович¹

vmk_1@mail.ru

Тузиков Сергей Анатольевич^{2(*)}

st601@mail.ru

Фирсюк Сергей Олегович²

iskramai@yandex.ru

Егоров Юрий Григорьевич¹

yuyeg@mail.ru

¹ НИИ прикладной механики и электродинамики Московского авиационного института, Москва, Россия

² Московский авиационный институт, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены возможности малых космических аппаратов с орбитальной тросовой системой и определены рациональные области и способы их применения для выполнения межорбитальных маневров, увода космически объектов с орбиты, их транспортировки и спуска с орбиты. Приведены методики решения задач динамики связанных космических объектов на основе математического моделирования функционирования связки для решения ряда практических задач и исследования управляемого движения тросовой связки космических объектов. Представлены результаты математического моделирования управляемого движения связанных объектов.

Ключевые слова: малые космические аппараты, орбитальная тросовая система, управление движением, построение траекторий, тросовая связка космических объектов, движение центра масс связки, относительное движение

Введение. Перспективным направлением представляется расширение возможностей малых космических аппаратов (МКА) за счет использования, как в их структуре, так и в методах функционирования, тросовых космических технологий [1]. Основные возможности применения тросовых космических технологий в структуре малых космических аппаратов могут быть связаны с практическим использованием управляющих сил и моментов, создаваемых за счет разворачивания орбитальной тросовой системы (ОТС) [2]. Их использование может обеспечить реализацию управляемого относительного движения связанных космических объектов, а также движения центра масс связки в целом. Проведение проектно-баллистического анализа на основе методов математического моделирования позволяет определить основные проектные параметры и технические характеристики малых космических аппаратов МКА с ОТС. Полученные данные дают возможность сформировать области рационального применения механических и электродинамических тросовых систем малых космических аппаратов и их орбитальных группировок [3–6].

Методы и материалы; результаты. Использование тросовых космических технологий в составе системы малых космических аппаратов может предоставить дополнительные возможности для решения ряда перспектив-

ных актуальных задач в околоземном космическом пространстве, таких как орбитальное маневрирование, увод с орбиты космических объектов, спуск с орбиты и другие орбитальные операции [1]. Применение тросовых космических систем в структуре МКА может позволить сформировать орбитальные пространственно-протяженные космические системы, реализовать новые эффективные методы функционирования космических аппаратов с использованием безрасходного орбитального маневрирования, применять в условиях орбитального полета космические аппараты для их более эффективного практического использования и постоянного расширения сферы последующего применения космических аппаратов малого класса [2].

Решение прикладных задач баллистики космических тросовых систем включает в себя исследование особенностей динамики их функционирования, разработку методов управления движением связанных объектов и определение основных характеристик МКА с ОТС, оценку энергетических затрат на выполнение орбитальных операций [3,4].

Рассмотрены возможности МКА с ОТС и определены рациональные области и способы их применения для выполнения межорбитальных маневров, увода космических объектов с орбиты, их транспортировки и спуска с орбиты. Основным преимуществом применения МКА с ОТС для решения этих задач является значительное уменьшение энергетических затрат и расхода рабочего тела.

Заключение. Рассмотрен комплекс математических моделей управляемого движения МКА с ОТС. Приведено изложение методики решения задач динамики гибко связанных космических объектов на основе математического моделирования функционирования связки для выполнения орбитальных динамических операций. Приведена методика исследования управляемого движения тросовой связки космических объектов. Представлены результаты математического моделирования относительного движения связанных объектов и связки в целом.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 25-79-30009.*

Список источников

- [1] Кульков В.М., Тузиков С.А., Фирсюк С.О., Егоров Ю.Г. Вопросы проектно-баллистического анализа электродинамической тросовой орбитальной системы малых космических аппаратов. *XLIX Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, т. 1, с. 100–101.
- [2] Кульков В.М., Фирсюк С.О., Юров А.М., Тузиков С.А., Егоров Ю.Г. Возможности применения тросовых систем в составе системы малых космических аппаратов. *XLVIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров*

освоения космического пространства: сб. тез. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024, т. 1, с. 55–56.

- [3] Малышев Г.В., Кульков В.М., Егоров Ю.Г., Шарифуллин Р.Р. Электромагнитодинамическая тросовая система в задачах управления движением низкоорбитальных ИСЗ. *Вестник Московского авиационного института*, 2010, т. 17, № 1, с. 49–54.
- [4] Кульков В.М. Анализ проектных параметров и исследование режимов управления орбитальным движением электродинамической тросовой системы. *Вестник Московского авиационного института*, 2011, т. 18, № 2, с. 41–46.
- [5] Кульков В.М., Егоров Ю.Г., Тузиков С.А. Исследование интегральных энергетических характеристик космической электродинамической тросовой системы для орбитальных экспериментов. *Известия РАН. Энергетика*, 2017, № 3, с. 114–127.
- [6] Кульков В.М., Егоров Ю.Г., Тузиков С.А. Исследование конфигурации и формирование проектного облика развернутой космической электродинамической тросовой системы в составе орбитальных космических аппаратов. *Известия РАН. Энергетика*, 2018, № 3, с. 119–130. <http://doi.org/10.78968/S0002331018030123>