

УДК 629.7.021.5

Технико-экономическое обоснование выбора формы и параметров оболочки надувного тормозного устройства ИСЗ

Украинская Валерия Владимировна^(*)

ukrainskaya.v@bmstu.ru

Абрамова Елизавета Николаевна

abramova_en@bmstu.ru

Резник Сергей Васильевич

sreznik@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены пять геометрических форм оболочки надувного тормозного устройства (НТУ), имеющие одинаковую площадь миделевого сечения, изготовленные из двух вариантов полимерных пленок с различными типоразмерами. Для выбора оптимальной формы НТУ проведены весовые расчеты и расчет объема укладки для семи типоразмеров из двух типов материалов. Представлены оценки стоимости изготовления каждой формы оболочки НТУ. Изготовлены модельные образцы оболочки НТУ кубической формы и отработан способ ее укладки. Полученные результаты позволяют оценить применимость выбранного материала и формы.

Ключевые слова: космический мусор, очистка, надувное тормозное устройство, оболочка, технико-экономический анализ

Введение. Проблема космического мусора в околоземном пространстве признана одной из наиболее острых проблем современной космонавтики [1]. Значительная часть космического мусора возникает в результате роста количества завершивших работу искусственных спутников Земли (ИСЗ), которые при этом остались на рабочей орбите. Разработка эффективных и недорогих решений для очистки околоземных орбит приобретает особое значение в связи с ростом числа запусков малых ИСЗ размерности CubeSat. Использование надувных тормозных устройств (НТУ) как средства пассивного увода отработавших ИСЗ в плотные слои атмосферы представляет собой перспективное направление исследований, особенно в условиях ограничений по весу, объему и финансовой эффективности технических решений. В заданный момент оболочка НТУ, компактно уложенная в контейнере ИСЗ, раскрывается и тем самым многократно увеличивается площадь миделя системы «ИСЗ-НТУ». Увеличение силы аэродинамического сопротивления, вызывает снижение скорости этой системы с последующим входом ее в плотные слои атмосферы [2, 3]. Спутник и НТУ входят в атмосферу и разрушаются под действием высоких температур и механических нагрузок. Можно представить и другие способы применения НТУ в космосе не только для увода малых ИСЗ, но в комбинации с другими техническими средствами очистки, такими, например, как ловушки. Таким образом, применение НТУ может расширить практические возможности очистки околоземного космоса от вышедших из строя объектов ракетно-космической техники.

Материалы и методы; результаты. Объект исследования — форма оболочки НТУ в различных типоразмерах, изготовленная из двух вариантов материала полиэтилентерефталатной (ПЭТФ) и полиимидной пленки (ПИ). Рассмотрены формы НТУ в виде призмы, конуса, сферы и куба для двух вариантов ориентации куба в полете. Основной характеристикой, позволяющей сравнивать формы НТУ, являлась площадь миделевого сечения при одном типоразмере. В рамках настоящей работы были проведены весовые расчеты и расчет объема укладки для семи типоразмеров из обоих типов материалов. Выполнены оценки стоимости изготовления каждой формы оболочки НТУ с оценкой применения их в ИСЗ типа CubeSatc разным количеством единичных модулей (юнитов). Особенностью изготовления оболочки является соединение деталей, раскрытых из пленки, в конструкцию с поверхностями одинарной и двойной кривизны. Материал не подвергается формованию, не может принимать полностью форму поверхности двойной кривизны, а также соединение таких деталей отличается повышенной трудоемкостью по сравнению с прямолинейным соединением. Была изготовлена оболочка кубической формы, имеющая прямолинейные швы, а также проведена укладка оболочки в пачку для проверки расчетных значений.

Заключение. Разработаны варианты НТУ, охватывающие пять форм оболочек с семью типоразмерами каждой формы с площадями миделя 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0 м². Выполнены весовые и стоимостные расчеты для указанных вариантов НТУ. Полученные расчетные данные позволяют выбрать для ИСЗ заданной размерности класса CubeSat форму, вес, объем укладки и стоимость изготовления оболочки НТУ. По результатам сравнительного анализа установлено, что оболочка в форме призмы из ПЭТФ обладает наилучшими весовыми характеристиками, показателями компактности укладки и стоимости изготовления.

Список источников

- [1] *Space Environment Statistics (Space Debris User Portal)*. URL: <https://sdup.esoc.esa.int/discosweb/statistics/> (accessed 25.11.2025).
- [2] Юдин А.Д. *Разработка способа увода наноспутников cubesat с низких околоземных орбит*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2021, 139 с.
- [3] Абрамова Е.Н. *Методика выбора параметров надувного тормозного устройства малого космического аппарата*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023, 125 с.