

УДК 629.7.036.72

Перспективы использования микро-катодных импульсных плазменных дуговых ускорителей для наноспутников стандарта CubeSat

Надиров Леонид Османович

nadirovleo@gmail.com

Подлосинская Анастасия Петровна

apodlosinskaya@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведен обзор микрокатодных импульсных плазменных дуговых ускорителей (микро-КИПДУ) для наноспутников стандарта CubeSat, проанализированы их конструктивные схемы, ключевые параметры и модификации. Представлена классификация и даны рекомендации по выбору конфигурации двигателя в зависимости от решаемых задач.

Ключевые слова: наноспутники CubeSat, импульсные дуговые ускорители, классификация ускорителей, вакуумно-дуговой разряд

Введение. Стандарт наноспутников CubeSat был разработан для обеспечения доступности космических исследований научно-образовательным учреждениям, однако впоследствии данный стандарт получил широкое распространение и стал использоваться коммерческими компаниями. К основным задачам наноспутников относятся дистанционное зондирование Земли, исследование ионосферы и магнитосферы Земли, проведение биологических экспериментов, а также наблюдение за космическими явлениями. Для коррекции орбиты и маневрирования наноспутники CubeSat оснащаются электроракетными двигателями установками, в числе которых могут быть использованы микрокатодные импульсные плазменные дуговые ускорители (микро-КИПДУ).

Методы и материалы. Типовая конструкция микро-КИПДУ включает катод, анод и разделяющий их изолятор. При подаче высоковольтного импульса между катодом и анодом возникает разряд, формирующий на поверхности катода локальные катодные пятна, что приводит к испарению и ионизации материала, а образовавшаяся плазма ускоряется, создавая тягу. Данные двигатели являются легко масштабируемыми до малых размеров, отличаются простотой конструкции и надежностью. Данные двигатели различаются по конфигурации разрядного канала, способу инициирования разряда, материалу рабочего тела (катода), по наличию или отсутствию внешнего магнитного поля. Каждая из конструкций имеет свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании.

Классификация микро-КИПДУ по способу инициирования разряда подразумевает их разделение на емкостные и бестриггерные. Первые характеризуются повышенной надежностью срабатывания, однако имеют более высокие энергозатраты по сравнению с бестриггерными схемами. С точки зрения конструктивного исполнения выделяют три основных типа микро-КИПДУ:

плоские, коаксиальные и кольцевые. Наиболее широкое распространение получили коаксиальные и кольцевые конфигурации. Одним из ключевых их преимуществ является возможность оснащения ускорителя постоянными магнитами. Применение магнитного поля позволяет существенно повысить удельный импульс и импульс тяги за счет ускорения плазмы силой Лоренца, а также обеспечивает равномерную эрозию катода за счет вращения катодных пятен, что повышает надежность и срок службы двигателя [1]. Также возможно применение инвертированных коаксиальных схем с цилиндрическим катодом [2]. Важным конструктивным элементом, направленным на увеличение ресурса работы, является система подачи катода, которая может реализовываться как с помощью автоматических механизмов, так и более простых пружинных устройств [1, 3]. Сравнительный анализ показывает, что при прочих равных условиях кольцевые схемы демонстрируют наибольший удельный импульс и ресурс. Существенное влияние на выходные характеристики ускорителя также оказывает материал катода. Его выбор осуществляется на основе комплекса критериев, включающих высокую электропроводность, теплопроводность, механическую прочность, эрозионную стойкость и термоэмиссионную способность. Тем не менее, исследования показали, что анод также может быть использован как источник плазмы [4].

Заключение. Согласно анализу существующих технических разработок, кольцевые конфигурации вакуумно-дуговых ускорителей демонстрируют перспективы с точки зрения эффективности. Однако, ввиду отработанности конструкции и подтвержденной надежности, приоритетными на текущем этапе являются коаксиальные схемы. При этом последние допускают модификацию в рамках предложенной классификационной системы.

Список источников

- [1] Keidar M., Haque S., Zhuang T., Shashurin A., Chiu D., Teel G. Micro-Cathode Arc Thruster for PhoneSat Propulsion. *27th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan, Utah, USA, 2013, paper no. SSC13-VIII-4.
- [2] Lun J. *Performance improvement of vacuum arc thrusters*. Ph.D. thesis. University of the Witwatersrand, School of Mechanical, Industrial and Aeronautical Engineering, Johannesburg, 2015, 123 p.
- [3] Kronhaus I., Laterza M. Miniature Vacuum Arc Thruster with Controlled Cathode Feeding. *33rd International Electric Propulsion Conference, IEPC-2013-195*, Washington, USA, 2013.
- [4] Hurley S., Zolotukhin D., Keidar M. Advancing the Microcathode Arc Thruster: Effect of the Ablative Anode. *Journal of Propulsion and Power*, 2019, vol. 35 (4), pp. 1–5. <https://doi.org/10.2514/1.B37145>