

УДК 629.7.036.72

## Исследование макета импульсного вакуумного дугового ускорителя с внешним магнитным полем

Мятежный Дмитрий Николаевич

myatezhnys@gmail.com

Андрющенко Илья Сергеевич

andryushhenko.i@list.ru

Подлосинская Анастасия Петровна

apodlosinskaya@yandex.ru

Телех Виктор Дмитриевич

telekh@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** Предложен ускоритель для наноспутников формфактора CubeSat. Был разработан лабораторный макет импульсного вакуумного дугового ускорителя (ВДУ) с бестриггерным методом зажигания. В ходе серии экспериментов были определены тяговые характеристики ускорителя с применением внешнего магнитного поля (ВМН). Оценено влияние ВМН на неоднородность эрозии поверхности катода и скорость воспламенения токопроводящего слоя, влияющие на ресурс работы ускорителя. Были сформулированы рекомендации для дальнейшей модернизации опытного образца на основе проведенных экспериментов.

**Ключевые слова:** ускоритель частиц, вакуумный дуговой разряд, магнитное поле, тяговые параметры, осциллограмма, эрозия катода, зажигание разряда, токопроводящий слой

**Введение.** В последние годы все большую популярность обретают малые космические аппараты (МКА), особенно класса CubeSat [1]. За счет низкой стоимости, МКА подходят для тестирования новых технологий в условиях космоса, которые планируется применять на дорогостоящих спутниках, а также для выполнения самостоятельных научных и исследовательских миссий или миссий в составе группировки спутников. Для таких аппаратов актуальна разработка двигательной установки (ДУ). Среди электрических ДУ перспективным является ВДУ [2], тяга в котором создается за счет выброса плазмы из разрядного канала, вследствие эрозии твердотельного катода под действием дугового разряда. ВДУ подходит для работы в составе CubeSat, так как соответствует жестким ограничениям по энергопотреблению и массогабаритным характеристикам, предъявляемым полезной нагрузке наноспутников. Разработка ВДУ требует проведение ряда экспериментальных исследований по определению влияния различных параметров системы на тяговые характеристики ускорителя. Такие эксперименты позволяют выявить эмпирические зависимости между параметрами, а также могут быть использованы для апробации и верификации математических моделей системы.

**Методы и материалы; результаты.** В рамках настоящего исследования был разработан макет ВДУ, позволяющий оценить влияние постоянного магнитного поля на тяговые параметры системы. Макет включает в себя два коаксиально расположенных медных цилиндрических электрода, между кото-

рыми располагается керамическая изолирующая втулка из оксида алюминия. В ускорителе используется бестриггерный метод зажигания [3], на поверхность изолирующей втулки наносится тонкий проводящий графитовый слой для снижения напряжения пробоя. Зажигание и поддержание горения дугового разряда обеспечивается источником питания, реализующим принцип индуктивного накопления энергии. Геометрическая конфигурация электродов формирует разрядный канал коаксиальной формы, на выходе из которого устанавливался кольцевой неодимовый магнит. Эксперименты с разработанным ускорителем производились на стенде, описанном в работе [4]. Вакуумная камера откачивалась до давления порядка  $10^{-5}$  Торр при помощи форвакуумного пластинчато-роторного и высоковакуумного турбомолекулярного насосов. Единичный импульс тяги измерялся при помощи баллистического маятника по методике, представленной в работе [4].

**Заключение.** В ходе серии экспериментов было проведено более 80 000 запусков ускорителя без применения неодимового магнита и более 10000 импульсов с применением внешнего магнитного поля. В результате исследования были сделаны выводы о влиянии магнитного поля на перемещение катодного пятна — точки привязки вакуумной дуги по поверхности катода. Применение постоянного магнита способствовало более равномерной выработке катода, а также оказывало влияние на форму плазменного потока, уменьшая угол расхождения, стабилизируя вектор тяги за счет сужения потока на выходе из разрядного канала. На основании полученных экспериментальных данных были даны рекомендации по улучшению геометрической конфигурации разрядного канала.

#### Список источников

- [1] Zheng Y. Chapter 8. Micropropulsion. *Space Microsystems and Micro/nano Satellites*, 2018, pp. 295–339. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812672-1.00008-4>
- [2] Levchenko I. Space micropropulsion systems for Cubesats and small satellites: from proximate targets to furthestmost frontiers. *Applied Physics Reviews*, 2018, vol. 5, art. no. 37. <https://doi.org/10.1063/1.5007734>
- [3] Anders A. Triggerless triggering of vacuum arcs. *Journal of Physics D* 31, 1998, pp. 584–587. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/31/5/015>
- [4] Egoshin D.A., Fedorova D., Skornyakov V., Telekh V.D. Influence of surface area and propellant material on the impulse bit in ablative pulse plasma accelerator. *IAF Space Propulsion Symp.*, 2024, pp. 936–939. <https://doi.org/10.52202/078371-0098>