

УДК 533.9.07

Исследование влияния геометрических параметров разрядного канала абляционного импульсного плазменного ускорителя рельсовой геометрии на тяговые характеристики

Андрющенко Илья Сергеевич

andryushhenko.i@list.ru

Егошин Денис Андреевич

egoshinda@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В рамках исследования был разработан макет абляционного импульсного плазменного ускорителя (АИПУ), позволяющий варьировать геометрические параметры разрядного канала. По результатам серии экспериментов была определена конфигурация разрядного канала, обеспечивающая высокие тяговые характеристики. Также была разработана нестационарная одномерная математическая модель истечения рабочего тела из разрядного канала АИПУ, которая была верифицирована на полученных в рамках данной работы экспериментальных данных. На основании проведенных исследований были сформулированы рекомендации к разработке опытного образца АИПУ рельсовой геометрии.

Ключевые слова: наноспутник, двигательная установка, ускоритель, импульсная плазменная система, дуговой разряд, разрядный канал, численное моделирование

Введение. Малые космические аппараты формата CubeSat активно набирают популярность в последние годы [1]. Их основное преимущество — выполнение широкого спектра задач на околоземных орбитах при низкой стоимости и быстрой сборке. Однако, такие спутники имеют короткий срок службы. Увеличение времени жизни на орбите может быть достигнуто за счет использования электрических двигательных установок (ЭДУ). Среди различных существующих ЭДУ, перспективным является абляционный импульсный плазменный ускоритель (АИПУ) [2]. Для разработки АИПУ необходимо проведение множества наземных работ, в том числе исследования геометрических параметров разрядного канала устройства. Верификация и прогнозирование экспериментальных данных проводится с использованием математических моделей [3]. В свою очередь проведение экспериментов позволяет модифицировать численную модель. Такой подход позволяет минимизировать затраты ресурсов и времени на разработку АИПУ.

Методы и материалы; результаты. В рамках настоящего исследования был разработан макет АИПУ, включающий в себя два прямоугольных медных электрода, между которыми устанавливается диэлектрическая вставка из фторопласта, являющаяся рабочим телом ускорителя. Макет оснащен системой позиционирования электродов относительно рабочего тела, позволяющей варьировать геометрические параметры разрядного канала в широком диапазоне значений (межэлектродное расстояние: от 10 до 60 мм, ширина электродов: от 10 до 25 мм, угол раскрытия электродов от 0°

до 30°). Эксперименты с разработанным ускорителем проводились на стенде, описанном в [4].

Также была разработана одномерная нестационарная математическая модель истечения плазменного потока в разрядном канале АИПУ, с возможностью варьирования геометрии разрядного канала. Данная модель позволяет определить энергетические и газодинамические параметры разряда в различные моменты времени, а также рассчитать тяговые параметры устройства. Модель представлена в виде расчетной программы на языке программирования Python, в рамках которой совместно решаются уравнения цепи и газодинамики. Истечение рабочего тела рассматривается как процесс с непрерывным поступлением массы в разрядный канал, в отличие от упрощенного расчета движения проводящей плазменной перемычки.

Заключение. Результатом работы стало сравнение экспериментальных и расчетных результатов тяговых параметров, позволившее определить наиболее эффективную конфигурацию геометрии электродов. Анализ полученных данных позволил отследить общие закономерности изменения эффективности установки, на основании которых был сформирован перечень рекомендаций для проектирования опытного образца АИПУ.

Работа выполнена на уникальной научной установке (УНУ) «Пучок-М» МГТУ им. Н.Э. Баумана, при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSN-2024-0007.

Список источников

- [1] *Nanosats Database*. URL: <https://www.nanosats.eu/> (accessed 10.11.2025).
- [2] Egoshin D.A., Fedorova D.K., Pasynkova D.S., Pavlov A.V., Protasov Yu.Yu., Telekh V.D. Estimation of the Propellant Ablation Rate in a Pulse Discharge. *High Energy Chemistry*, 2024, vol. 58, pp. S137–S141. <https://doi.org/10.1134/S0018143924700759>
- [3] Skornyakov V.M., Ladygin S.A., Telekh V.D. Modeling of the Plasma Flow in Coaxial Channels of Different Diameters. *Tech. Phys.*, 2025, vol. 70, pp. 173–179. <https://doi.org/10.1134/S1063784225600328>
- [4] Egoshin D.A., Fedorova D.K., Skornyakov V.M., 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>