

УДК 629.78

Повышение эффективности ионизации маломощного плазменного двигателя с использованием дополнительного высокочастотного разряда

Федянин Виктор Викторович^(*)

vvfedyanin@omgtu.ru

Шалай Виктор Владимирович

shalay@omgtu.ru

ОМГТУ, Омск, Россия

Аннотация. Создание эффективных двигательных установок (ДУ) сверхмалой мощности меньше 10 Вт является актуальной задачей для обеспечения миссий малых космических аппаратов (МКА) на низких околоземных орбитах. Представлены результаты исследования плазменного двигателя с анодным слоем и дополнительной ВЧ-ионизацией. Экспериментально показано, что добавление дополнительного ВЧ-разряда увеличивает плотность ионного тока в 2,6 раза. Максимальное значение тяги получено 26,17 мкН без ВЧ-разряда и 50,35 мкН с ВЧ-разрядом.

Ключевые слова: холловский двигатель, двигатель с анодным слоем, сверхнизкие околоземные орбиты, высокочастотный разряд, эффективность ионизации

Введение. В настоящее время мировое сообщество уделяет большое внимание технологиям двигателей, которые могут использовать компоненты остаточной атмосферы в качестве рабочего тела [1]. Но практическая реализация создания таких систем, в частности на базе холловских двигателей и их разновидностей, сталкивается с проблемой низкой ионизации разреженных газов в разряде [2].

Методы и материалы; результаты. В работе проведены экспериментальные исследования двигателя с анодным слоем с дополнительным высокочастотным разрядом. В такой схеме происходит разделение функций. ВЧ-разряд отвечает за объемную генерацию плотной плазмы, а разряд с анодным слоем обеспечивает извлечение и ускорение ионов. Задачи включают предварительную оценку возможности использования ВЧ-разряда на увеличение степени ионизации рабочего тела.

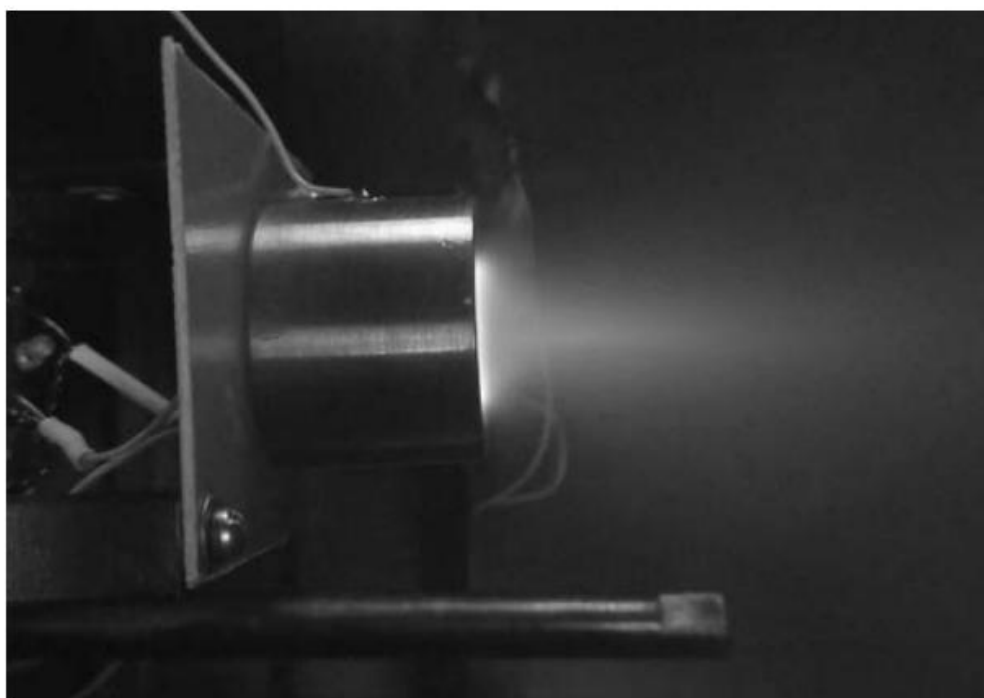
На первом этапе были проведены испытания двигателя с плавным увеличением подводимой мощности к генератору высокочастотных колебаний. В ходе эксперимента мощность, потребляемая ВЧ-генератором, изменялась от 0 до 10,2 Вт. Параметры, характеризующие изменение режима работы, представлены в таблице.

Добавление ВЧ-мощности привело к увеличению ток пучка и концентрации ионов, измеренной с помощью зонда Ленгмюра. Одновременно с ростом плотности плазмы наблюдалась перестройка основного разряда. Исследования проводились на остаточном газе в вакуумной камере. На втором этапе были проведены прямые тяговые испытания двигателя [3]. Проведены серии сравнительных тестов, в каждой из которых измерялась тяга в режиме (без

ВЧ) и при включении ВЧ-источника с потребляемой мощностью порядка 5 Вт. Работа двигателя приведена на рисунке.

Результаты по замеру концентрации с ВЧ-разрядом

U, В	I _{пуч.} , мА	U _{ВЧ} , В	I _{ВЧ} , А	p, Па	n _i , м ⁻³
645	1,00	0,0	0,00	2,28	1,55e+15
520	1,15	6,0	0,45		2,06e+15
516	1,20	8,0	0,58		1,3e+15
400	1,23	10,0	0,62		2,52e+15
308	1,42	12,0	0,70		2,69e+15
272	2,57	14,0	0,73		3,91e+15



Работа двигателя на остаточном газе с ВЧ-разрядом

При низкой начальной мощности основного разряда менее 1 Вт, включение ВЧ-источника приводило к росту тяги. В частности, при начальной тяге 12,19 мкН и потребляемой мощности основного разряда 0,73 Вт, включение ВЧ-генератора привело к ее увеличению тяги до 37,73 мкН. Аналогично при начальной тяге 26,17 мкН и мощности 1,05 Вт был зафиксирован рост до 50,35 мкН.

Заключение. Проведенные эксперименты показали, что схема двигателя с дополнительной ВЧ-ионизацией позволяет повысить степень ионизации рабочего тела и результирующую тягу.

Список источников

- [1] Adkins C. et al. Design and optimization of a high thrust density air-breathing pulsed plasma thruster array. *Journal of Electric Propulsion*, 2024, vol. 3, no. 1. <https://doi.org/10.1007/s44205-024-00071-4>
- [2] Andreussi T. et al. Development and experimental validation of a hall effect thruster RAM-EP concept. *35th International electric propulsion conference*, 2017, pp. 8–12.
- [3] Федянин В.В., Шалай В.В., Ячменев П.С., Вавилов И.С. Разработка стенда для измерения тяги реактивных микродвигателей на основе машинного зрения. *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*, 2024, № 8 (3), с. 107–115.