

УДК 533.9.07

Импульсный характер дугового электротермического микродвигателя на аргоне

Горбунков Владимир Иванович^{1(✉)}

vigorbunkov@list.ru

Колганов Иван Вениаминович²

xoma666hamster@gmail.com

Косицын Валерий Владимирович²

driller.ae@khrunichev.ru

Шалай Виктор Владимирович¹

shalay@omgtu.ru

¹ Омский государственный технический университет, Омск, Россия² АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Москва, Россия

Аннотация. На модели-демонстраторе дугового электротермического микродвигателя (ЭТМД) при удельном расходе аргона $5 \cdot 10^{-2}$ г/с, рабочем давлении $p_{Ar} = 10^5$ Па, токе 3,2 А, напряжении питания $U_R = 19,3$ В получен сверхзвуковой режим истечения с $V_{max} = \sqrt{3}c_0 = 2640$ м/с в вакуумную камеру с внешним давлением 400 Па. Подтвержден импульсный характер колебаний с собственной частотой 6,25 кГц, а также последовательность группы скачков уплотнения, дисков Маха.

Ключевые слова: дуговой разряд плазмотронного типа, импульсно-периодические колебания аргоновой плазмы, электротермический микродвигатель, удельный импульс тяги, диски Маха

Введение. Адиабатическое сжатие, полученное за счет роста газовой температуры плазмы ЭТМД [1] является источником собственных колебаний разрядной полости, частота которых определяется ее геометрическими размерами [2]. Высокий уровень удельного импульса и возможность варьировать периодом повторения актуальны при конструировании импульсных ЭТМД.

Материалы и методы; результаты. Методами эмиссионной спектроскопии найдены электронная температура ($T_e = 6725 \pm 740$ К) и концентрация $n_e = (1,2...4,8) \cdot 10^{15}$ см⁻³ аргоновой плазмы ЭТМД, которая, в приближении частично открытого резонатора, имеет наименьшую из собственных частот $f_{rez} \approx 6,25$ кГц. Эта частота экспериментально зарегистрирована на модели-демонстраторе ЭТМД [3]. Максимальная скорость газа за счет максимального сжатия позволила на основании закона Гука получить уравнение движения, решением которого являются собственные колебания $z = C_1 \cos(\omega t + \varphi)$ с гармонической частотой $f = 5,62$ кГц, близкой f_{rez} . Значения интенсивностей балмеровской серии водорода H_α , H_β и H_γ позволили оценить концентрации электронов $n_e \approx 5,75 \cdot 10^{15}$ см⁻³ на оси дугового разряда. По спектральной интенсивности полосы $\Delta\lambda = 330...337$ нм, отнесенной к вращательной структуре системы переходов молекулы азота N_2 , проведена оценка температуры $T_{rot} = (6...7) \cdot 10^3$ К [4]. Значение газовой температуры, практически совпадающее с электронной, позволяет определить эффективную скорость истечения рабочего газа $V_{max} = 2640$ м/с (удельный импульс тяги 269,4 с), а также ско-

рость звука $c_0 = 1520$ м/с показывает, что предел идеальной скорости истечения превышает скорость звука в $\sqrt{3}$ раз. Наблюдение сверхзвукового течения позволяет исследовать группу скачков уплотнения, дисков Маха [5].

Заключение. Найдены газовая, а также электронная температура и концентрация плазмы, позволившие оценить частоту собственных колебаний и величину сверхзвукового потока аргона ЭТМД. Экспериментально проведено прямое и косвенное подтверждение импульсного характера дугового электротермического микродвигателя на аргоне.

Список источников

- [1] Артюхов Ю.А., Ключников В.Ю. Ракетные двигатели для малых космических аппаратов. *Космонавтика и ракетостроение*, 2021, т. 3, № 120, с. 143–159.
- [2] Gorbunkov V., Shalay V.V., Pustovoi N.V. *Supersonic argon flow parameters in an arcjet thruster. Detonation: latest accomplishments*. Moscow, TORUS PRESS, 2021, 296 p.
- [3] Gorbunkov V., Grinevich V.A., Shalay V.V. Optical radiation of the plasma flow in an arcjet thruster. *Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. XIV International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications*. SPIE, 2019, vol. 11322. <https://doi.org/10.1117/12.2550610>
- [4] Горбунков В.И., Шалай В.В. Оценка равновесности модели электротермического микродвигателя. *4-я Всерос. конф. по аналитической спектроскопии: сб. тр.* Краснодар, КубГУ, 2023.
- [5] Горбунков В.И. *Ударные волны в канале микродвигателя. Неравновесные процессы*. Москва, ТОРУС ПРЕСС, 2024, 394 с.