

УДК 533.9.07

**Т.А. МАКСИМЕНКО, А.В. ЛОЯН, В.А. ФЕДОТЕНКО***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВОГО КПД СПД МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

В работе приведены результаты экспериментального исследования влияния повышения КПД СПД малой мощности на его ресурсные характеристики. Показано, что повышение тягового КПД двигателя путем изменения конфигурации магнитного поля приводит к снижению скорости эрозии изолятора РК.

**стационарный плазменный двигатель, эрозия, оптическая эмиссионная спектроскопия**

### **Введение**

**Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами.** Для стационарных плазменных двигателей малой мощности (МСПД) помимо вопроса эффективности остро стоит проблема ресурсных характеристик, которые в основном определяются скоростью эрозии стенок разрядной камеры (РК). Для определения ресурса двигателя прямым методом требуются длительные и дорогостоящие испытания. Нужно отметить, что эрозия РК зависит от режимов работы двигателя, влияние которых можно определить лишь через десятки и даже сотни часов. Одним из решений данной проблемы является применение спектрометрических исследований факела плазмы двигателя [1 – 3], которые позволяют получить максимум информации за минимальное время по сравнению с прямыми методами.

**Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем.** В лаборатории физики газа и плазмы объединения Groupement de Recherche CNRS / CNES / Snecma / Universités "Propulsion spatiale à plasma" (Франция) был предложен метод измерения эрозии керамики СПД при помощи оптической эмиссионной спектроскопии (ОЭС) [2, 3]. Также проводились совместные эксперименты по исследованию эрозионных характеристик МСПД разработки МНТЦ КЭД ХАИ при помощи данного метода [4] после

того, как прямым методом была определена скорость эрозии РК и принципиальная возможность получения МСПД с приемлемыми ресурсными характеристиками [5].

В последнее время большие усилия были направлены на повышение КПД двигателя путем изменения конфигурации магнитного поля. Принимая во внимание, что по данным [6] в связи с возрастанием средней энергии ионной компоненты плазмы возможно увеличение суммарного выделения энергии на стенках РК возникает необходимость дополнительных исследований эрозии керамики СПД.

**Целью работы** является экспериментальное исследование влияния повышения тягового КПД за счет изменения параметров магнитного поля на скорость эрозии изолятора РК МСПД.

### **Результаты исследований**

В Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» на каф. 402 с целью создания летного варианта ЭРДУ с приемлемыми параметрами на базе МСПД была разработана, изготовлена и испытана серия двигателей СПД-20М. Была рассмотрена проблема влияния теплового состояния магнитопровода МСПД на распределение магнитного поля в разрядной камере. И за счет улучшения магнитного поля при учете теплового состояния двигателя был повышен тяговый КПД

двигателя на 15%: от 23% для первой модели серии до 38% для завершающей (рис. 1).

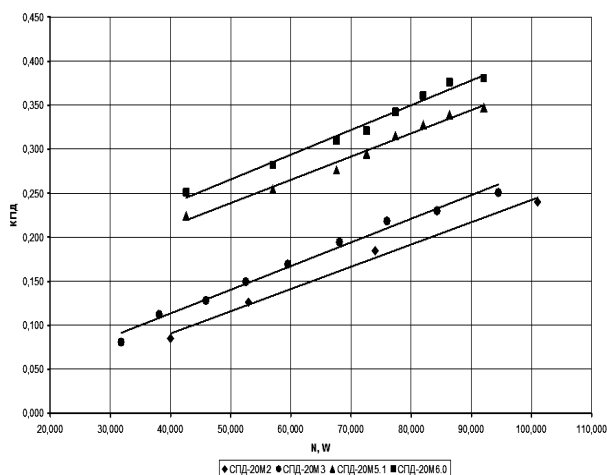


Рис. 1. Зависимость тягового КПД от потребляемой мощности

От модели к модели с изменением параметров магнитного поля наблюдается заметное возрастание КПД во всем диапазоне разрядных мощностей, что может говорить как об улучшении эффективности ускорения заряженных частиц, так и об улучшении фокусировки пучка. Поэтому, учитывая то, что в связи с возрастанием средней энергии ионной компоненты плазмы возможно увеличение суммарного выделения энергии на стенках РК были проведены исследования эрозии стенок РК. Для чего было проведено измерение спектров излучения плазмы факела двигателей.

Схема эксперимента представлена на рис. 2.

Испытания двигателей производились при одинаковых условиях: массовый расход ксенона, ампер-витки катушки намагничивания, материал РК, катод-компенсатор и давление в вакуумной камере.

При помощи методики, в основу которой положены коронарная модель и актинометрическая гипотеза [2, 3], было проведено измерение эрозионных характеристик для серии МСПД. По этой гипотезе эрозия керамики определяется по отношению произведения интенсивностей линии керамики (в нашем случае  $\text{AlI-396 nm}$ ) и линии нейтрального ксе-

нона ( $\text{XeII828nm}$ ) к интенсивности линии ионизованного ксенона ( $\text{XeII484nm}$ ):

$$Erosion = \frac{I(\text{Al396nm}) \times I(\text{XeII828nm})}{I(\text{XeII484nm})}$$

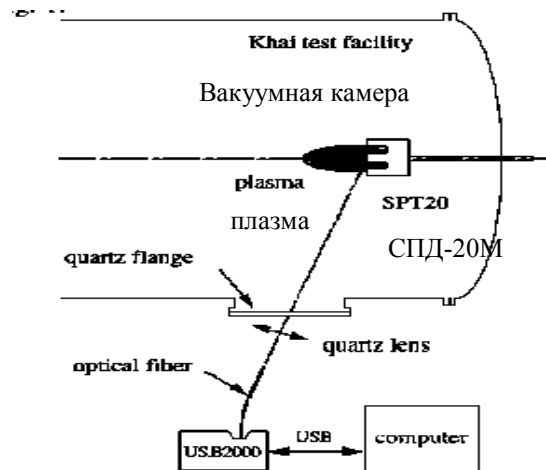


Рис. 2. Схема эксперимента по исследованию эрозионных характеристик МСПД.

Из результатов спектрометрических исследований излучения плазмы двигателя, были получены зависимости относительной величины эрозии изолятора РК (в единицах интенсивности излучения) от разрядного напряжения для серии двигателей (рис. 3).

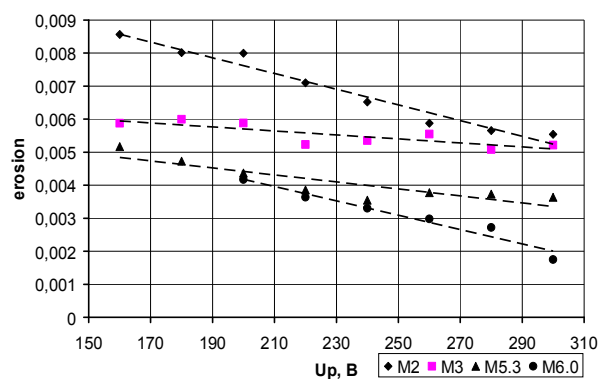


Рис. 3. Результаты исследования эрозионных характеристик МСПД

Они показывают, что увеличение КПД не приводит к увеличению эрозии стенок РК, а наоборот – наблюдается заметное ее снижение во всем диапазоне разрядных напряжений, это подтверждает

предположение о том, что за счет улучшения фокусирующих свойств магнитного поля происходит уменьшение потока ионов на стенки РК.

### **Перспективы дальнейших исследований**

В дальнейшем дополнительные исследования параметров плазмы факела двигателя при помощи, к примеру, многосеточных зондов позволят дополнить полученные результаты путем уточнения угла раскрытия струи и монохроматичности ионной компоненты плазмы и прояснить суть влияния распределения магнитного поля на эрозионные характеристики двигателя.

Также представляется возможным переход от качественного к количественному определению эрозии при помощи ОЭС путем проведения калибровочных прямых измерений эрозии стенок РК.

### **Заключение**

Экспериментальным путем, основываясь на известной методике оптически-эмиссионного измерения эрозии керамики ионной бомбардировкой РК, было показано, что изменения параметров магнитного поля с целью повышения тягового КПД двигателя приводит к снижению скорости эрозии изолятора РК, что вероятнее всего связано с улучшением фокусирующих свойств магнитного поля.

Авторы работы приносят благодарность сотрудникам Кошелеву Н.Н., Кислицыну А.П. и французским коллегам D. Pagnon и M. Dudeck за ценные замечания и обсуждение результатов, а также за любезно предоставленное оборудование (спектрометр HR2000).

Данная работа проведена в рамках проекта УНТЦ №1936.

### **Литература**

1. Karabadzhak G.F., Semenko A.V., Tverdokhlebov S.O., Semi-Empirical Method For Evaluation Of A Xenon Operating Hall Thruster Erosion Rate Through Analysis Of Its Emission Spectra // 3rd international conference Spacecraft Propulsion, Cannes – France, October 2000.
2. Pagnon D., Touzeau M., Lasgorceix P. Control of the Ceramic Erosion by Optical Emission Spectroscopy: Parametric Studies of SPT-100ML // AIAA04-3773, 40<sup>th</sup> AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf. and Exhibit, Fort Lauderdale, Florida, 11-14 July 2004.
3. Pagnon D., Lasgorceix P., and Touzeau M., Control of the ceramic erosion by Optical Emission Spectroscopy: results of PPS1350-G measurements, 4th ISPC, Sardinia – Italia, 2/4 June 2004.
4. Optical emission spectroscopy measurements on a SPT-20 hall effect thruster on the KHAI ground test facility / D. Pagnon, S. Pellerin, M. Dudeck, T.A. Maksimenko, N.N. Koshelev, A.V. Loya // Aerospace technic and technology. – 2006. – № 10 (36). – P. 117-122.
5. Максименко Т.А., Лоян А.В., Кошелев Н.Н. Холловский двигатель малой мощности для систем коррекции орбиты малых мини и микро спутников // Авиационно-космическая техника и технология: научн.-техн. журн. – 2005. – № 9 (25). – С. 111-115.
6. Ким В.П., Скрыльников О.И., Сидоренко Е.К. Оценка потоков энергии на стенку разрядной камеры СПД при помощи пристеночных зондов // Авиационно-космическая техника и технология: научн.-техн. журн. – 2006. – № 10 (36). – С. 112-116.

*Поступила в редакцию 01.06.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.И. Оранский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.