

## ИМПУЛЬСНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ 50ВАТТ С РАЗРЯДНОЙ КАМЕРОЙ ИЗ СЕГНЕТОДИЭЛЕКТРИКА

Яшнов Л. Ю.

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт машиностроения»,  
г. Нижняя Салда Свердловской области, leonidsl@hotmail.com

*Ключевые слова: двигатель, сегнетодиэлектрик, космический аппарат.*

НИИМаш последовательно на протяжении последних лет проводит инициативные работы по созданию импульсных плазменных электрореактивных двигателей на жидких рабочих телах и двигательных установок на их основе с использованием высоковольтных разрядов. Экспериментальная оценка в 2017 году работы лабораторной модели двигательного блока ДБ-50Вт показала потенциальную возможность использования эффекта высоковольтного, до 20кВ, разряда электрической энергии по поверхности сегнетоэлектрика из титаната бария ( $TiBaO_2$ ) [1] для создания импульсных плазменных электрических ракетных двигателей для космических аппаратов (КА) мини и микро классов. Сравнительные характеристики ДБ-50Вт с электроракетными двигателями, близкими по энергетике разряда, приведены в табл.1 [2].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики ДБ-50Вт

Тип ЭРД	μ-РРТ	АИПД ЕО-1	АПИД-8 НИИ ПМЭ	ДБ-50Вт НИИМаш
Энергия разряда, Дж	1	56	8	0,05
Частота импульсов, Гц	1...15	1	1...2	80...800
Мощность, Вт	20	60	10...20	7...60
Рабочее тело	-	-	тефлон	масло VM
Удельный импульс, м/с		10400	5200	10600 (400Гц)
Единичный импульс тяги, мН*с	0,002	0,86	0,11	0,0007
Средняя тяга, мН	0,03	0,86	0,11...0,22	0,06...0,5
Цена тяги, Вт/мН		70	90	85 (400Гц)

Эффективность разрядного процесса по сегнетодиэлектрику, под слоем масла, связана с образованием плазменных солитонов, которые формируют из ионов и молекул рабочего тела быстрые реактивные импульсы в направлении от разрядной поверхности [3]. Скорости положительных ионов в реактивном импульсе достигают более 100 км/сек.

Применение углеводородного рабочего тела на основе вакуумного масла никак не устраивает создателей КА из-за образования проводящих пленок на внешних элементах бортовой аппаратуры. Поэтому с 2018 года в «НИИМаш» были начаты работы по созданию компактного коаксиального ИПД с разрядной камерой из сегнетодиэлектрика. Высоковольтное напряжение для такого ИПД подается от серийных индуктивных преобразователей, используемых для автомобильных и авиационных свечей [4]. Энергия импульса электромагнитной «накачки» катушки составляет 60мДж.

В 2019 и 2020 годах в НИИМаш были выполнены исследования работы такого коаксиального ИПД с рабочим телом дистиллированная вода. Использование воды, даже в микродозах и при газовой фазе, не позволило получить необходимых стабильных характеристик тяговых импульсов. Здесь было установлено, что свойства молекул воды, «гасить маломощные искровые разряды» проявились даже в большей степени с тем, что наблюдается в ДВС, при наличии «сырых свечей». Поэтому дальнейшее направление работ видится в выборе рабочего тела, не создающего токопроводящих пленок в реактивной струе ИПД и подходящего для космических условий.

Однако использование разработанного, коаксиального ИПД50Вт с разрядной камерой из сегнетодиэлектрика возможно в так называемом «сухом режиме», В «сухом режиме» рабочим телом являются атомы и ионы самой разрядной поверхности сегнетоэлектрической камеры. Такие ИПД могут использоваться для микро КА – кубсатов. Выполненные исследования подтверждают возможность создания коаксиального импульсного плазменного двигательного блока мощностью от 25 до 50Вт с камерой из сегнетодиэлектрика на твердом рабочем теле – типа титанат бария со следующими характеристиками:

Потребляемая электрическая мощность, Вт –	от 7 до 50;
Секундная тяга, мН –	от 0,005 до 0,044;
Частота разрядов, Гц –	от 100 до 800;
Удельный импульс, м/с –	не меньше 10 000;
Габаритные размеры, мм -	не больше 60x60x60;
Вес ДУ, кг –	не больше 0,35.

Проведенные ресурсные испытания ИПД50Вт в «сухом режиме», на частоте разрядов 800Гц подтвердили безотказную работу в течении 2-х часов сериями по 200 сек при периоде генерации разрядных блоков в 1 сек и паузе в 1сек. Общее число единичных разрядов при этом составило более 2400тысяч включений. При изготовлении лабораторных образцов ДБ и ИПД применялись общедоступные материалы и комплектующие элементы.

#### **Список литературы:**

1. Месяц Г.А. Электронная эмиссия из сегнетоэлектрических плазменных катодов (Успехи физических наук Январь 2008, Том 178, № 1).
2. Кульков В.М и др. Сравнительная оценка эффективности применения перспективных типов электроракетных двигателей в составе малых космических аппаратов (Авиационная и ракетно-космическая техника 2012).
3. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику (М.: Физматлит 2006).
4. Балагуров В.А. Аппараты зажигания «Машиностроение». Москва. 1968.

#### **Сведения об авторе**

Яшнов Леонид Юрьевич, главный специалист АО «НИИМаш», космическое машиностроение.

### **50W FERRODIELECTRIC DISCHARGE CHAMBERPULSED PLASMA THRUSTER**

L. G. Yashnov

Stock Corporation Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Mashinostroeniya (SC NIIMash)  
Sverdlovsk Region, Nizhnyaya Salda, leonidsl@hotmail.com

*Keywords: engine, segneetodielectric, spacecraft.*

The initiative work of NIIMash showed the potential possibility of using the effect of a high-voltage discharge of electrical energy on the surface of a ferroelectric made of barium titanate to create pulsed plasma engines. Experimental studies of the parameters and characteristics of laboratory samples of IPD confirm the technical prospects of such engines for spacecraft of mini and micro classes.