
Разработка электроракетных двигателей для малых космических аппаратов в НИИ ПМЭ МАИ

Богатый А.В., Ким В.П., Попов Г.А.

***Научно-исследовательский институт
прикладной механики и электродинамики
Московского авиационного института***

Ленинградское шоссе, 5, Москва, Россия, 125080. riame@sokol.ru

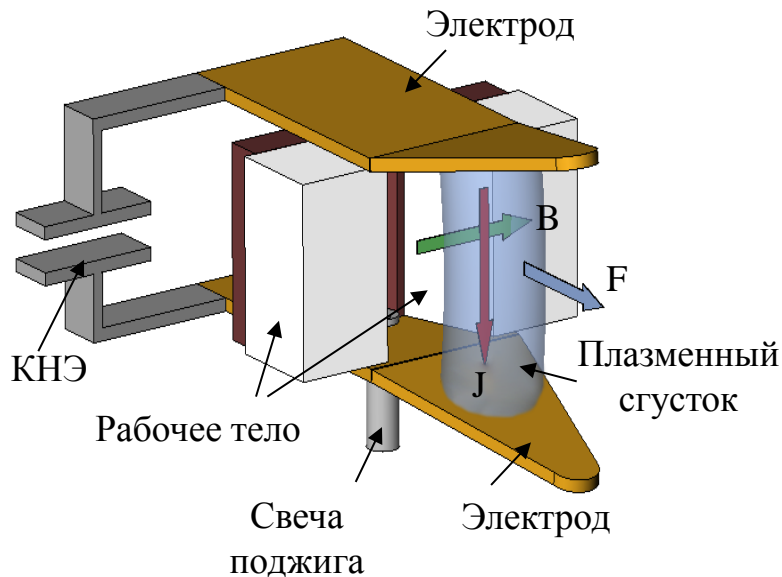


Введение

- ▶ На современном этапе развития космической техники для решения многих научных и прикладных задач в космосе предполагается использование малых космических аппаратов (МКА) массой от нескольких десятков до нескольких сотен килограммов. При этом, в целом ряде случаев, для управления их движением, возникает необходимость в применении двигательной установки (ДУ), сочетающей малую массу и потребляемую мощность с большим ресурсом и суммарным импульсом тяги. Этим требованиям в наибольшей степени соответствует электрические ракетные двигательные установки (ЭРДУ).
- ▶ В НИИ ПМЭ МАИ ведется разработка ЭРД по направлениям:
 - ▶ - двигатели, работающие в импульсном режиме (абляционные импульсные плазменные двигатели (АИПД));
 - ▶ - двигатели, работающие в стационарном режиме (высокочастотные ионные двигатели (ВЧИД) и стационарные плазменные двигатели (СПД)).

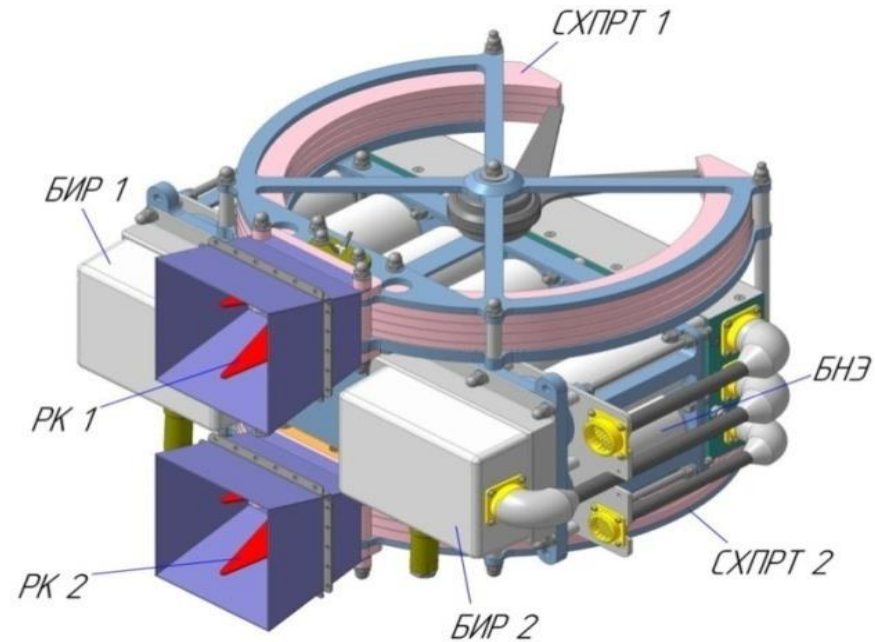


Абляционные импульсные плазменные двигатели



Принципиальная схема АИПД с твердым диэлектриком (фторопласт) в качестве рабочего тела.

J – ток разряда; B – поперечное собственное магнитное поле; F – электромагнитные силы.



Внешний вид ЭРДУ АИПД

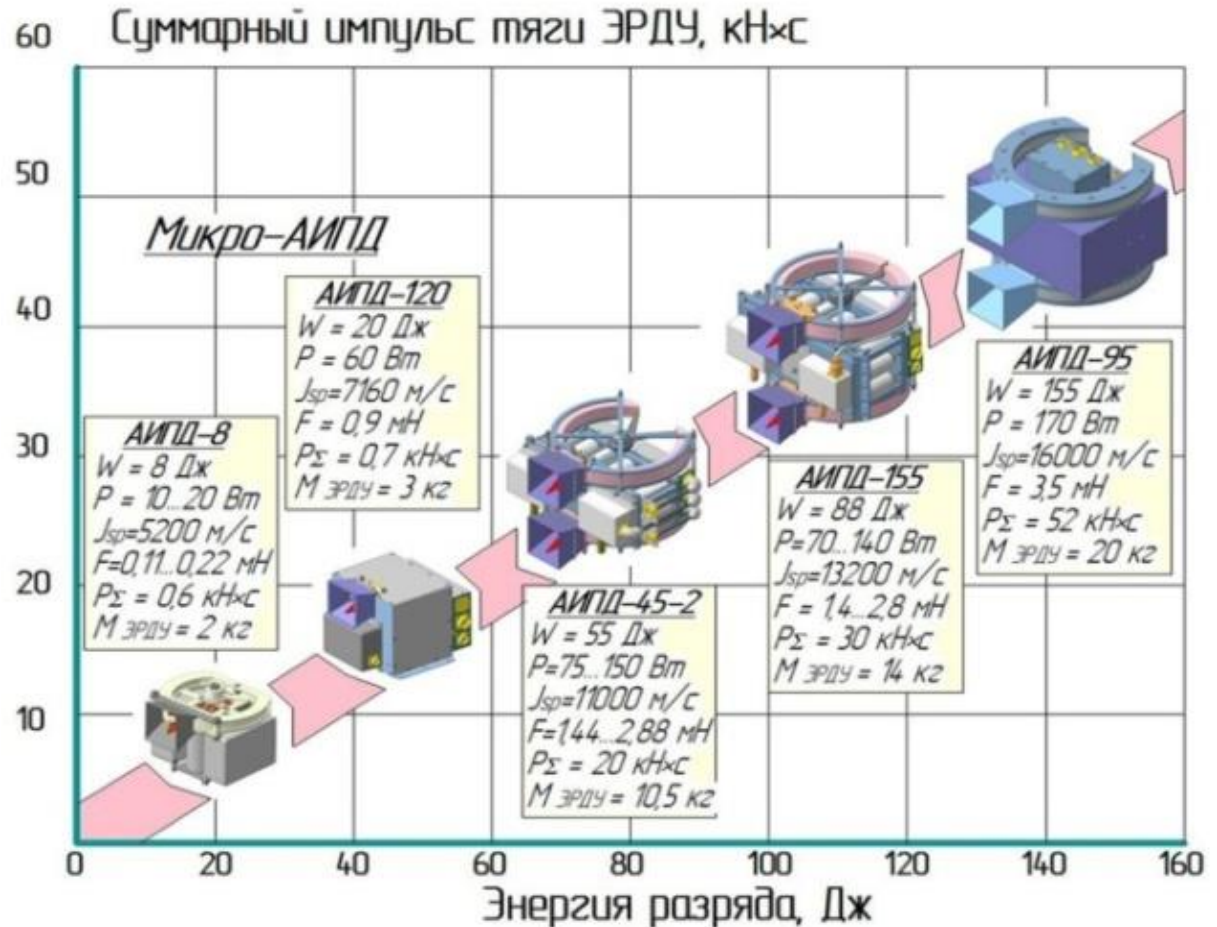
РК – разрядный канал, БИР – блок инициирования разряда, СХПРТ – система хранения и подачи рабочего тела, СПУ – система питания и управления

Абляционные импульсные плазменные двигатели

Высокая надежность достигается в основном за счет резервирования всех цепей питания и управления.

ЭРДУ на основе АИПД могут эффективно выполнять задачи при потребляемой мощности до 200 Вт.

АИПД-45-2 и АИПД-155 успешно прошли все этапы наземной экспериментальной отработки. ЭРДУ АИПД-45-2 в 2014 году была выведена на орбиту в составе малого космического аппарата научного назначения МКА-ФКИ ПН2, разработанного в НПО им. С.А. Лавочкина.



Характеристики ЭРДУ на основе АИПД

Высокочастотные ионные двигатели

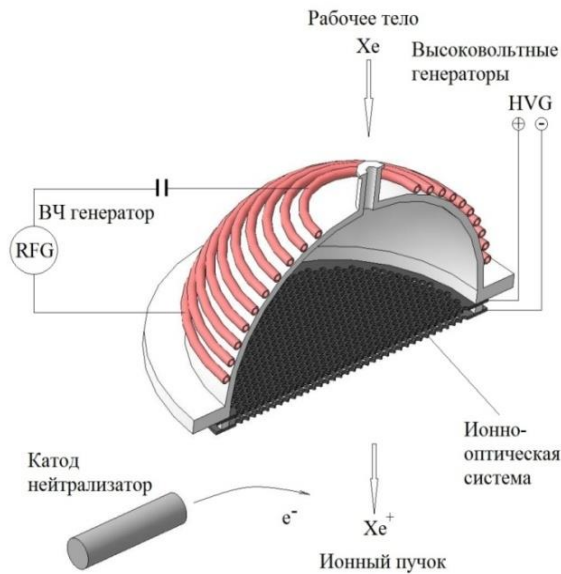
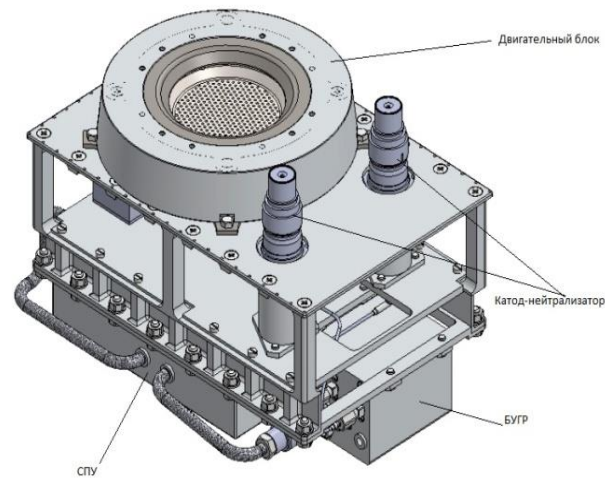


Схема работы ВЧИД



Общий вид ВЧИД-8

Характеристики ВЧИД-8

Параметр	Значение
Потребляемая мощность, Вт	300
Тяга, мН	9
Удельный импульс тяги, с	3800

В соответствии с постановлением Правительства РФ №218 в 2015 году в НИИ ПМЭ МАИ совместно с АО КБХА был разработан, создан и испытан ВЧИД с номинальной мощностью 300 Вт, тягой 9 мН и удельном импульсом тяги 3800 с.

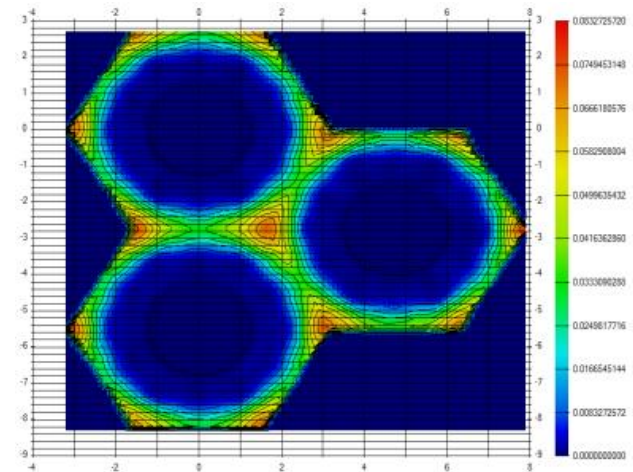
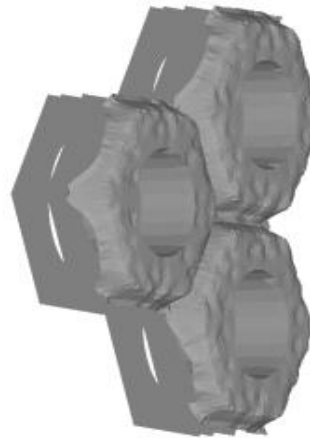


Высокочастотные ионные двигатели

В 2017 году в НИИ ПМЭ начались работы по созданию высокочастотного ионного двигателя ВЧИД-11 мощностью ≈ 400 Вт.

Характеристики ВЧИД-11

Параметр	Значение
Потребляемая мощность, Вт	420
Тяга, мН	12,2
Удельный импульс тяги, с	3155



Моделирование эрозии ускоряющего электрода ИОС ВЧИД-11 в программном комплексе IOS-3D (материал электрода - УУКМ)

Расчет ионно-оптической системы двигателя ВЧИД-11 для двух электродной системы и расчет скорости эрозии ускоряющего электрода ВЧИД из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) производились в программном комплексе IOS-3D разработки ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша».



Проблемные вопросы создания СПД малой мощности (СПД ММ)

1. Сложность создания оптимальных магнитных полей с уменьшением размеров из-за возрастания необходимо магнитной индукции

$$B_m = \Phi_m / S_m \sim 1/b$$

2. Сложность обеспечения высокой эффективности ионизации потока РВ и большого ресурса СПД ММ

$$\lambda_i = \frac{v_a}{\langle \sigma_i v_e \rangle n_e} \ll L$$



Первые разработки СПД ММ

- 1. Была разработана СПД-30 с наружным диаметром ускорительного канала 30 мм традиционной для МАИ и ОКБ схемы конструктивной схемы и показано, что при работе на ксеноне и мощностях разряда 100-200 Вт они могут обеспечивать получение тягового КПД до 20-35 % при удельных импульсах тяги 800-1200 с (как в других работах).**
- 2. Были разработаны модели СПД-20 и СПД-25 на основе источников ускоренных ионов с наружными диаметрами ускорительного канала 20 и 25 мм простейшей конструктивной схемы**



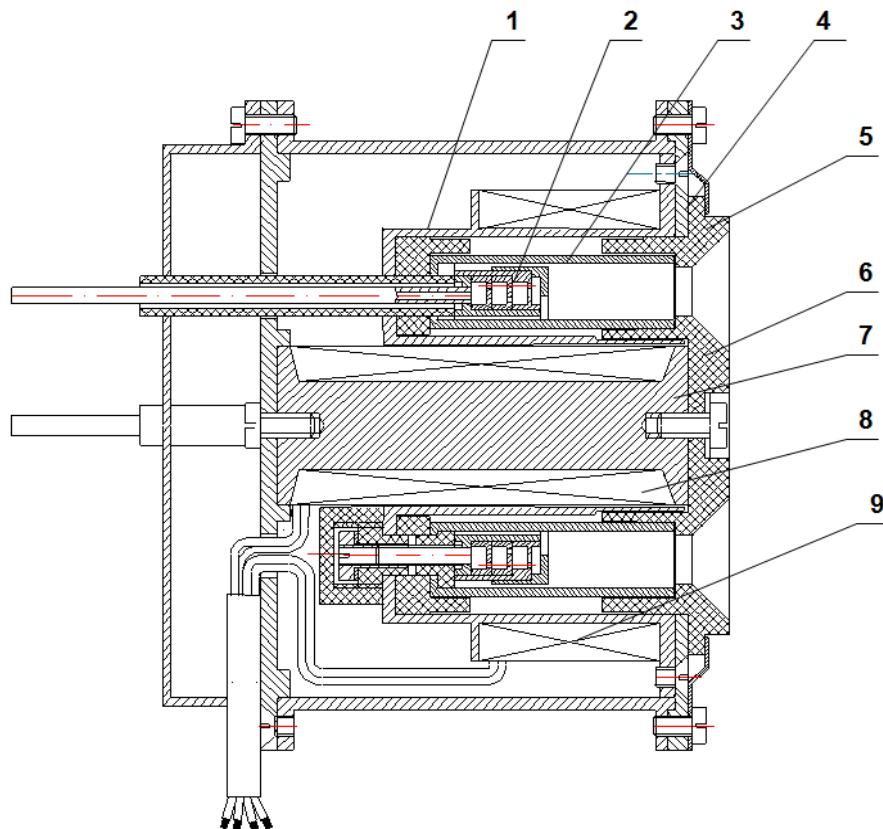
Новый этап (последние годы)

- 1. Требования по ресурсу оказались почти такими же, как и к «большим» двигателям (7000 часов)**
- 2. Проявляется интерес к новым рабочим веществам (криптон, йод)**
- 3. С учетом изложенного и прежде всего по заказам ОКБ был выполнен цикл исследований и разработок СПД с мощностями до 200-250 Вт
- были разработаны и исследованы модели СПД-40 классической схемы.**
- 4. Были исследованы особенности работы СПД-50, СПД-40 на криптона на режимах работы с пониженной мощностью.**



Новые разработки СПД малой мощности

С использованием рассмотренных решений была разработана модель СПД-40М



В этой модели область максимальных значений индукции вынесена за плоскость полюсов и выходная часть ускорительного канала расширена также за плоскостью полюсов на углы 30-45 градусов на сторону.

При этом созданы значительные запасы на износ стенок для увеличения ресурса модели.

Основные характеристики СПД малой мощности

	Тяга, мН	Удельный импульс, с	Мощность, Вт	КПД, %
СПД-20	5,12	840	100,4	20
	4,76	900	98,4	21
СПД-25	4,69	810	98,3	22,1
	5,27	909	122,4	22,4
	5,77	996	166,8	19,7
СПД-40 (Xe)	10,0	1000	192,3	27
СПД-40 (Kr)	9,5	950	250	17
СПД-50	9,5	829	160	24
	12,3	1070	200	32
	12,8	952	200	30
	15,5	1156	250	35



Заключение

- ▶ В НИИ ПМЭ МАИ накоплен значительный опыт в области создания и исследований электрических ракетных двигателей малой мощности различных типов.
- ▶ Созданная в НИИ ПМЭ МАИ линейка ЭРДУ для МКА охватывает широкий спектр мощностей от единиц до сотен Вт и позволяет решать различные задачи управления орбитальным движением МКА.
- ▶ Созданы ЭРДУ на основе АИПД и ВЧИД
- ▶ Разработан новый способ повышения тяговых характеристик и ресурса СПД, позволяющий осуществлять развитие СПД по новому направлению



**Спасибо за
внимание**

