

УДК 629.7.036

И.С. КУЗЬМИНСКИЙ, С.Г. ДАНЕЛЯН, Г.А. ДЬЯКОНОВ, Н.В. ЛЮБИНСКАЯ**ФГНУ «НИИ прикладной механики и электродинамики», Москва, Россия****РАЗРАБОТКА МИКРО-ИПД РЕЛЬСОВОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Приведено описание лабораторной модели (её отличия от летных образцов), конструкции двигательной установки микро-АИПД-5 и основных элементов – блока двигателя, конденсаторного накопителя энергии, блока иницирования разряда. Описано возможное применение двигателя при решении различных задач, а также его основные характеристики.

микроабляционный импульсный плазменный двигатель, конструкция двигательной установки, блок двигателя, блок иницирования разряда, конденсаторный накопитель энергии

Введение

Низкоорбитальные космические аппараты микро класса (МКА) с массой от десяти до ста килограмм и их группировки в ближайшем будущем найдут широкое применение при решении задач обеспечения связи, теле- и радиовещания, навигации, метеорологии, изучения природных ресурсов и мониторинга земной поверхности, а также ревизии различных космических объектов.

Для решения перечисленных задач такие аппараты должны оснащаться надежными и дешевыми двигательными установками (ДУ) мощностью (5 – 50 Вт), позволяющими производить коррекцию орбит КА, компенсировать аэродинамическое сопротивление среды, совершать локальные маневры и т.д.

Одним из наиболее перспективных двигателей в системах управления движением для использования на МКА является абляционный импульсный плазменный двигатель (АИПД). Принцип его действия основан на ускорении плазмы, аблирующей с поверхностей разрядного канала. Этот двигатель отличается от прочих ЭРД простотой конструкции, низкой стоимостью изготовления и эксплуатации, малой массой, способностью к эффективному функционированию при потребляемой мощности единицы – десятки Вт.

Лабораторная модель микро-АИПД

В ФГНУ «НИИ прикладной механики и электродинамики» разработана и изготовлена лабораторная модель микро-АИПД-5 с энергосодержанием конденсаторной батареи 5 Дж.

Накопитель энергии может создаваться на базе одного (4 мкФ) или трех конденсаторов (по 1,5 мкФ каждый).

Модель позволяет легко изменять размеры разрядного канала для определения их оптимальных значений.

Отличие лабораторного от летного образца заключается в использовании упрощенной системы подачи рабочего тела. Кроме того, лабораторный образец не имеет блоков иницирования разряда (БИР) и системы питания и управления (СПУ), так как используются соответствующие системы экспериментального стенда.

На рис. 1 представлен вариант лабораторного образца микро-АИПД.

Двигатель состоит из: электродной системы, конденсаторной батареи, системы поджига, подачи и хранения рабочего тела.

Был проведен ряд экспериментов на модели АИПД-5, с целью выявить работоспособность двигателей такого типа в условиях малых мощностей.

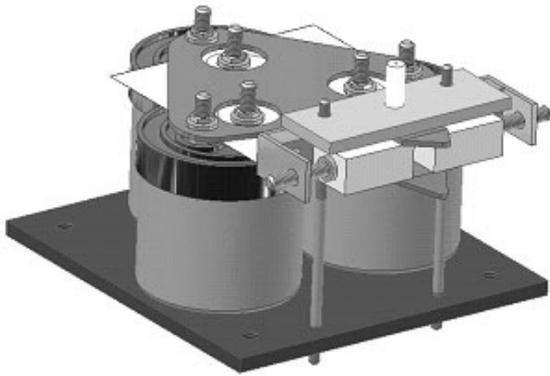


Рис. 1. Вариант лабораторного образца микро-АИПД

В ходе экспериментов измерялись: средняя тяга двигателя F ; расход рабочего тела за один импульс m ; разрядный ток J ; частота следования импульсов f ; напряжение на конденсаторе U_0 .

По результатам измерений рассчитывались:

$$P_{ед} = F/f - \text{единичный импульс};$$

$$W = \frac{1}{2}CU_0^2 - \text{энергия конденсаторной батареи};$$

$$N = W \cdot f - \text{потребляемая мощность};$$

$$\eta_t = \frac{P_{ед}^2}{2mW} - \text{тяговая эффективность};$$

$$\langle V \rangle = \frac{P_{ед}}{m} - \text{среднемассовая скорость плазменного сгустка (удельный импульс)};$$

где $\langle V \rangle$ – средняя скорость плазменного сгустка (удельный импульс);

$$C_t = \frac{W}{P_{ед}} - \text{цена тяги}.$$

Измеренные и рассчитанные по результатам измерения характеристики приведены в табл. 1, кривые зависимости КПД и единичного импульса тяги от запасаемой энергии изображены на рис. 2.



Рис. 2. Зависимости КПД и единичного импульса тяги от запасаемой энергии

Таблица 1

Измеренные и рассчитанные по результатам измерения характеристики

Напряжение	Частота	Расход за имп	Ед. импульс тяги	Энергия	Мощность	Тяга
$U, В$	$f, Гц$	$m, г/ед$	$мН*с$	$J, Дж$	$N, Вт$	$мН$
1500	5	3,53E-05	0,1120	5,0625	25,3125	0,56
1400	5	3,09E-05	0,0932	4,41	22,05	0,47
1300	5	2,75E-05	0,0730	3,8025	19,0125	0,37
1200	5	2,47E-05	0,0620	3,24	16,2	0,31
1100	5	2,11E-05	0,0466	2,7225	13,6125	0,23
1000	5	1,92E-05	0,0426	2,25	11,25	0,21

Осциллограмма разрядного тока представлена на рис. 3.

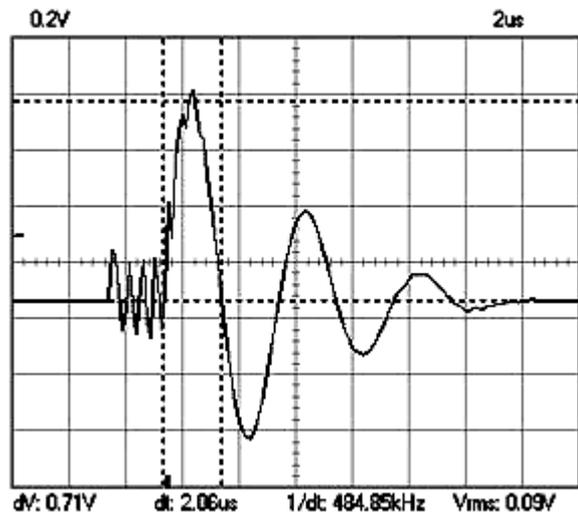


Рис. 3. Осциллограмма разрядного тока

Осциллограмма разрядного тока близка по своей форме к затухающей синусоиде длительностью около 2 мкс.

Из экспериментов было найдено оптимальное расстояние между шашками фторопласта, а также рациональная установка упора, фиксирующего смещение шашек фторопласта в разрядный канал.

Одновременно с отработкой лабораторного образца АИПД-5 в НИИ ПМЭ начата проработка ва-

риантов летного образца корректирующей ДУ для экспериментального микро-КА массой ≈ 10 кг.

Конструктивно АИПД-5 состоит из блока двигателя (БД) 1, конденсаторного накопителя энергии (КНЭ) 2 и блока инициирования разряда (БИР) 3.

Внешний вид одного из вариантов летного АИПД-5 представлен на рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид одного из вариантов летного АИПД-5

Особенностью конструкции является её простота и дешевизна. Все электроды выполнены из листовой меди толщиной 2 мм, изоляторы из стеклотекстолита, а силовые элементы из алюминиевых сплавов. Габариты конструкции – $135 \times 220 \times 94$, масса конструкции – 800-900 грамм.

Летный образец АИПД-5 отличается от экспериментальной модели двигателя АИПД-5 изменением конструкции пружинного механизма подачи рабочего тела, что позволило существенно увеличить его запас и, соответственно, повысить суммарный импульс двигателя, а также, установкой защитного экрана из нержавеющей стали у разрядного канала для защиты элементов конструкции МКА от осаждения продуктов абляции фторопласта.

Разрабатываемый в НИИ прикладной механики и электродинамики образец микро-АИПД может быть установлен на экспериментальном микро-КА массой ≈ 10 кг, создаваемом в РНИИ КП.

Литература

1. Popov G.A., Antropov N.N. "Ablative PPT. New Quality, New Perspectives" // Acta Astronautica 59. – 2006. – P. 175-180.

2. Correction Propulsion System with Ablative Pulsed Plasma Thrusters for Unified Space Platform "Vulcan" / N. Antropov, G. Diyakonov, N. Liubinskaya, M. Orlov, G. Popov, P. Trubnikov, V. Tiutin, V. Yakovlev, V. Isayev, Yu. Pugatchiov, N. Shelkov // Space Propulsion 2004, 4th International Spacecraft Propulsion Conference, 2004. – С. 140-143.

3. Выбор корректирующей ДУ для МКА "Вулкан" / Г.А. Аватинян, Н.П. Шелков, Н.Н. Антропов, Г.А. Дьяконов, В.Н. Яковлев // III Междунар. конф. - выставка «Малые спутники». Новые технологии, миниатюризация, области эффективного применения в XXI веке. – Королев, 2002. – С. 68-72.

4. Анализ основных особенностей рынка малых КА / В.В. Бобылев, В.К. Кузьминов, С.А. Кучеров, А.П. Соловьева // III Междунар. конф. - выставка «Малые спутники». Новые технологии, миниатюризация, области эффективного применения в XXI веке. – Королев, 2002. – С. 81-85.

Поступила в редакцию 6.06.2007

Рецензент: канд. техн. наук Н.Н. Антропов, ФГНУ «НИИ прикладной механики и электродинамики», Москва.