

УДК 629.7.036

А.В. БОГАТЫЙ, Г.А. ДЬЯКОНОВ*Государственный НИИ прикладной механики и электродинамики, Москва, Россия***РАЗРАБОТКА КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ МИКРО КА НА БАЗЕ АБЛЯЦИОННОГО ИМПУЛЬСНОГО
ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В НИИ ПМЭ разработана двигательная установка на основе абляционного импульсного плазменного двигателя (АИПД), которая может быть размещена на борту микроспутника в составе трехосной системы ориентации. Обладая минимальными габаритами и массой среди двигательных установок такого класса, она позволит значительно увеличить срок активного существования малых спутников. Проведены научные исследования, направленные на исследование взаимного влияния разрядных каналов. Успешные испытания лабораторной модели АИПД позволяют говорить о перспективности выбранного направления.

электроракетная двигательная установка, трехосная система ориентации, лабораторная модель, испытания, характеристики

Введение

По принятой в настоящее время классификации к классу микроспутников (МС) относятся космические аппараты (КА) с массой от 10 кг до 100 кг. До недавнего времени к точности поддержания углового и орбитального положения таких преимущественно низкоорбитальных аппаратов, оснащавшихся простейшей функциональной аппаратурой, предъявлялись минимальные требования, не предусматривавшие использования систем трехосной ориентации, а также корректирующих двигательных установок (КДУ) для поддержания параметров их орбит. В некоторых случаях для поддержания орбит МС использовались простейшие ускорительные системы типа газовых сопел, не позволявшие ввиду малых (~70 м/с) скоростей истечения газа и довольно больших импульсов тяги обеспечивать высокие точности управления КА и значительные сроки их активного существования (САС).

Создание новых электронных и оптических технологий позволяет в корне изменить облик и возможности МС, которые теперь при массе ~50 кг зачастую могут иметь целевую аппаратуру с характеристиками, сравнимыми с характеристиками аппа-

ратуры больших КА. Целевая аппаратура нового поколения микроспутников предъявляет повышенные требования к системам управления движением МС, часто требуется установка трехосной системы ориентации, а также КДУ на базе ЭРД малой мощности, обеспечивающей сроки активного существования микроспутника на уровне не ниже 3–5 лет.

Наиболее эффективно такие актуальные задачи как дистанционное зондирование Земли, навигация, картография, связь могут решать и МС, особенно если они объединены в орбитальные системы, включающие от двух и более аппаратов с оптико-электронной, радиолокационной и другой аппаратурой, обеспечивающие высокое разрешение за счет сложения апертур аппаратуры отдельных КА. К точности поддержания орбитальных параметров систем КА часто предъявляются ещё более высокие требования.

Абляционный импульсный плазменный двигатель является простым по конструкции и принципу действия. В лётном варианте он состоит из блока разрядного канала, ёмкостного накопителя энергии, системы подачи твёрдого рабочего тела (РТ), системы питания и управления (СПУ), блока инициирования разряда (БИР), подводящих шин и др.

Разработка АИПД

В НИИ ПМЭ для микроспутников разработан вариант двигательной установки, обладающий достаточно высокими тягово-энергетическими характеристиками, с системой хранения и подачи необходимого количества РТ, соответствующего большому количеству задач, которые ставятся перед двигателями такого класса.

АИПД для МС соответствует следующим основным показателям:

1. Суммарный импульс тяги ДУ составляет не менее 10000 Н·с, из них:

– суммарный импульс двигателей коррекции не менее 9000 Н·с

– суммарный импульс стабилизации 1000 Н·с распределяется на шесть двигателей.

2. Потребляемая мощность не более – 100 Вт.

3. «Сухая масса» ДУ не более 11 кг.

ДУ предназначена для:

– выдачи импульсов тяги, необходимых для поддержания (коррекции) параметров рабочей орбиты космического аппарата (КА);

– осуществления перевода КА из одной орбитальной позиции в другую;

– выдачи импульсов тяги, обеспечивающих демпфирование КА после отделения от ракетносителя;

– стабилизации КА на рабочей орбите во время выдачи импульсов коррекции ДУ;

– восстановления ориентации КА (нештатные ситуации);

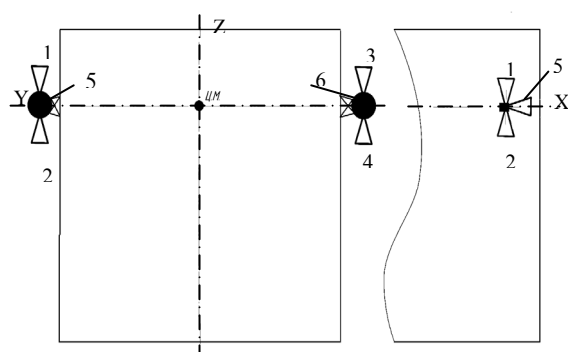


Рис. 1. Схема размещения на борту МС:

В качестве примера приведем вариант установки ДУ на борт микроспутника (Рис. 1).

Корпус МС представляет собой куб, тяговые блоки ДУ располагаются симметрично на параллельных гранях, векторы тяг средних тяговых блоков лежат в плоскости, параллельной верхней грани и проходящей через центр масс (Ц.М.) МС.

Стабилизация КА по курсу осуществляется двигателями 5 и 6 (обеспечивают поворот МС вокруг оси Z), которые также выполняют другую задачу – выдают импульс коррекции (одновременная работа двигателей).

Двигатели 1, 2, 3, 4 включаются по дифференциальной схеме – одни и те же двигатели работают в каналах крена и тангажа. Одновременная работа двигателей 2 и 4 или 1 и 3 обеспечивает поворот МС вокруг оси Y, а одновременная работа двигателей 1 и 4 или 2 и 3 обеспечивают поворот вокруг оси X. Таким образом обеспечивается трехосная ориентация МС в космическом пространстве.

Согласно выбранной схеме расположения двигательной установки на борту малого космического аппарата, двигательная установка делится на два двигательных блока и один общий блок системы питания и управления электроэнергии (СПУ). Три двигателя каждого двигательного блока используют общий конденсаторный накопитель энергии, что позволило добиться малых габаритов и массы. Порядок включения двигателей определяется работой системы зажигания, таким образом обеспечивается одновременная работа двух двигателей каждого двигательного блока (одновременно могут работать до 4-х двигателей в ДУ). В этом случае срабатывание происходит попеременно, таким образом, блок накопителя работает с частотой в два раза превосходящей работу двигателей.

Продолжительный срок активного существования КА на орбите накладывает строгие требования на надежность двигательной установки в целом, и на блок накопителя в частности. Конденсаторы, используемые в качестве накопителей энергии, обла-

дают ресурсом 1,5·10⁹ импульсов при рабочем напряжении 1500 В. Расчетное количество импульсов за весь срок активного существования составит ~ 3·10⁷ импульсов.

Лабораторная модель АИПД

Совместное использование трех двигателей с одним блоком накопителя ставит ряд таких вопросов:

- взаимовлияние двигателей при работе ДУ.
- влияние на работу двигателей электропроводящих защитных экранов.

Несмотря на то, что в АИПД двигатели находятся на значительном расстоянии друг от друга, существует возможность их взаимного влияния при работе. Для исследования этих вопросов было решено использовать лабораторную модель АИПД с двумя разрядными каналами (рис. 2)

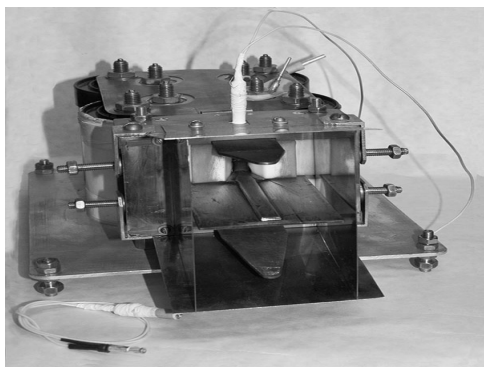


Рис. 2. Лабораторная модель АИПД

Разрядные каналы расположены друг над другом и имеют общий анод, который одновременно выполняет функцию экрана, препятствуя проникновению плазмы при работе одного из каналов. Защитный экран выполнен из нержавеющей стали, вертикальные стенки экрана имеют возможность раздвигаться, изменяя зазор между ними и анодом.

Каждый канал оснащен игнайтером, благодаря чему, осуществлена возможность одновременной работы обоих каналов, и поясом Роговского для регистрации на осциллографе разрядных характеристик. После серии экспериментов было установлено, что защитный экран, выполненный из электропроводящего материала, не влияет на характеристики

ДУ (табл. 1). Несмотря на близкое расположение разрядных каналов, ДУ работает стабильно.

Таблица 1
Результаты опытов

Напряжение, В	W, Дж	P, мН	КПД, η
1500	33,75	0,85	0,15
1400	29,40	0,60	0,10
1300	25,35	0,51	0,07
1200	21,60	0,41	0,05

Для проверки взаимовлияния каналов при работе включался один канал, а со второго с помощью осциллографа снимались данные (рис. 3).

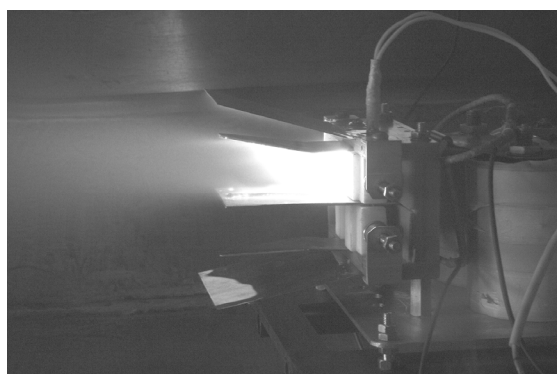


Рис. 3. Испытания лабораторной модели АИПД

Эксперимент проводился в диапазоне напряжений 1200 – 1500 В. Результаты эксперимента представлены в виде зависимостей тягового КПД и импульса тяги от энергии разряда (рис. 4). Из осциллограммы (рис. 5) видно, что на неработающем канале регистрируются только токи наводки от поджига, а замыкания вызванного плазмой не происходит. Подобные эксперименты проводились как с неустановленным защитным экраном, так и с установленным. Во всем диапазоне энергий в обоих случаях наблюдалась та же картина.

Из осциллограммы (рис. 5) видно, что на неработающем канале регистрируются только токи наводки от поджига, а замыкания вызванного плазмой не происходит. Подобные эксперименты проводились как с неустановленным защитным экраном, так и с установленным. Во всем диапазоне энергий в обоих случаях наблюдалась та же картина.

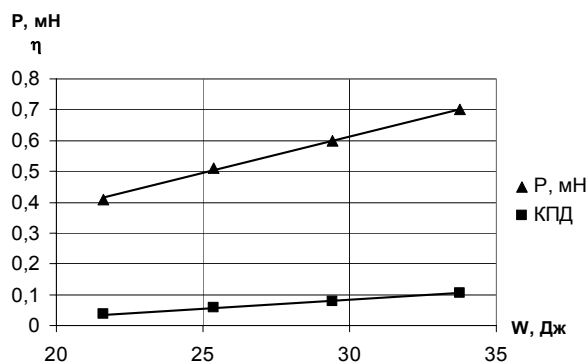


Рис. 4. Характеристики лабораторной модели

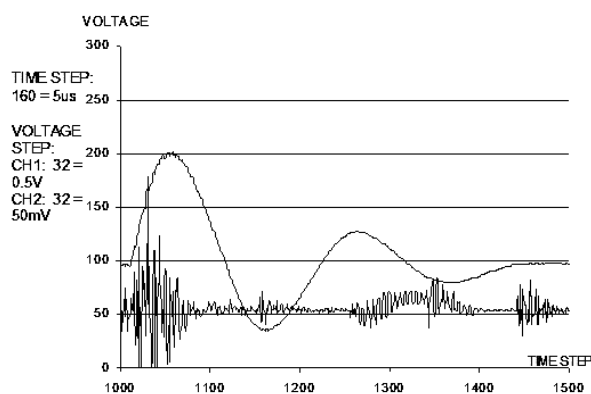


Рис. 5. Осциллограмма разряда лабораторной модели

Лабораторная модель, созданная для исследования вопросов взаимного влияния в процессе работы разрядных каналов, смонтированных на общем блоке накопителя энергии, и влияния металлического защитного экрана на работу разрядного канала сыграла важную роль для достоверного прогнозирования работы спроектированного прототипа двигательной установки АИПД.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что расположенные в непосредственной близости разрядные каналы не оказывают влияния на работу друг друга как при работе без защитного отражателя, так и при работе с отражателем.

Можно утверждать, что двигательная установка, на основе АИПД с тяговыми блоками, оснащенными защитными отражателями, будет работать в устойчиво в расчетном режиме.

Заключение

Новое поколение низкоорбитальных микро-спутников, которые согласно многим прогнозам, например, [2] вскоре займут значительный сегмент рынка космических аппаратов, нуждается в высокоэффективной, надежной и дешевой корректирующей двигательной установке, потребляющей электрическую мощность масштаба десятков Вт. В работе показано, что наилучшим образом для решения задач управления орбитальным положением таких спутников подходит абляционный ИПД разработки ФГНУ НИИПМЭ.

Литература

1. Аватинян Г.А., Шелков Н.П., Антропов Н.Н., Дьяконов Г.А., Яковлев В.Н. Выбор корректирующей ДУ для МКА "Вулкан" // III Международная конференция-выставка «Малые спутники». Новые технологии, миниатюризация, области эффективного применения в XXI веке. – Королев, 2002.
2. Бобылев В.В., Кузьминов В.К., Кучеров С.А., Соловьева А.П. Анализ основных особенностей рынка малых КА // III Международная конференция-выставка «Малые спутники». Новые технологии, миниатюризация, области эффективного применения в XXI веке. – Королев, 2002.
3. Н.Н. Антропов, Г.А. Дьяконов, Н.В. Любинская, М.М. Орлов. Корректирующая двигательная установка для низкоорбитальных микро-спутников нового поколения. // III Научно-практическая конференция «Микротехнологии в авиации и космонавтике». – Санкт-Петербург, 2004.

Поступила в редакцию 22.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Ким, Государственный НИИ прикладной механики и электродинамики, Москва.