

ЭЛЕКТРОДУГОВЫЕ МИКРОДВИГАТЕЛИ В СИСТЕМАХ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ОПТИМИЗАЦИЯ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ

И.В. Ячков, инженер по испытаниям 1 категории

А.Ю. Егоров, инженер по испытаниям 2 категории

И.И. Сапаров, инженер по испытаниям

М.Д. Хлебников, инженер по испытаниям

Научно-производственное объединение имени Семёна Алексеевича Лавочкина
(Россия, г. Химки)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-12-5-83-86

Аннотация. Статья рассматривает проблемы и перспективы использования электродуговых микродвигателей (ЭДМД) в корректирующих двигательных установках (КДУ) для малых космических аппаратов (МКА) в современной космонавтике. Акцент делается на актуальности этой темы в контексте возрастающего интереса к маневрирующим спутникам и улучшению их функциональных возможностей. Статья обсуждает значимость выбора оптимальных проектных параметров (ОПП) и разработку методологии их подбора для эффективного применения ЭДМД в составе КДУ МКА. Рассматривается улучшение эффективности маневрирования и технических характеристик ЭДМД и МКА. Исследование направлено на оптимизацию параметров МКА с ЭДМД для повышения их функциональных возможностей в космосе. Вместе с тем, статья анализирует проблемы, связанные с эрозией катода при зажигании дугового разряда ЭДМД. Подробно рассматриваются методы и подходы к преодолению данных проблем, такие как исследование материалов для катодов, улучшение термической стабильности, оптимизация процесса зажигания и использование предварительного прогрева.

Ключевые слова: электродуговые микродвигатели, корректирующие двигательные установки, малые космические аппараты, маневрирование в космосе, удельный импульс тяги, оптимизация проектных параметров, термическая стабильность, многоцелевые спутниковые платформы, система стабилизации.

Исследования и разработки в области малых космических аппаратов (МКА) с корректирующими двигательными установками (КДУ) на основе электродуговых микродвигателей (ЭДМД) представляют собой актуальную тему в современной космонавтике. В условиях постоянно растущего интереса к космическим исследованиям и расширения функционала малых спутников, повышение эффективности маневрирования и улучшение технических параметров космических аппаратов становятся ключевыми задачами.

Успешное развитие маневрирующих МКА напрямую связано с выбором оптимальных проектных параметров (ОПП) и разработкой методологии их подбора. Одним из важнейших факторов является использование КДУ с различными техническими характеристиками, в частности,

ЭДМД. Этот тип микродвигателей обладает потенциалом повышения удельного импульса тяги до 300 с на аммиаке при существенном сокращении запасов рабочего тела или увеличении реализуемого запаса характеристической скорости, что значительно увеличивает эффективность МКА. Так же эти двигатели представляют собой важный инструмент для коррекции и обеспечения стабильности орбитальных параметров космических аппаратов. Они обеспечивают возможность перевода спутников с низких орбит (200-250 км) на орбиты более высокого уровня (600-1500 км), включая геостационарные орбиты, а также обеспечивают управление положением и движением спутников в космосе [1].

Однако ЭДМД имеют и существенные недостатки. В момент зажигания дугового

заряда, катод подвергается эрозийному воздействию за счет того, что перед зажиганием катод охлажден. В момент зажигания дугового разряда на катоде происходят интенсивные взрывообразные процессы, сопровождающийся значительной эрозией материала. При большом количестве рабочих циклов, порядка нескольких тысяч, рабочий ресурс существенно снижается. Недостатком является и то, что катод в этом двигателе может работать при относительно небольшой силе тока, 10-20 А [2].

Для решения этой проблемы можно рассмотреть следующие подходы:

1. Исследование материалов:

Проведение исследований по разработке материалов для катода, обладающих повышенной стойкостью к эрозии и способных эффективно работать при высоких температурах, такие как тугоплавкие, композитные, углеродистые, керамика.

2. Улучшение термической стабильности:

Разработка методов, направленных на улучшение термической стабильности катода для предотвращения взрывообразных процессов при зажигании дуги, таких как использование теплоизоляционных покрытий, улучшение управления тепловыделением, разработка системы охлаждения.

3. Оптимизация процесса зажигания:

Создание более точных методов и систем зажигания, которые снижают воздействие автоэлектронной эмиссии и минимизируют эрозию при старте двигателя, таких как увеличение рабочего диапазона тока, за счет увеличения эффективности солнечных и аккумуляторных батарей, а также электропроводимости кабельной сети.

4. Использование предварительного прогрева:

Прогрев катода перед запуском дуги для обеспечения начальной термоэмиссии и создания условий для стабильного разряда без взрывообразных процессов.

Эти подходы могут быть основой для дальнейших исследований и разработок, направленных на преодоление проблемы эрозии катода и повышение эффективности работы двигателя.

Развитие теоретических и экспериментальных исследований позволяет определить оптимальные ОПП для эффективного использования ЭДМД в составе МКА. Экспериментальные исследования показали перспективную возможность достижения удельного импульса тяги до 300 с на аммиаке при различных режимах нагрева рабочего тела в электрическом разряде с различным энергопотреблением. Это открывает широкие перспективы для создания эффективных маневрирующих МКА с использованием ЭДМД [3].

Методика выбора ОПП с учетом взаимодействия параметров служебных систем (СС) многоцелевых спутниковых платформ (МСП) играет важную роль в оптимизации проектных параметров МКА с КДУ на основе ЭДМД. Разработка этой методики требует анализа массового ряда МКА, определения энергопотребления КДУ и их соответствия требованиям проекта.

Ключевыми целями дальнейших исследований являются создание научно-технического задела для эффективного применения ЭДМД в маневрирующих МКА, разработка методики выбора оптимальных проектных параметров с учетом требований к энергопотреблению и взаимодействия с системой стабилизации (СС) МСП, а также предоставление научных организациям и проектным институтам результатов исследований для дальнейшей интеграции в образовательный процесс и практическое применение в проектах [4].

Системный анализ проектных параметров, выбор эффективных технических решений, а также учет экспериментальных данных об удельном импульсе тяги КДУ с ЭДМД станут основой для создания эффективных и перспективных маневрирующих МКА. Эти работы направлены на повышение конкурентоспособности и эффективности использования малых космических аппаратов в различных сферах, включая научные и прикладные задачи в космосе.

Экспериментальные исследования показали перспективность достижения высоких значений удельного импульса тяги КДУ с ЭДМД при различных режимах

нагрева рабочего тела. Известно, что разработка методики выбора оптимальных проектных параметров (ОПП) для МКА с ЭДМД играет ключевую роль в оптимизации их эффективности. Важно учитывать такие параметры, как масса аппарата, энергопотребление, а также взаимодействие с другими системами, такими как служебные системы многоцелевых спутниковых платформ (МСП) [5].

Целью дальнейших исследований является разработка методологии, позволяющей определить оптимальные ОПП для МКА с использованием КДУ на основе ЭДМД с учетом всех вышеперечисленных параметров. Это позволит создавать более эффективные и конкурентоспособные космические аппараты, которые могут успешно применяться в различных сферах, включая научные исследования, коммерческие проекты и прикладные задачи в космосе.

Такие работы требуют не только теоретических исследований, но и практических

экспериментов с различными вариантами параметров, чтобы выявить оптимальные комбинации, обеспечивающие максимальную эффективность при минимальных затратах. Это включает в себя моделирование, испытания прототипов и анализ полученных данных для формирования оптимальных стратегий проектирования и использования МКА с ЭДМД.

В итоге, развитие этих исследований и методологий играет важную роль в развитии космической индустрии, открывая новые перспективы для создания более эффективных и функциональных космических аппаратов, а также повышение эффективности космических миссий.

Такие достижения будут способствовать не только расширению наших знаний о космосе, но и обеспечат новые возможности для использования космической технологии в различных сферах человеческой деятельности.

Библиографический список

1. Ходненко В.П. Корректирующие двигательные установки для малого космического аппарата // Вопросы электромеханики. – М., 2009. – Т. 109. – С. 21-54.
2. Федюнин В.В., Ячменев П.С. Разработка и экспериментальные исследования источника питания электродуговых микродвигателей для корректирующих двигательных установок малых космических аппаратов : итоги и значение // Омский научный вестник. – 2019. – №5 (167). – С. 46-50.
3. Рыжков В.В., Сулинов А.В. Двигательные установки и ракетные двигатели малой тяги на различных физических принципах для систем управления малых и сверхмалых космических аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – №4. – С. 115-123
4. Гансвинд И.Н. Малые космические аппараты – новое направление космической деятельности // Энергетика и рациональное природопользование. – 2018. – №12 (76) часть 2. – С. 84-90.
5. Электродуговой ракетный двигатель. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2099573C1/ru>. (дата обращения: 20.11.2023).

ARC MICROTHRUSTERS IN SMALL SPACECRAFT SYSTEMS, OPTIMIZATION OF THEIR FUNCTIONALITY, AND ENHANCEMENT OF SPACE MISSIONS' EFFICIENCY

I.V. Iachkov, *Test Engineer 1st Category*

A.Yu. Egorov, *Test Engineer 2nd Category*

I.I. Saparov, *Test Engineer*

M.D. Khlebnikov, *Test Engineer*

Lavochkin Scientific and Production Association
(Russia, Khimki)

***Abstract.** The article examines the issues and prospects of using arc microthrusters (AMTs) in attitude control systems (ACS) for small spacecraft (SC) in modern astronautics. Emphasis is placed on the relevance of this topic in the context of increasing interest in maneuverable satellites and enhancing their functional capabilities. The article discusses the significance of selecting optimal design parameters (ODPs) and developing a methodology for their selection for the effective application of AMTs as part of SC ACS. It addresses the improvement of maneuvering efficiency and technical characteristics of AMTs and SC. The research aims to optimize SC parameters with AMTs to enhance their functional capabilities in space. Additionally, the article analyzes issues related to cathode erosion during arc discharge ignition in AMTs. Methods and approaches to overcome these problems are extensively examined, such as material research for cathodes, improving thermal stability, optimizing the ignition process, and using preheating.*

***Keywords:** arc microthrusters, attitude control systems, small spacecraft, space maneuvering, specific impulse of thrust, optimization of design parameters, thermal stability, multi-purpose satellite platforms, stabilization system.*