

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук Казеева Михаила Николаевича на диссертационную работу Богатого Александра Владимировича «Электромагнитный абляционный импульсный плазменный двигатель малых космических аппаратов», представленную в диссертационный совет Д212.125.08 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Актуальность темы исследования

В настоящее время в связи с миниатюризацией космической техники и появлением новых разработок в области микроэлектроники, применимых к использованию в бортовой аппаратуре малых космических аппаратов (МКА), появилась возможность создания как одиночных МКА, так и группировок на их основе, решающих актуальные задачи мониторинга земной поверхности, космических исследований. В связи с этим возникла необходимость разработки и создания высокоэффективных плазменных двигателей, способных функционировать и управлять движением космических аппаратов при потребляемой мощности 100 Вт и меньше. Наиболее простым и дешевым двигателем такого класса оказался абляционный импульсный плазменный двигатель (АИПД), особенностью которого является отсутствие зависимости удельных характеристик двигателя, таких как удельный импульс тяги и тяговая эффективность, от потребляемой мощности. Данное обстоятельство предопределило возрождение интереса к двигателю, не смотря на известную проблему импульсных плазменных двигателей, использующих в качестве рабочего тела фторопласт, – образование углеродных отложений (карбонизация) на рабочих поверхностях разрядного канала двигателя, приводящих к его выходу из строя, что в значительной мере препятствует широкому использованию на борту МКА.

В связи с этим, работа автора по исследованию физических процессов, происходящих при разряде АИПД, особенно на начальной стадии, направленные на снижение образования углеродных отложений в разрядном канале, и влиянию геометрии разрядного канала на характеристики электромагнитных АИПД, является актуальной и крайне важной.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность полученных результатов автор подтверждает:

- использованием при выполнении работы апробированных методик исследования, сопоставлением результатов испытаний с результатами математического моделирования, результатами испытаний электромагнитных АИПД с разрядным каналом

усовершенствованной геометрии, непротиворечивостью аналогичным результатам других авторов, что подтверждается неоднократным представлением на отраслевых отечественных и международных конференциях.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 17 печатных работах, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 15 работ, 12 из которых индексируются в международной базе данных «Scopus». Получено 2 патента на изобретения.

Научная новизна

Автором впервые установлена взаимосвязь между процессами развития начальной стадии разряда и формой поверхности рабочего тела электромагнитного АИПД, а также разработана математическая модель начальной стадии разряда, позволившая аналитически исследовать физические процессы, недоступные для экспериментальных методов исследования.

Разработан способ повышения характеристик электромагнитных АИПД, не приводящий к карбонизации поверхности рабочего тела и позволяющий в ходе работы двигателя управлять его тягово-энергетическими параметрами. Указанный способ защищен патентом РФ на изобретение.

Автором создан подход к разработке геометрии разрядного канала, обеспечивающей повышение характеристик электромагнитных АИПД, и препятствующей к возникновению углерода на поверхностях рабочего тела. Данное изобретение также было защищено патентом РФ.

Практическая значимость

Благодаря использованию рекомендаций, сформулированных автором в результате диссертационной работы, при доработке опытного образца корректирующей двигательной установки АИПД-95, удалось увеличить суммарный импульс тяги на 20%, среднюю тягу на 15% при сохранении удельного импульса тяги и предотвратить карбонизацию поверхности рабочего тела.

Разработанная автором математическая модель начальной стадии разряда показала возможность создания физико-математической модели расчёта геометрии разрядного канала электромагнитного АИПД, учитывающей электротехнические параметры разрядной цепи и геометрию разрядного канала, применение которой позволит существенно сократить время разработки новых образцов электромагнитных АИПД.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа Богатого А.В. состоит из введения, четырёх глав, заключения,

списка использованных источников из 102 наименований, изложена на 159 страницах машинописного текста, включает 120 иллюстраций и 16 таблиц.

Во введении автор обосновывает актуальность тематики диссертационного исследования. Определяет цели и задачи исследования, показывает научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту, указан личный вклад соискателя в исследования, положенные в основу диссертационной работы.

Первая глава посвящена обзору истории развития и современного состояния импульсных плазменных двигателей (ИПД). Рассмотрены существующие типы стационарных и импульсных электроракетных двигателей и обоснованы преимущественные области применения ИПД. Проведен обзор различных типов ИПД, использующих твердые, жидкие и газообразные плазмообразующие вещества. Наиболее обстоятельно рассмотрены абляционные импульсные плазменные двигатели, получившие наибольшее распространение в России, и их зарубежные аналоги. Приведены способы улучшения характеристик АИПД и возникающие при этом проблемы, в частности проблема карбонизации шашек плазмообразующего вещества. Показана важность исследования начальной стадии разряда, дающего ключ к решению указанной проблемы. Сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе описана стендовая база НИИ ПМЭ МАИ для исследования АИПД и ее модернизация автором диссертационной работы. Проведен анализ применимости тягоизмерительных устройств различного типа. Определен рациональный тип тягоизмерительного устройства для измерения средней тяги АИПД – маятниковый тягомер прямого действия. Разработана математическая модель тягомера данного типа, обосновывающая достоверность измерения средней тяги АИПД. Создано усовершенствованное автором тягоизмерительное устройство, отличающееся сниженным уровнем помех в регистрируемом сигнале. Рассмотрены также используемые в работе способы исследования локально-временных характеристик АИПД и его систем оптическими методами, в частности спектроскопическими, интерферометрическими и методами высокоскоростной фоторегистрации. Приведены оценки погрешности измерений при экспериментальных исследованиях АИПД.

Третья глава посвящена экспериментальному и расчетно-теоретическому исследованию процессов развития разряда и ускорения плазмы в АИПД. Описаны использованные автором методы измерений. Проведено исследование физических процессов

при разряде электромагнитных АИПД различных энергий. Приведены данные по разработке математической модели движения заряженных частиц на начальной стадии разряда в канале АИПД. Изложены результаты экспериментальных исследований, и проведено их сравнение с результатами расчётов, проведенных на основе разработанной автором математической модели. Проведены экспериментальные исследования условий возникновения карбонизации поверхности разрядного канала АИПД. Установлены условия, при которых карбонизации поверхности рабочего тела в процессе работы двигателя не возникает. Предложен способ повышения характеристик электромагнитного АИПД и защиты от карбонизации, защищенный патентом Российской Федерации.

В четвертой главе приведён анализ влияния конструкции разрядного канала на характеристики и работоспособность электромагнитного АИПД, а также результаты применения усовершенствованного разрядного канала с торцевым изолятором с форкамерой нового типа в конструкциях АИПД нового поколения.

В Заключении сформулированы основные выводы по результатам диссертационной работы, подтверждающие достижение поставленных целей и задачи.

Замечания по работе:

1. При разработке тягоизмерительного устройства не рассмотрен способ калибровки импульсными воздействиями и не приведено обоснование выбора типа используемой калибровки.
2. Приведены данные об исследованиях оптическими и магнитозондовыми методами разряда АИПД, но повторные исследования после внедрения разработанных технических решений не проводились.
3. В работе не проводились физико-химические исследования углеродных образований, которые могли бы также способствовать пониманию процесса карбонизации и разработке способов борьбы с этим явлением.

Недостатки, отмеченные в работе, не снижают качества диссертационной работы, и научной и практической ценности полученных автором результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Богатого А.В. является законченной и выполненной самостоятельно научно-квалификационной работой, в которой материал изложен грамотным техническим

языком, и в достаточной мере отражен личный вклад автора в результаты исследований. Работа выполнена на актуальную тему, получены новые научные знания и практически значимые результаты, которые позволят перейти к созданию востребованных двигательных установок для малых космических аппаратов. Решены важные задачи по совершенствованию электромагнитных АИПД. Автореферат и опубликованные работы отражают содержание диссертации и полученные автором основные научные результаты.

Диссертация соответствует всем требованиям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор, Богатый Александр Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки).

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
начальник лаборатории магнитно-импульсных технологий
НИЦ «Курчатовский институт»

Мезен
07.12.21

М.Н.Казеев

Подпись Казеева М.Н. заверяю:

Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»



[Handwritten signature in blue ink]

И.И. Еремин

НИЦ «Курчатовский институт»

Почтовый адрес: 123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Телефон: +7(499)196-78-55

Электронная почта: kazeev_mn@nrcki.ru

С отзывом ознакомлен

АВБ / А.В. Богатый /
07.12.2021г.