Отзыв

Официального оппонента Казеева Михаила Николаевича

на диссертацию Любинской Наталии Валентиновны

«Абляционный импульсный плазменный двигатель для перспективных малоразмерных космических аппаратов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

В последние годы имеет место устойчивая тенденция уменьшения массы космических аппаратов, как в нашей стране, так и за рубежом. По прогнозу Space Works до 2022 г. будет запущено порядка трёх тысяч КА массой до 50 кг, что во много раз больше ожидаемого количества пусков больших КА с массой, превышающей 1000 кг.

Условия функционирования большинства подобных аппаратов требуют регулярной коррекции их орбит, что делает необходимым использование малогабаритных двигательных установок, способных эффективно работать в условиях ограниченного потребления электроэнергии. Растущие требования к точности поддержания орбитальных параметров МКА, а также к их ресурсу диктуют необходимость размещения на таких аппаратах корректирующих двигательных установок (КДУ), использующих электроракетные двигатели (ЭРД). Ограниченность массы МКА и мощности их бортовых энергоустановок, а также ограничения накладываемые на стоимость их создания и эксплуатации требуют разработки малогабаритных, легких и дешевых КДУ, обладающих высокой эффективностью при ограниченной потребляемой мощности.

Одним из наиболее перспективных типов ЭРД для малоразмерных КА является абляционный импульсный плазменный двигатель (АИПД). Рассматриваемые в диссертации разработка и исследование физических процессов, протекающих в микро-АИПД, и выработка рекомендаций по повышению характеристик АИПД малой энергии являются **важной и актуальной задачей.**

Диссертация содержит введение, четыре главы содержательной части, заключение, а также список использованной литературы, содержащий 78 наименований. Текст диссертации на 164 страницах в достаточной мере проиллюстрирован.

Отдел документационного
обеспечения МАИ
«14» 12 2020

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

На основании анализа возможной области применения ЭРД малой мощности и энергии автором была сформулирована основная задача исследования - разработка научных основ создания микро-АИПД малой массы с энергией разряда до 20 Дж с высокими тягово-энергетическими характеристиками в диапазоне малых энергий и мощностей. В работе были проанализированы существующие схемы двигателей АИПД и обоснован выбор схемы наиболее подходящей для выполнения поставленной задачи, а именно обеспечивающий необходимый суммарный импульс тяги и высокий удельный импульс тяги. А из взаимосвязи полной массы ЭРДУ и энергии разряда при различных суммарных импульсах был определен диапазон энергии двигателя, которому посвящена диссертационная работа.

Значительная часть работы посвящена физико-математическому моделированию, которое в отличие от существующих ранее математических моделей отражает аспекты процесса ускорения плазмы в АИПД, в части учёта характерной для микро-АИПД периодичности изменения разрядного тока, приводящей к волнообразной генерации плазмы. Необходимость разработки такой модели обоснована во второй главе, где по результатам магнитозондовых измерений и других экспериментальных исследований, показана необходимость учета влияния второй полуволны тока на тягово-энергетические характеристики двигателя. Представленная физико-математическая модель позволяет уже на стадии проектирования оценить влияние геометрических параметров и параметров разрядной цепи двигателя на его удельные характеристики.

В тексте приводятся результаты экспериментальных исследований, они сравниваются автором с результатами расчётов и тем самым подтверждается адекватное отражение основных физических процессов происходящих в микро-АИПД.

По результатам проведенных экспериментов и представленной физико-математической модели были даны рекомендации по повышению начальной индуктивности разрядного контура в микро-АИПД, и также была проведена доработка двигательной установки ИПД-120, разработанной по заказу НИИ КС и предназначенной для поддержания и коррекции орбиты малого низкоорбитального космического аппарата массой менее 100 кг.

Достоверность полученных автором результатов диссертации обусловлена использованием корректных методик измерения, основанных на апробированных ранее подходах, проведением экспериментальных исследований на сертифицированном оборудовании.

Научная новизна результатов исследования.

В рамках диссертационной работы проведена серия экспериментальных исследований моделей микро-АИПД с энергией разряда до 20 Дж, показавших, необходимость подбора параметров разрядной цепи двигателя, при которых реализуется режим работы с локализацией максимума плотности выделяющейся энергии в области среза шашек рабочего тела.

Разработана физико-математическая модель течения плазмы в АИПД рельсовой геометрии с низким уровнем энергии, позволившая установить характер влияния индуктивности разрядной цепи на характеристики микро-АИПД.

Экспериментально подтверждена предсказанная методом математического моделирования возможность повышения параметров двигателя путём настройки индуктивности разрядной цепи.

Экспериментально показано, что переход от прямоугольной формы начального участка (область расположения шашек рабочего тела) разрядного канала к трапецевидной позволяет повысить, в результате увеличения погонной индуктивности, удельный импульс тяги. На микро-АИПД с разрядным каналом трапециевидного типа получен патент.

Разработана и реализована конструкция АИПД малой энергии с высокими удельными параметрами.

Практическая значимость результатов

1. Разработана физико-математическая модель течения плазмы для АИПД малой энергии (микро-АИПД) удовлетворительно согласующаяся с экспериментальными данными.

2. Экспериментально определены параметры разрядного канала и электрической цепи, а также режимы работы АИПД малой энергии, при которых возможно устранить факторы, негативно влияющие на работоспособность двигателя в течение длительного времени.

3. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что увеличение начальной индуктивности электрической АИПД малой энергии может приводить к повышению его эффективности.

Результаты работы изложены в 14 научных статьях, из них 10 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ на физико-математическую модель и патент на изобретение.

В диссертационной работе имеются и некоторые недостатки:

1. Различные диагностические методы исследования отрабатывались на моделях с разной энергией разряда, что не позволяет однозначно сравнивать результаты между собой.

2. В условиях, описывающих состояние плазменного сгустка, предполагается наличие

локального термодинамического равновесия, которое в используемых моделях АИПД может отсутствовать.

3. Недостаточно проанализированы особенности микро-АИПД в сравнении с аналогичными зарубежными разработками, в частности с двигателем аппарата ЕО-1.

Отмеченные недостатки не снижают научной ценности проведенного исследования и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Результаты работы Любинской Н.В. могут быть использованы при разработке новых моделей абляционных импульсных плазменных двигателей малой энергии, и оптимизация разряда в АИПД.

Диссертационная работа Любинской Н.В. выполнена на высоком научном уровне, проведенное исследование отличается практической направленностью. Материал изложен хорошим техническим языком, отражен личный вклад автора в результат исследования. Автореферат отражает существо диссертации.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой.

Рецензируемая диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Изложенный в ней материал соответствует паспорту специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», а её автор, Любинская Наталия Валентиновна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Кандидат физико-математических наук,
начальник лаборатории магнитно-импульсных технологий
Отдела плазменных и импульсных технологий
Курчатовского комплекса физико-химических технологий
НИЦ «Курчатовский институт»
123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1
Электронная почта: kazeev_mn@nrcki.ru,
Тел.: +7(499)196-78-55 М.Н. Казеев

10.12.2020

Подпись Казеева М.Н. заверяю:

Заместитель директора - главный ученый секретарь А.В. Николаенко
НИЦ «Курчатовский институт»

С отзывом ознакомлена 11.12.2020