



Государственная корпорация
по космической деятельности «Роскосмос»
Государственный научный центр Российской Федерации –
федеральное государственное унитарное предприятие

**«Исследовательский центр
имени М.В.Келдыша»**

(ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»)

Онежская ул, д. 8, Москва, Россия, 125438
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228
ОКПО 07547339 ОГРН 1027700482303 ИНН/КПП 7711000836/774301001
kerc@elnet.msk.ru; http://www.kerc.msk.ru

02.12.2020 № 7-17/112
на № 208-06-95 от 16.11.2020

Председателю диссертационного совета
Д 212.125.08 на базе федерального
государственного образовательного
учреждения «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский
университет)»
Равиковичу Ю.А.

Ученый совет МАИ
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, д.4.

Уважаемый Юрий Александрович!

Высылаю отзыв официального оппонента А.В. Семёнкина на диссертацию Н.В. Любинской на тему: «Абляционный импульсный плазменный двигатель для перспективных малоразмерных космических аппаратов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 — "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов".

Приложение: отзыв на 5 листах в двух экземплярах;
диссертация, 1 книга;
автореферат диссертации, 1 брошюра.

Заместитель генерального директора
по космическим аппаратам и энергетике

А.В. Семёнкин

Отдел документационного
обеспечения МАИ

07 12 20 20

Генеральный директор

Отзыв

Официального оппонента Семёнкина Александра Вениаминовича 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».

Электрические ракетные двигатели (ЭРД) широко применяются на высокоорбитальных космических аппаратах, и в настоящее время происходит их активное внедрение в область низкоорбитальных и малых космических аппаратов, что обеспечивает существенное увеличение срока активного существования КА и функциональных возможностей аппаратов.

Создание ЭРД для малых космических аппаратов, обладающих системами энергоснабжения ограниченной мощности, требует разработки специальных электроракетных двигательных установок (ЭРДУ), обеспечивающих требуемый уровень характеристик при малом энергопотреблении. Одним из наиболее перспективных типов ЭРД для малых и микро-КА является абляционный импульсный плазменный двигатель (АИПД), поэтому разработка и оптимизация АИПД для работы на режимах с малым энергопотреблением **является своевременной, важной и актуальной задачей.**

Целью диссертационной работы является разработка основ создания микро-АИПД малой массы с энергией разряда до 20 Дж с высокими тягово-энергетическими характеристиками в диапазоне малых энергий и мощностей.

Для достижения поставленной цели автором были определены и решены следующие **основные задачи:**

1. Разработка физико-математической модели течения плазмы для случая АИПД с низким уровнем энергии разряда;
2. Экспериментальное исследование тягово-энергетических характеристик и рабочих процессов АИПД малой энергии при различных значениях индуктивности, ёмкости и сопротивления разрядной цепи; выбор схемно-конструкторского решения исполнения двигателя малой массы с высокими удельными параметрами;

3 Теоретический анализ влияния параметров разрядной цепи АИПД малой энергии на его характеристики и получено экспериментальное подтверждение полученных результатов.

Характеристика исследований по главам диссертационной работы.

Диссертационная работа представляет собой рукопись объёмом 164 страницы печатного текста, включая 90 рисунков, 23 таблицы, а также 78 библиографических ссылок. Она включает в себя введение, четыре раздела, заключение, список сокращений и условных обозначений, а также список литературы.

Введение посвящено обоснованию актуальности тематики диссертационного исследования, краткому описанию проблемы создания электроракетных двигательных установок малой мощности для решения задач управления движением малых космических аппаратов массой от 10 до 100 кг.

Первая глава диссертации посвящена современному состоянию исследований и разработок электроракетных двигателей, пригодных для малоразмерных космических аппаратов. В главе проведён обзор литературы по двигателям, способным претендовать на двигатели коррекции и ориентации МКА. Рассмотрена краткая история развития АИПД и проблемные вопросы дальнейшего развития.

Вторая глава посвящена исследованию характеристик микро-АИПД с энергией до 20 Дж. Дано описание вакуумного стенда с тягоизмерительным устройством и экспериментального оборудования. Получены тяговые и расходные характеристики микро-АИПД в диапазоне энергий до 10 Дж, и в диапазоне от 10 до 20 Дж и проведен их сравнительный анализ.

В третьей главе проведён краткий обзор известных физико-математических моделей ускорения плазмы в разрядном канале разной конфигурации. Показано, что ни одна из известных моделей не учитывает влияния второго полупериода, который, как показали магнитозондовые измерения, вносит заметную долю вклада в ускорение плазмы в микро-АИПД. В главе представлена физико-математическая модель процесса ускорения плазмы в микро-АИПД, для которого характерен периодический разряд тока, приводящий к волнообразной генерации и ускорению плазмы. Плазменный сгусток (ПС) моделируется геометрическим телом заданной конфигурации (параллелепипед, призма и т.д.), размеры которого меняются в процессе ускорения. Процесс ускорения и изменения средних параметров состояния плазмы (температуры, давления, степени ионизации и т.д.) описан в виде достаточно простой системы интегродифференциальных уравнений.

В **четвёртой главе** приведены результаты экспериментальных исследований влияния индуктивности разрядного контура на характеристики модели АИПД с энергией 6,6 Дж и экспериментального образца ДУ ИПД-120 с энергией разряда 20 Дж и показано, что выводы и рекомендации, полученные с помощью физико-математической модели, подтверждаются экспериментальными данными.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы и показано, что поставленные задачи решены.

Результаты диссертационной работы обладают научной новизной и практической полезностью.

Основными научными результатами являются:

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 электроцепи, 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 цепи АИПД малой энергии может приводить к повышению его эффективности.

Новизна результатов работы состоит в следующем:

1. Разработана физико-математическая модель течения плазмы в АИПД рельсовой геометрии с низким уровнем энергии, позволяющая на стадии проектирования оценить влияние геометрических параметров и параметров разрядной цепи двигателя на его удельные характеристики.
2. Экспериментально подтверждена предсказанная методом математического моделирования возможность повышения параметров двигателя путём настройки индуктивности разрядной цепи.
3. Разработана и реализована конструкция АИПД малой энергии с высокими удельными параметрами.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1. Физико-математическая модель рабочих процессов в микро-АИПД адаптирована для двигателей малой мощности с колебательным разрядом, приводящим к волнообразной генерации и ускорению плазмы. По результатам расчёта был установлен характер влияния индуктивности разрядной цепи на характеристики микро-АИПД и разработаны рекомендации по оптимизации параметров разрядной цепи для режимов АИПД малой мощности.

2. Предложено новое конструктивное решение (патент РФ № 2688049), обеспечившее повышение тяговых и энергетических характеристик двигателя микро АИПД.

3. Получены экспериментальные данные о характеристиках оптимизированных микро АИПД, необходимые для проектно-баллистических расчетов и практического применения импульсных плазменных двигателей на малых и микро- космических аппаратах.

Достоверность результатов исследований подтверждается выбором апробированных методик измерений и диагностики, сопоставлением полученных результатов с данными других авторов, измеренных характеристик с расчетными значениями, а также сравнением результатов с опубликованными и признанными данными других авторов.

Апробация работы и публикации. Результаты диссертационной работы прошли апробацию как внутри России, так и за рубежом, опубликованы на международных научных конференциях и научно-технических журналах.

В качестве недостатков работы можно отметить следующее:

- автором не рассмотрено влияние предложенных технических решений и оптимизации АИПД на изменение фокусировки и состава плазменной струи импульсного плазменного двигателя малой мощности;
- не приведены данные об измерениях электромагнитных шумов, сопровождающих работу двигателя.

Однако отмеченные недостатки не снижают общего положительного представления о диссертации как о цельной научной работе и не ставят под сомнение полученные результаты и разработанные рекомендации. Диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой решены важные задачи, имеющие большое значение в сфере создания двигательных установок для перспективного класса малых и микро- космических аппаратов.

Диссертационная работа является актуальной, обладает новизной и практической полезностью, выводы и рекомендации, сделанные в работе, обоснованы.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы.

В целом диссертационная работа соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор Н.В. Любинская заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов".

Заместитель генерального директора - начальник
отделения 3 ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша",
доктор технических наук

А.В. Семёнкин



Подпись официального оппонента Семёнкина А.В. удостоверено

Ученый секретарь ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»,
кандидат военных наук

Ю.Л. Смирнов

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральное государственное
унитарное предприятие «Исследовательский центр имени И.В.Келдыша»,

Адрес: Онежская ул., д.8, г. Москва, 125438

Электронная почта: semenkin@kerc.msk.ru,

Телефон: 8 (495) 456-20-63

С отзывом ознакомлена

07.12.2020

