



ЛУЧ
РОСАТОМ

ОРГАНИЗАЦИЯ АО «РОСАТОМ НАУКА»

**Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт
Научно-производственное объединение
«ЛУЧ»
(АО «НИИ НПО «ЛУЧ»)**

ул. Железнодорожная, д. 24,
г. Подольск, Г.о. Подольск, Моск. обл., 142103
Тел. (495) 502-79-51, факс (495) 543-33-63,
E-mail: nro@sialuch.ru
ОКПО 56968802, ОГРН 1215000075971,
ИНН 5074070474, КПП 507401001

11.11.2025 № 227-101-13/9062

На № _____ от _____

О направлении отзыва

Учёный совет МАИ,
Председателю диссертационного совета
24.2.327.06
на базе Московского авиационного
института (национального
исследовательского университета)
д.т.н., профессору Равиковичу Ю.А.
125993, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4.

Уважаемый Юрий Александрович!

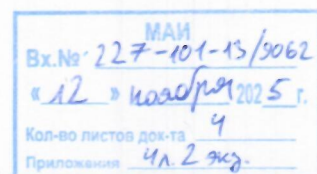
Направляем Вам отзыв на автореферат диссертации Пейсаховича Олега Дмитриевича на тему «Высокочастотный ионный двигатель с четырёхэлектродной системой ускорения», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Приложение: отзыв на автореферат диссертации на 4 л. в 2 экз.

Заместитель генерального директора
по науке

А.А. Мокрушин

Пушкин Дмитрий Борисович
(962) 979-58-16



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Пейсаховича Олега Дмитриевича**,

на тему:

«Высокочастотный ионный двигатель с четырёхэлектродной системой ускорения»,

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Существующие ионные двигатели имеют трехэлектродные системы ускорения. Обычно такие системы состоят из эмиссионного, ускоряющего и замедляющего электродов. В падении потенциалов между эмиссионным и ускоряющим электродами реализуется ускорение и фокусировка частиц, на эмиссионном электроде происходит разделение зарядов, замедляющий электрод является потенциальным барьером для электронов из плазмы пучка.

Ионные двигатели (ИД) зарекомендовали себя как эффективное решение для коррекции ориентации и довыведения космических аппаратов. Обычно ИД комплектуются тремя электродами, такое решение имеет ряд ограничений, а именно предел по удельному импульсу тяги, который ограничен пробойной прочностью материалов и минимально допустимыми межэлектродными зазорами.

Автор работы провел ряд исследований по изучению и экспериментальной отработке четырехэлектродных систем ускорения, что представляет в последнее время особый научный интерес. Такие системы являются двухступенчатыми и в них решены недостатки трехэлектродных систем. Разделение и извлечение ионного пучка происходит в зазоре между первой парой электродов, а ускорение во втором межэлектродном промежутке. Такое решение уже используется и имеет применение в источниках ионов для повеления технологических процессов и получения специальных покрытий.

Актуальность темы исследования определяется в научном плане – необходимостью развития современных теоретических и практических представлений о процессах, протекающих в четырёхэлектродных системах ускорения ионных двигателей; в практическом отношении – необходимостью создания ионных двигателей с повышенными плотностью тяги и удельным импульсом. Создание такого двигателя обеспечит современную потребность в решении задач околоземных и межпланетных перелетов.

Цель работы: Повышение удельного импульса и плотности тяги многорежимных высокочастотных ионных двигателей.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

12 ноября 2025 г.

Задачи исследования:

1. Выявлены ограничения в системах ускорения существующих ионных двигателей;
2. Разработана четырёхэлектродная система ускорения для лабораторной модели высокочастотного ионного двигателя средней мощности;
3. Исследовано влияние применения четырёхэлектродной системы ускорения на интегральные характеристики лабораторной модели высокочастотного ионного двигателя;
4. Измерены вторичные токи на электродах четырёхэлектродной системы ускорения, величины которых определяют ресурс двигателя.

Научная новизна результатов исследований

Установлены диапазоны эффективной работы лабораторной модели ВЧИД средней мощности с четырёхэлектродной системой ускорения на режиме повышенных удельного импульса и плотности тяги при энергии ионного пучка 4 кэВ.

Экспериментально определены два режима работы лабораторной модели ВЧИД средней мощности с четырёхэлектродной системой ускорения: режим с повышенным удельным импульсом и режим с дросселированием тяги (переход режимов осуществлялся изменением извлекающей и ускоряющей разностей потенциалов между электродами). Экспериментально доказана устойчивая инициация разряда и работа ВЧИД с четырёхэлектродной системой ускорения.

Получены экспериментальные зависимости величин вторичных токов на внешних и внутренних поверхностях электродов систем ускорения от извлекающей разности потенциалов и ускоряющей разности потенциалов.

Теоретическая и практическая значимость

1. Экспериментально доказана возможность повышения ресурса и увеличения диапазона регулирования двухрежимного ВЧИД с четырёхэлектродной системой ускорения.
2. Экспериментально подтверждена возможность применения четырёхэлектродной системы ускорения на уже существующих конструкциях ВЧИД.
3. Подтверждена возможность использования физико-математической модели для расчёта конфигурации ионного пучка и определения вторичных токов, выпадающих на поверхности электродов в четырёхэлектродных системах ускорения.

Степень достоверности и обоснованности результатов

Достоверность приведенных в данной работе результатов исследований обусловлена использованием сертифицированного оборудования и современных, апробированных ранее, методик измерений, сбора и обработки экспериментальных данных. Результаты экспериментальных исследований, полученные на лабораторных моделях двигателя с трёх- и четырёхэлектродными системами ускорения, согласуются с данными исследований других авторов.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано **13** работ из них: **2** – статьи в рецензируемых научных изданиях из рекомендованного перечня ВАК (по специальности 2.5.15.); **2** – статьи в рецензируемых научных изданиях включенных в РИНЦ; **4** – статьи в ведущих научных журналах и изданиях, включенных в международные системы цитирования; **5** – тезисов докладов на научных

конференциях. Получено два патента на изобретение (RU 2752857 C1, опубликован 11.08.2021; RU 2763333 C1, опубликован 18.12.2021).

Выводы, полученные в результате проделанной Пейсаховичем О.Д. работы:

1. Экспериментально показано, что ток ионного пучка в четырёхэлектродной системе ускорения определяется извлекающей разностью потенциалов в первом межэлектродном зазоре, при этом изменение ускоряющей разности потенциалов во втором межэлектродном зазоре не влияет на величину тока ионного пучка.

2. На лабораторной модели ВЧИД средней мощности с диаметром пучка 150 мм при переходе с исходной трехэлектродной на четырехэлектродную систему ускорения при сохранении тока ионного пучка 500 мА повышены плотность тяги с 0,16 мН/см² до 0,29 мН/см² и удельный импульс тяги с 2320 с до 2855 с. При этом рост мощности двигателя с 0,9 до 2,2 кВт достигается за счет увеличения ускоряющей разности потенциалов.

3. Экспериментально подтверждена возможность работы высокочастотного ионного двигателя с четырёхэлектродной системой ускорения на двух режимах по тяге и удельному импульсу с энергией ионного пучка 2 и 4 кэВ, а также возможность регулирования тока ионного пучка путем изменения извлекающей разности потенциалов при сохранении энергии ионного пучка.

4. В четырёхэлектродной системе ускорения ток ионов перехвата на ускоряющий электрод, вызывающий его эрозию, снижен в среднем на 50-60%. На извлекающем электроде величина тока ионов перехвата близка к нулю. Это позволяет увеличить ресурс двигателя при переходе на четырехэлектродную систему ускорения.

Автореферат диссертации обладает четкой структурой, язык изложения отличается ясностью и научной строгостью, а содержание полностью представляет материалы диссертации, что в полной мере соответствует установленным требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям.

Замечания:

1. Автор не провел испытания с электродами из композитных материалов, которые являются наиболее стойкими к эрозии.

2. Автор не провел измерения локальных параметров плазмы газоразрядной камеры, что является актуальным при переходе на новую систему ускорения.

Однако, выявленные недостатки не снижают научно-практическую ценность диссертационной работы и не снижают общей высокой положительной оценки работы.

Автор лично проводил экспериментальные и расчетные исследования, представленные в диссертационной работе. Полученные автором результаты имеют научную, практическую ценность и научную новизну.

Заключение

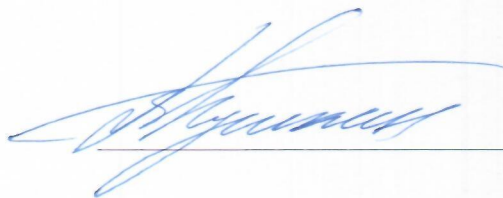
Автореферат диссертации Пейсаховича О.Д. обладает чёткой структурой, язык изложения отличается ясностью и научной строгостью, а содержание полностью представляет материалы диссертации, что в полной мере соответствует установленным требованиям ВАК РФ к авторефератам кандидатских диссертаций.

Диссертационная работа Пейсаховича О.Д. является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научно-техническом уровне, и соответствует требованиям, изложенным в Постановлении Правительства РФ № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автор диссертации Пейсахович Олег Дмитриевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв составил: директор отделения оптических и информационных технологий, к.т.н., Пушкин Дмитрий Борисович, тел.: +7 (962) 979-58-16, e-mail: dbpushkin@rosatom.ru.

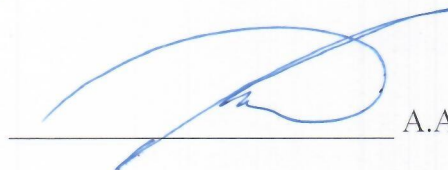
Директор Отделения ОиИТ



Д.Б. Пушкин

Подпись Пушкина Д.Б. удостоверяю.

Учёный секретарь



А.А. Мокрушин



М.П.

«*Махоры*»

2025 г.

Адрес: АО «НИИ НПО «ЛУЧ», Россия 142103, Московская область, г. Подольск, ул. Железнодорожная, 24

Телефон: +7 (495) 502-79-51

Электронная почта: pro@sialuch.ru