

# Сведения о результатах публичной защиты

**Диссертационный совет:** Д 212.125.08

**Соискатель:** Нечаев Иван Леонидович

**Тема диссертации:** Исследование перспективных схем абляционного импульсного плазменного двигателя с повышенными характеристиками

**Специальность:** 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**  
На заседании 17 декабря 2018 г. диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Нечаеву Ивану Леонидовичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Ю.А. Равикович, заместитель председателя диссертационного совета А.Б. Агульник, учёный секретарь диссертационного совета А.Б. Надирадзе, члены диссертационного совета: В.М. Абашев, А.С. Демидов, А.А. Козлов, А.А. Коротеев, Ю.М. Кочетков, В.М. Краев, Н.В. Кулешов, Л.Н. Лесневский, Е.Ю. Марчуков, А.М. Молчанов, А.С. Мякочин, И.П. Назаренко, А.В. Ненарокомов, П.В. Никитин, Г.А. Попов, М.В. Силуянова, С.Ф. Тимушев, С.А. Хартов, В.К. Чванов.

Учёный секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.08

д.т.н.



Надирадзе  
Андрей Борисович

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 17.12.2018 г. № 26

О присуждении Нечаеву Ивану Леонидовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование перспективных схем абляционного импульсного плазменного двигателя с повышенными характеристиками» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 15.10.2018 г., (протокол заседания № 11) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Нечаев Иван Леонидович, 1989 года рождения, работает инженером-конструктором 2 категории в акционерном обществе «Московское конструкторское бюро «КОМПАС» Государственной корпорации по

содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех».

В 2013 году соискатель окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2017 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор, академик РАН Попов Гарри Алексеевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики, директор.

**Официальные оппоненты:**

- Ермошкин Юрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент, акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва», лаборатория проектирования и испытаний систем коррекции космических аппаратов, начальник лаборатории;

- Козлов Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», отдел № 8, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное унитарное предприятие «Опытное конструкторское бюро «Факел» (ФГУП «ОКБ «Факел») г. Калининград, в своем положительном отзыве, подписанном Козубским К.Н., кандидатом технических наук, главным конструктором ФГУП «ОКБ «Факел», Нестеренко А.Н., кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником отдела № 301, Нятиным А.Г., ученым секретарем НТС ФГУП «ОКБ «Факел» и утвержденном Коркуновым М.В., исполняющим обязанности директора ФГУП «ОКБ «Факел» указала, что диссертационную работу И.Л. Нечаева характеризует высокий научный уровень, актуальность тематики, практическая значимость и новизна. Диссертационная работа И.Л. Нечаева представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Материал изложен понятным языком и хорошо структурирован, обозначен личный вклад автора в результаты исследований. Результаты диссертационной работы И.Л. Нечаева могут быть применены в научной и производственной деятельности НИИ ПМЭ МАИ, АО «НИИЭМ», занимающихся исследованием и разработкой импульсных плазменных двигателей. Часть результатов может быть отражена при чтении специальных курсов в МФТИ, МАИ, МЭИ, МИРЭА, МГТУ им. Баумана и других ВУЗах. Работа в целом удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Нечаев Иван Леонидович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 4,25 печатных листа, из них в рецензируемых научных изданиях

опубликовано 3 работы. Из 15 работ 3 – статьи в рецензируемых научных журналах, 1 – статья в нерецензируемом научном журнале, 9 – тезисы докладов на научных конференциях, 2 – патенты. Все работы опубликованы в соавторстве. Научные работы соискателя посвящены исследованию новых перспективных схем абляционного импульсного плазменного двигателя (АИПД). В них приводятся результаты стендовой отработки новых схем АИПД, расчетно-теоретических исследований процессов, происходящих в этих двигателях, и результаты фотодиагностики и магнитозондовой диагностики полученных моделей АИПД. Основным авторским вкладом Нечаева И.Л. являются результаты исследования новых перспективных схем АИПД, разработка трёх новых схем с повышенными удельными характеристиками, получение распределения величины магнитной индукции по длине разрядного канала для приведённых лабораторных моделей, получение результатов фотодиагностики развития потока плазмы при помощи фиксации скачка уплотнения на заострённом непроводящем клине, а также при помощи высокоскоростного фото и видеофиксатора.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Богатый А.В., Дьяконов Г.А., Нечаев И.Л. Абляционный импульсный плазменный двигатель с разделенным механизмом ионизации и ускорения рабочего тела // Труды МАИ. 2012. Выпуск № 52. URL: <http://trudymai.ru/upload/iblock/767/ablyatsionnyy-impulsnyy-plazmennyy-dvigatel-s-razdelennym-mekhanizmom-ionizatsii-i-uskoreniem-rabochego-tela.pdf?lang=ru&issue=52> (дата обращения: 03.10.2018).
2. Дьяконов Г.А., Нечаев И.Л., Семенихин С.А. Экспериментальные методы повышения удельных характеристик абляционных импульсных плазменных двигателей // Труды МАИ. 2017. Выпуск № 93. URL: [http://trudymai.ru/upload/iblock/eba/dyakov\\_nechaev\\_semenikhin\\_rus.pdf?lang=ru&issue=93](http://trudymai.ru/upload/iblock/eba/dyakov_nechaev_semenikhin_rus.pdf?lang=ru&issue=93) (дата обращения: 03.10.2018).

3. Антропов Н.Н., Богатый А.В., Даньшов Ю.Т.,..., Нечаев И.Л.,... и др. Корректирующая двигательная установка с абляционным импульсным плазменным двигателем для малых космических аппаратов. // Вестник «НПО имени С.А. Лавочкина». 2013. № 5. С. 33-37.

4. Патент на изобретение - № 2542354 РФ. Эрозионный импульсный плазменный двигатель/ Богатый А.В., Дьяконов Г.А., Нечаев И.Л., Заяв.: № 2013143895/07, 01.10.2013. Оpubл.: 20.02.2015 Бюл. № 5.

5. Патент на изобретение - № 2664892 РФ. Абляционный импульсный плазменный двигатель/ Дьяконов Г.А., Лебедев В.Л., Любинская Н.В., Нечаев И.Л., Семенихин С.А., Заяв.: № 2017142943, 08.12.2017. Оpubл.: 23.08.2018 Бюл. № 24.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** доктора физико-математических наук, доцента Козлова Андрея Николаевича содержит следующие замечания:

1. На стр. 25 и 26 используются системы уравнений (1.1)-(1.4) и (1.5)-(1.6), которые являются следствием простой «модели Арцимовича». Следует заметить, что плазмодинамические процессы в АИПД могут быть исследованы в рамках системы МГД уравнений, дополненных уравнением электрической цепи. На стр. 89 повторно представлена система уравнений (4.8)-(4.11), отвечающая «модели Арцимовича». Данные уравнения идентичны уравнениям (1.5)-(1.6).

2. На стр. 47 представлены графики зависимости полной массы АИПД от энергии разряда. Полная масса с учетом массы рабочего вещества вычисляется с помощью формулы (2.7), из которой напрямую не следует, что зависимости могут быть немонотонными. Каких либо пояснений относительно данного факта не представлено. В то же время, особенности в поведении кривых и наличие локального минимума используются для вывода соотношения (2.8).

3. В конце стр. 76 для 8-го кадра фотоснимков разряда, представленных на рис. 40, делается вывод о том, что «потоки плазмы ... имеют меньшую скорость истечения, нежели основной поток». Такой вывод невозможно сделать на основе представленных фотографий.

4. На рисунке 60 (стр. 102) неправильно изображено положение магнитного зонда для измерения магнитного поля в межэлектродном промежутке.

5. На стр. 108-125 представлены три серии рисунков 66-98 для трех различных модификаций АИПД. На рисунках, в основном однотипных, изображены диаграммы изменения магнитной индукции по длине канала для различных моментов времени. Однако далее три серии объединены в одну и еще раз рассмотрены на рисунках 100-112 уже совместно для «безразмерного времени». Возникает вопрос. Какой был смысл представления рисунков 66-98 на 17 страницах? Кроме того, среди рисунков 100-112 на стр. 128-140 также много однотипных.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** кандидата технических наук, доцента Ермошкина Юрия Михайловича содержит следующие замечания:

1. Автором приведено большое количество однотипных графиков, характеризующих протекание разряда в двигателе. Целесообразно выявить общие закономерности и привести их для более наглядного представления результатов экспериментов.

2. В главе 4 приведена двухступенчатая конструкция двигателя. Для лучшего понимания особенностей ее работы целесообразно привести схему протекания токов, направления магнитного поля и приложенной к единице объема плазмы силы Ампера.

3. Недостаточно полно очерчена область возможного применения двигательных систем на базе АИПД, оценка их преимуществ и недостатков по сравнению с альтернативными вариантами на базе двигателей иных типов.

**Отзыв на диссертацию ведущей организации** ФГУП «ОКБ «Факел» содержит следующие замечания:

1. В качестве недостатка можно отметить достаточно слабый сравнительный анализ разрабатываемого автором типа двигателя с другими видами ЭРД по параметрам и применимости их при различных задачах, а также перспективы применения этих типов двигателей в сравнении с АИПД.

2. Используемая численная модель имеет множество допущений, снижающих её точность, она позволяет только качественно судить о расчетных характеристиках АИПД.

3. Не проанализирован опыт использования ЭРДУ АИПД-45-2 на МКА-ФКИ-ПН2.

4. В качестве недостатка можно отметить достаточно малое количество данных, приводимых о параметрах зарубежных образцов подобной техники.

**Отзыв на автореферат диссертации «Научно-исследовательского института космических систем имени А.А. Максимова» - филиала акционерного общества «Государственного космического научно-производственного центра имени М.В. Хруничева», составленный доктором технических наук, старшим научным сотрудником Гончаровым В.В., кандидатом технических наук, начальником отдела Кузьмичом А.А., кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Даньшовым Ю.Т. и утвержденный заместителем директора «НИИ КС имени А.А. Максимова» - филиала АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» Павловым С.В. Отзыв содержит следующие замечания:**

- В работе отсутствуют данные о внедрении результатов исследований при разработке АИПД.

- В тексте автореферата приведено недостаточно графических материалов по результатам экспериментов, что несколько усложняет восприятие автореферата.

**Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Научно-исследовательский институт электромеханики», составленный кандидатом технических наук, заместителем генерального директора по космическим**



системам, председателем секции НТС «Космические технологии» Салиховым Р.С., кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником, учёным секретарём НТС «Космические технологии» Гаджиевым Э.В., начальником отдела разработки тепло-электрофизических приборов Лазаревым А.Н., кандидатом технических наук, начальником лаборатории Исаевым В.И. и утвержденный генеральным директором АО «НИИЭМ» Тарабановым А.А. Отзыв содержит следующие замечания:

1. При анализе модели с двойным обратным токоподводом рассмотрен только вариант при постоянной энергии, следовало бы провести анализ при различных энергиях для более полного понимания положительного эффекта от внесённых изменений в конструкцию АИПД.

2. В таблице 1 показана зависимость параметров модели АИПД от уменьшения энергии, а в таблице 2 – от увеличения, что создаёт некоторое неудобство при сравнительном анализе.

3. В характеристиках, полученных для двухступенчатых моделей, следовало бы определить оптимальное значение энергии разряда 1 ступени с выработкой методики получения максимальных тяговых характеристик.

**Отзыв на автореферат диссертации Твердохлебовой Е.М., кандидата технических наук, заместителя начальника Центра и Сизова А.А., начальника отдела Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», содержит следующие замечания:**

1. Автор указывает, что разработанный ряд АИПД с потребляемой мощностью от 10 до 150 Вт и удельным импульсом тяги от 12 км/с до 18 км/с (к которым относятся и новые схемы АИПД, предложенные в диссертации) превышает уровень характеристик, достигнутый зарубежными аналогами. По нашему мнению предлагаемые решения соответствуют мировому уровню. За рубежом существуют импульсные плазменные микродвигатели  $\mu$ PPT (Eulsed Plasma micro Thruster) и дуговые микродвигатели VAT (Vacuum Arc Thruster),

работающие в импульсном режиме, прошедшие лётную отработку и обладающие сопоставимыми характеристиками:

-  $\mu$ PPT разработки The Supery Space Centre (SSC), установленный на Кубсат формата 3U «STRaND-1 », при мощности 1.6 Вт достигающий удельного импульса тяги 13.4 км/с;

- VAT разработки Университета Джорджа Вашингтона (GWU), установленный на Кубсат формата 1.5U «BRICSat-P», при мощности <10 Вт достигающий удельного импульса тяги 20÷35 км/с.

2. В автореферате не приведены массогабаритные характеристики АИПД новых схем для сравнения с базовым вариантом АИПД, что не позволяет более полно оценить достижение цели диссертационной работы « ... и снижение массы конструкции двигательной установки».

3. Все публикации по теме диссертации выполнены в соавторстве и в научных изданиях, индексируемых РИНЦ. Результаты исследований докладывались только на конференциях широкого профиля, проходивших в России. Отсутствуют доклады на узкоспециализированных международных конференциях типа IEPC, Space Propulsion, RGCEP, а также публикации в изданиях, индексируемых Scopus.

**Отзыв на автореферат диссертации Казеева М.Н., кандидата физико-математических наук, начальника лаборатории Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», содержит следующие замечания:**

- для магнитозондовых распределений следовало бы привести графические распределения для более наглядного понимания результатов, полученных в этом эксперименте.

- следовало привести иллюстрации результатов экспериментов и в виде графиков, а не только таблицы с характеристиками исследуемых моделей.

**Отзыв на автореферат диссертации Ануфриева В.В., доктора технических**

**наук, начальника сектора Акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна, содержит следующие замечания:**

1. В автореферате в качестве основного недостатка предложенной схемы, указано отклонение вектора тяги от оси АПВД, однако количественные оценки данного эффекта не приведены. Указанный эффект приведет к дополнительным возмущениям движения МКА относительно его центра масс. Такие оценки представляются необходимыми для сравнения с другими известными схемами и обоснованного выявления преимуществ.

2. Из текста автореферата не ясно, как автором из известной системы уравнений (стр. 19), применяемой для осевого движения потока, получен новый результат для двухступенчатого АПВД с двойным обратным токоподводом?

3. Приведенные экспериментальные результаты в автореферате представлены без оценки погрешности измерений (оценки погрешностей измерений в четвертой главе диссертации, как указано стр. 22 автореферата). Представление в автореферате результатов измерений с погрешностями позволила бы повысить информативность материала, включая вид аппроксимационных кривых (рис.2, таблицы 1 - 5).

**Отзыв на автореферат диссертации Курнаева В.А., доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой «Физики плазмы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", содержит следующие замечания:**

1. В автореферате не приводится общая схема экспериментальной установки со средствами диагностики. В частности, не обсуждается методика проведения измерения удельного импульса. При этом в некоторых таблицах приводятся результаты с пятью - четырьмя значащими цифрами. Возможность

достижения такой высокой точности измерений, связанных со среднемассовой скоростью истечения, вызывает сомнения.

2. В качестве одного из основных положений диссертационной работы указаны результаты экспериментальных исследований тягово-энергетических характеристик опытных образцов АИПД. Однако обсуждению в автореферате энергетической эффективности двигателя внимания не уделяется - нет оценок ни энергетического, ни тягового КПД. Энергетическая цена тяги приведена только для двухступенчатой схемы (таблица 5), из которой следует, что ее удалось поднять до 137 Вт/мН. В других случаях приведено приращение импульса в мНс за разряд определенной энергии. Если подсчитать цену тяги для АИПД базовой схемы (таблица 2), то она оказывается на уровне 50 Дж/мНс (по размерности это Вт/мН). При этом для опытного двухкамерного АИПД зарегистрировано практически удвоение удельного импульса при близком значении к базовой модели полной энергии в конденсаторах. Снижение энергетической цены тяги следует объяснить.

**Отзыв на автореферат диссертации Ловцова А.С., кандидата физико-математических наук, начальника отдела 120 Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», содержит следующие замечания:**

1. В автореферате при описании модели двигателя с асимметричным разрядным каналом указывается, что одним из недостатков конструкции является интенсивное осаждение продуктов разложения рабочего тела - фторопласта, на элементах конструкции двигателя, приводящее к образованию проводящей углеродной пленки. Для предотвращения этого автор предлагает установить стенку из диэлектрического материала с низким коэффициентом распыления. Однако, не рассмотрены вопросы образования углеродной пленки на поверхности диэлектрической стенки, возможность пробоя и разрушения

диэлектрика, обеспечения ресурса двигателя с асимметричным разрядным каналом.

2. В автореферате для модели с двойным обратным токоподводом приведена упрощённая электрическая схема, однако для базовой модели такая схема не приводится, что не даёт возможности в полной мере анализировать полученные результаты.

3. В тексте автореферата не представлены преимущества двухступенчатого двигателя с общим катодом первой и второй ступеней, по сравнению с другими двухступенчатыми схемами абляционных импульсных двигателей.

**Отзыв на автореферат диссертации Гарберы С.Н., кандидата технических наук, заместителя начальника расчётного отдела акционерного общества «Конструкторское бюро химавтоматики», содержит следующие замечания:**

1. В автореферате отсутствуют какие-либо интегральные оценки изменения величины индукции магнитного поля по длине разрядного канала, приводится лишь приблизительная оценка этих изменений, что делает вывод об 20% увеличении не совсем корректным.

2. В автореферате следовало привести графические иллюстрации экспериментальных распределений величины магнитной индукции по длине разрядного канала, что позволило бы сделать материал более наглядным.

**Отзыв на автореферат диссертации Соколова Б.А., доктора технических наук, советника генерального директора, Стриженко П.П., руководителя научно-технического центра, Щербины П.А., начальника лаборатории проектирования перспективных двигательных установок публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва, содержит следующие замечания:**

1. В работе не оцениваются совмещение всех трёх путей повышения удельных характеристик, которые применены в диссертации, возможно ли это на

практике, будут ли какие-то положительные эффекты от совмещения этих результатов.

2. В работе проводились исследования только с одной схемой канала, рельсотронного типа с боковой подачей рабочего тела, однако для полноты исследования необходимо оценить влияние предложенных путей и на другие типы каналов, например на коаксиальный разрядный канал.

**Отзыв на автореферат диссертации Пинчука В.А., доктора технических наук, заслуженного работника ВШ РФ, профессора кафедры А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», содержит следующее замечание:**

Используемый в автореферате стиль изложения ориентирован на представление существа работы в не всегда оправданной, излишне лаконичной форме, в той или иной степени затрудняющей осмысление её содержания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Нечаева И.Л., что подтверждается их публикациями в международных и отечественных рецензируемых изданиях по тематике исследования.

Выбор Козлова А.Н., доктора физико-математических наук, доцента, главного научного сотрудника отдел № 8 федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах теории плазменных ускорителей. Козлов А.Н. является одним из лучших специалистов в России в области расчёта и создания математических моделей плазменных ускорителей, использующих собственное магнитное поле.

Направлением плазменных ускорителей Козлов А.Н. занимается с 1979 г. и на настоящий момент имеет более 80 публикаций по данной теме.

Выбор Ермошкина Ю.М., кандидата технических наук, доцента, начальника лаборатории проектирования и испытаний систем коррекции космических аппаратов акционерного общества «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» обосновывается его большим опытом в области применения электроракетных двигателей и двигательных установок на борту космических аппаратов. Ермошкин Ю.М. с 1977 г. занимается исследованиями систем коррекции космических аппаратов, в том числе на основе электроракетных двигателей. Более 20 лет возглавляет лабораторию проектирования и испытаний систем коррекции (СК ) космических аппаратов (КА) АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва». Ермошкин Ю.М. является автором более 60 научных работ, имеет 8 авторских свидетельств и патентов на изобретения по данному направлению работы.

Ведущая организация ФГУП «ОКБ «Факел» выбрана в соответствии с ее широко известными достижениями в области разработки ракетно-космической техники и способна определить научную и практическую ценность диссертационной работы. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают большим опытом изучения рабочих процессов как экспериментально, так и расчетно, а также исследования сложных физических явлений протекания высоковольтных разрядов и взаимодействия с плазмой магнитных полей.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** три новые схемы абляционного импульсного плазменного двигателя (АИПД): с асимметричным разрядным каналом, двойным обратным токоподводом и двухступенчатая схема ускорения с одним общим электродом

для двух ступеней, обладающие более высокими удельными характеристиками по сравнению с существующими аналогами.

**доказано, что:**

- новые схемы АИПД увеличивают удельный импульс тяги двигателя по сравнению с существующими аналогами;
- за счёт изменения распределения величины магнитной индукции по длине разрядного канала в модели АИПД с двойным обратным токоподводом увеличивается значение среднемассовой скорости истечения плазмы.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** возможность увеличения удельного импульса тяги за счёт применения новых схем АИПД, с повышенным значением магнитного поля;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы:**

- методика анализа сверхзвуковых скачков уплотнения на заострённом клине, фиксируемых методом фотофиксации, для оценки угла отклонения потока плазмы в модели с асимметричным разрядным каналом;
- методика магнитозондовой диагностики плазмы, для оценки распределения величины магнитной индукции по длине разрядного канала в модели с двойным обратным токоподводом.

**изложено**, что лучшим способом снижения массы ЭРДУ на базе АИПД является применение конденсаторов с повышенной энергоёмкостью;

**раскрыто** влияние новых схем АИПД увеличивающих удельные характеристики;

**изучены:**

- процессы отклонения потока плазмы в модели с асимметричным разрядным каналом;
- распределения величины магнитной индукции по длине разрядного канала для модели с двойным обратным токоподводом;



**проведена модернизация** существующих образцов АИПД на основе полученных в диссертационной работе данных.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны** экспериментальные модели трёх двигателей АИПД, которые могут быть использованы для создания прототипов лётных образцов АИПД, полученные результаты внедрены на предприятии Научно-исследовательский институт электромеханики;

**определена** перспектива использования разработанных схем АИПД для применения в ракетно-космической технике;

**созданы** научно-технические основы разработки лётных прототипов ЭРД на базе АИПД и представлены в виде рекомендаций по разработке новых АИПД с повышенными удельными характеристиками.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** применялись сертифицированные средства измерений, а также апробированные методы исследования.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- исследовании экспериментальных моделей АИПД с асимметричной схемой разрядного канала, двойным обратным токоподводом и модели двухступенчатой схемы с одним общим электродом для обеих ступеней и верификации полученных результатов при контрольных экспериментах;

- постановке и проведение экспериментов магнитозондовой диагностики с целью изучения распределения магнитных полей в разрядном канале АИПД с двойным обратным токоподводом с применением индукционного зонда;

- сопоставлении теоретических расчётов численной модели с полученными экспериментальными данными, позволяющее оценить изменение удельного импульса от применения предложенной схемы с двойным обратным токоподводом.

