



Федеральное государственное унитарное предприятие  
«ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ФАКЕЛ»  
ФГУП «ОКБ «ФАКЕЛ»

Россия 236001, г.Калининград., Московский проспект, 181,  
Факс: 8-(4012) 538-472, e-mail: info@fakel-russia.com  
ОКПО 07556982, ОГРН 1023901002927, ИНН 3906013389, КПП 390601001/392550001

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

И.О. директора

ФГУП «ОКБ «Факел»,

кандидат военных наук

  
М.В. Коркунов

« 12 » 11



**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу **Нечаева Ивана Леонидовича**  
«Исследование перспективных схем абляционного импульсного  
плазменного двигателя с повышенными характеристиками»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.07.05 — «Тепловые, электроракетные  
двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

**Актуальность темы исследований.**

При проектировании современных малых космических аппаратов (МКА) массой до 1000 кг к двигательной установке (ДУ) предъявляются особые требования по обеспечению повышенной манёвренности и поддержания полёта на низких орбитах в условиях аэродинамического торможения в течение длительного периода

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № \_\_\_\_\_  
23 11 2018

времени. При этом необходимо учитывать, что данный класс МКА имеет ограниченные ресурсы по энергетике. Поставленную задачу можно решить, используя двигательные установки на базе абляционного импульсного плазменного двигателя (АИПД), обеспечивающего удельный импульс тяги до 15 км/с и суммарный импульс тяги до 40 кН·с.

Настоящая работа посвящена исследованию новых перспективных схем абляционного импульсного плазменного двигателя и процесса ускорения плазмы с целью увеличения удельного импульса тяги и, как следствие, тягового КПД. Актуальность диссертационной работы определяется необходимостью в проведении таких исследований, направленных на повышение удельных характеристик АИПД.

В рамках диссертационной работы автором экспериментально исследованы три новые схемы АИПД, выполнен сравнительный теоретический анализ схемы с двойным обратным токоподводом, а также проведён ряд экспериментов по диагностике процессов развития разряда.

### **Содержание работы**

Текст диссертационной работы Нечаева И.Л. состоит из: введения, четырёх глав, заключения, а также списка литературы, содержащего 69 наименований. Текст достаточно проиллюстрирован схемами, графиками и фотографиями.

Во введении автором рассмотрена актуальность темы диссертации, перечисляются объект и предмет исследования, ставится цель и задачи исследования.

Первая глава посвящена состоянию разработки и применения АИПД, принципам и особенностям его работы. Приводится сравнение с другими типами электроракетных двигателей (ЭРД).

Во второй главе рассматриваются тенденции и перспективные направления развития АИПД. Автором проанализирована структура

массы АИПД на примере конструкции лётного образца, оценены возможности улучшения удельных характеристик. Рассматриваются способы повышения удельного импульса тяги и КПД в АИПД современных конструкций.

В третьей главе проведено исследование характеристик АИПД с асимметричным исполнением разрядного канала. Дано описание лабораторного стенда и экспериментального оборудования. Проведена оценка погрешности и достоверности полученных экспериментальных результатов. Получены параметры базового варианта двигателя. Приведены экспериментальные характеристики лабораторной модели АИПД с асимметричным разрядным каналом, а также представлена фотодиагностика данной модели.

В четвёртой главе приводятся основные результаты исследования модели АИПД с двойным обратным токоподводом и модели с двухступенчатой системой ускорения, имеющей один общий электрод для обеих ступеней. Представлен расчётный анализ процессов, происходящих в АИПД с усовершенствованными токоподводами. Проведена магнитозондовая диагностика. Показан положительный эффект применения двойного обратного токоподвода. Полученные результаты исследования лабораторной модели АИПД двухступенчатой схемы показали перспективность этого направления развития АИПД.

В заключение приводятся основные результаты и выводы диссертационной работы.

### **Новизна исследований и полученных результатов**

Научная новизна работы состоит в том, что автором предложены три новые схемы АИПД: с асимметричным разрядным каналом, с двойным обратным токоподводом и двухступенчатая схема АИПД имеющая один общий электрод для обеих ступеней. Также поставлен ряд экспериментов по фотодиагностике процесса развития разряда для модели с асимметричным разрядным каналом.

Для модели с двойным обратным токоподводом проведена магнитозондовая диагностика, позволившая объяснить факт повышения ее удельных характеристик.

#### **Достоверность основных положений, выносимых на защиту**

Обоснованность научных положений, достоверность результатов исследований и положений, выносимых на защиту, определяется корректностью применения исследовательской аппаратуры, проведением эксперимента на сертифицированном оборудовании и условиями проведения экспериментов. Достоверность полученных в ходе экспериментов данных в целом была обоснована повторяемостью регистрируемых параметров.

#### **Практическая значимость полученных автором результатов**

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные автором экспериментальные результаты могут быть использованы для создания на основе полученных лабораторных моделей образцов лётных ДУ на базе АИПД для конкретных МКА. Также полученные теоретические и практические результаты работы могут быть применены для создания и верификации численных моделей, описывающих процессы развития разряда в двигателях подобного типа, и в качестве практических материалов для профильных ВУЗов.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты диссертационной работы И.Л. Нечаева рекомендуется использовать в научной и производственной деятельности таких предприятий, как 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.

#### **Соответствие специальности**

Диссертационная работа посвящена исследованию новых схем АИПД с повышенными характеристиками и соответствует специальности 05.07.05 — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Автореферат работы адекватно отражает её основное содержание, научную новизну, выводы и другие ключевые элементы. Основные результаты диссертации изложены в 15 публикациях, в том числе в трех научных статьях журналов, рекомендованных ВАК, а также двух патентах на изобретение.

### **Замечания по диссертационной работе**

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.

### **Общие выводы**

Оценивая диссертацию Нечаева И.Л. в целом, можно заключить, что она выполнена на высоком научном уровне, проведённые исследования отличается практической направленностью. Материал изложен грамотным техническим языком, четко отражён личный вклад автора в результат исследования. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой.

Отмеченные недостатки не влияют на общее хорошее

впечатление от работы.

По своему содержанию и полученным результатам работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёной степени», а её автор, Нечаев Иван Леонидович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв составлен на основе изучения диссертации и автореферата. Отзыв рассмотрен и единогласно утверждён на заседании научно-технического совета 12.11.2018 г., протокол №11-11-2018с1.

Отзыв составили

Главный конструктор,  
кандидат технических наук



Козубский К.Н.

Ведущий научный сотрудник  
отдела № 301, кандидат технических наук



Нестеренко А.Н.

Ученый секретарь НТС ОКБ «Факел



А.Г. Нятин

Подписи К.Н. Козубского и А.Н. Нестеренко удостоверяю

Начальник общего отдела



Л.Г. Шевченко

Официальное название: Федеральное государственное унитарное предприятие «Опытное конструкторское бюро «Факел» (ФГУП «ОКБ «Факел»).

Почтовый адрес: 236001, г. Калининград, Московский проспект, 181

Телефон: 8-(4012) 55-67-00, Факс: 8-(4012) 538-472

Электронная почта: [info@fakel-russia.com](mailto:info@fakel-russia.com)