



Государственная корпорация  
по космической деятельности «Роскосмос»



Акционерное общество  
«Центральный научно-исследовательский институт  
машиностроения» (АО «ЦНИИМаш»)

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22  
г.о. Королёв,  
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951  
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsniimash.ru  
http://www.tsniimash.ru

ОГРН 1195081054310  
ИНН/КПП 5018200994 / 501801001

17.11.2021 исх. № ВХ-21046  
исх. № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председателю диссертационного  
совета Д 212.125.08 на базе  
Московского авиационного института  
(национального исследовательского  
университета)  
доктору технических наук, профессору  
Равиковичу Ю.А.

Уважаемый Юрий Александрович!

В ответ на Ваш исх. от 10.11.2021 № 010/1432-1 высылаю Вам отзыв ведущей организации АО «ЦНИИМаш» на диссертацию Богатого Александра Владимировича на тему «Электромагнитный абляционный импульсный плазменный двигатель для малых космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», а также вышеуказанную диссертацию.

Приложения: 1. Отзыв ведущей организации на 5 л. в 2 экз.  
2. Диссертация, 1 книга.

Генеральный конструктор по автоматическим  
космическим системам и комплексам –  
заместитель генерального директора

В.В. Хартов

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

« 30 11 2021 г. »

Исп.: Головин Алексей Сергеевич  
Тел.: +7(495)513-5629  
+7(965)165-9351

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор по автоматическим  
космическим системам и комплексам –  
заместитель генерального директора  
доктор технических наук, профессор



В.В. Хартов

« 15 » 11 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ - акционерного общества  
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» на  
диссертацию Богатого Александра Владимировича «Электромагнитный  
абляционный импульсный плазменный двигатель для малых космических  
аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные  
двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Целью диссертационной работы Богатого Александра Владимировича  
является повышение тягово-энергетических характеристик и снижение  
карбонизации аблируемых поверхностей рабочего тела электромагнитного  
абляционного импульсного плазменного двигателя (АИПД).

В соответствии с целью диссертации были поставлены и решены  
следующие задачи:

- выполнить экспериментальные и расчетно-теоретические  
исследования начальной стадии электрического разряда, тягово-  
энергетических характеристик и рабочих процессов электромагнитного  
АИПД,

- выполнить экспериментальные исследования условий возникновения  
карбонизации аблируемых поверхностей рабочего тела электромагнитного  
АИПД и разработать решения, предотвращающие их карбонизацию, а также  
повышающие тягово-энергетические характеристики электромагнитного  
АИПД,

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

« 30 » 11 20 21 г.

- получить экспериментальное подтверждение предотвращения карбонизации аблируемых поверхностей рабочего тела и повышения тягово-энергетических характеристик электромагнитных АИПД.

**Актуальность** диссертационной работы А.В. Богатого определяется тем, что в настоящее время, в мире, наблюдается значительный рост использования малых космических аппаратов (МКА) массой менее 500 кг в космическом пространстве. При этом многие МКА данного класса оснащаются электроракетными двигательными установками (ЭРДУ), которые расширяют их возможности. Примерами могут быть космические аппараты (КА) группировок OneWeb и Starlink. В ближайшей перспективе оснащение КА двигательными установками может стать обязательным, в обеспечение гарантированного сведения КА с орбиты после окончания срока активного существования, для предотвращения образования космического мусора. Если в составе КА массой более 100 кг успешно применяются стационарные плазменные двигатели, то для КА массой менее 100 кг или для КА малой энерговооруженности оптимально, с точки зрения массы электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) и ее мощности, применение абляционных импульсных плазменных двигателей (АИПД). Именно повышению тягово-энергетических характеристик и улучшению рабочего процесса в АИПД посвящена диссертация А.В. Богатого.

Проведенные исследования являются **новыми**, а результаты, выносимые автором на защиту, впервые получены лично автором и **научная новизна** их также не вызывает сомнений. В частности, соискателем впервые:

- установлен характер влияния предпробойных («темновых») процессов начальной стадии электрического разряда на его развитие и форму аблируемых поверхностей рабочего тела электромагнитных АИПД, а также разработана математическая модель темновой стадии разряда электромагнитного АИПД;

- разработан способ борьбы с карбонизацией и способ повышения тягово-энергетических характеристик электромагнитных АИПД посредством

изменения в процессе работы расстояния между аблируемыми поверхностями рабочего тела;

- разработана и реализована геометрия разрядного канала, позволяющая предотвратить карбонизацию аблируемых поверхностей рабочего тела и обеспечивающая повышение тягово-энергетических характеристик электромагнитных АИПД.

**Достоверность** представленных автором расчетных и экспериментальных данных подтверждена обоснованным выбором существующих методик измерений и физико-математических моделей рабочих процессов, соответствием измеренных характеристик расчетным значениям, согласованностью полученных результатов с предположениями, опубликованными в научной литературе и успешной реализацией в составе разработанных ЭРДУ на основе АИПД-250 и АИПД-95.

**Практическая значимость результатов диссертации и рекомендации по их использованию**

Полученные в диссертационной работе результаты позволят повысить тяговые характеристики и поднять надежность АИПД, что, соответственно, повысит вероятность использования данного типа двигателей на перспективных космических аппаратах. Результаты диссертационной работы были использованы при разработке и создании ЭРДУ на основе АИПД-250 и КДУ на основе АИПД-95 для космического аппарата «Ионосфера», что доказывает **практическую значимость** проведенных исследований.

Результаты диссертации А.В. Богатого могут быть полезны для организаций-разработчиков малых КА: АО «РКЦ «Прогресс», АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнева», АО «Корпорация «ВНИИЭМ», АО «НПО Лавочкина», а также ведущих научных организаций, занимающихся разработкой и исследованиями электроракетных двигателей: АО ГНЦ «Центр Келдыша» и АО «ОКБ «Факел».

### **Соответствие специальности**

Диссертационная работа посвящена исследованию начальной стадии развития электрического разряда в АИПД, ее влиянию на геометрию разрядного канала, а также исследованию тягово-энергетических характеристик АИПД и соответствует специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

### **Замечание по диссертационной работе**

Несмотря на большой объем работы и детальное исследование рабочего процесса в разрядном канале абляционного импульсного плазменного двигателя, в диссертационной работе не приведены исследования влияния плазмы и продуктов абляции рабочего вещества (фторопласт – 4) такого двигателя на элементы и системы малого космического аппарата.

Указанное замечание имеет рекомендательный характер и не сказывается на общей оценке качества работы. Принципиальных замечаний по существу работы нет.

### **Заключение**

Рассматриваемая диссертация представляет собой законченный, выполненный на высоком уровне научный труд, содержит результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью. Выводы достоверны и основаны на большом фактическом материале. Все основные защищаемые положения отражены в публикациях. Работа в целом и библиография, в частности, свидетельствуют о широком научном кругозоре и высоком уровне компетентности автора в рассматриваемой предметной области.

Диссертационная работа представляет собой научно-квалификационную работу, в которой предложены решения ряда научных задач, благодаря которым возможно повышение эффективности АИПД и расширение области их применения на КА, что, безусловно, имеет значение для ракетно-космической отрасли. Эта диссертация удовлетворяет всем

критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор – Богатый Александр Владимирович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки).

Диссертация обсуждена и одобрен на заседании секции 10 НТС Центра автоматических космических систем и комплексов АО «ЦНИИмаш» (протокол решения НТС от 15 ноября 2021 г., № 11).

Заместитель начальника Центра  
автоматических космических  
систем и комплексов,  
кандидат технических наук



15.11.21г.

Е.М. Твердохлебова

Ведущий научный сотрудник отдела 12003  
«Двигательные установки средств  
выведения и космических аппаратов»,  
кандидат технических наук



А.В. Пильников

Заместитель начальника отделения -  
начальник отдела 10401 «Технологии  
создания ключевых элементов служебных  
систем АКСК и технологий обеспечения  
стойкости к ВВФ



А.А. Сизов

Сведения о ведущей организации:

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»

Почтовый индекс, адрес организации: 141070, Московская область, г.о. Королев, ул. Пионерская, д. 4, корп. 22

Телефон: +7(495) 513-59-51

Адрес электронной почты: corp@tsniimash.ru

Веб-сайт: <https://tsniimash.ru>

С оизвом орденами 02.12.2021. АЗБ /А.В. Богатый/