

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Богатый Александр Владимирович

Тема диссертации: Электромагнитный абляционный импульсный плазменный двигатель для малых космических аппаратов

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 23 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи повышения тягово-энергетических характеристик и надежности электромагнитных АИПД за счёт предотвращения карбонизации аблируемых поверхностей плазмообразующего вещества, имеющей значение для космического двигателестроения, присудить Богатому А.В. учёную степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Равикович Юрий Александрович., заместитель председателя диссертационного совета д. техн.наук, ст. научный сотрудник Агульник Алексей Борисович, ученый секретарь д. техн.наук, профессор Зуев Юрий Владимирович, члены диссертационного совета: д. техн.наук, профессор Абашев Виктор Михайлович, д. техн.наук, профессор Демидов Анатолий Семенович, д. техн.наук, ст. научный сотрудник Кочетков Юрий Михайлович, д. техн.наук, доцент Краев Вячеслав Михайлович, д. техн.наук, профессор Кулешов Николай Васильевич, д. техн.наук, профессор Лесневский Леонид Николаевич, д. техн.наук, доцент Молчанов Александр Михайлович, д. техн.наук Надирадзе Андрей Борисович, д. техн.наук, профессор Назаренко Игорь Петрович, д. техн.наук, профессор Ненарокомов Алексей Владимирович, д. техн.наук, профессор Никитин Петр Васильевич, д. техн.наук, академик РАН Попов Гарри Алексеевич, д. техн.наук, доцент Силуянова Марина Владимировна, д. техн.наук, профессор Тазетдинов Рустем Галятдинович, д. техн.наук Тимушев Сергей Федорович, д. техн.наук, профессор Хартов Сергей Анатольевич.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.08, д.т.н., профессор

Ю.В. Зуев



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 УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.12.2021 г. №24

О присуждении Богатому Александру Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Электромагнитный абляционный импульсный плазменный двигатель для малых космических аппаратов» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 20.10.2021 (протокол заседания №16) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ о создании диссертационного совета – №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Богатый Александр Владимирович, 13.11.1984 года рождения, работает старшим научным сотрудником в федеральном

государственном бюджетном учреждении высшего образования «Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2007 году соискатель окончил с отличием Московский авиационный институт (государственный технический университет). В 2010 г. окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена в «Научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики» федерального государственного бюджетного 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 учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», «Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики», директор.

Официальные оппоненты:

Семёнкин Александр Вениаминович, доктор технических наук, доцент, акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», заместитель генерального директора по космическим аппаратам и энергетике;

Казеев Михаил Николаевич, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», начальник лаборатории; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», Московская область, г.

Королёв, в своём положительном отзыве, подписанном Твердохлебовой Е.М., кандидатом технических наук, заместителем начальника Центра автоматических систем и комплексов, Пильниковым А.В., кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником отдела 12003 «Двигательные установки средств выведения и космических аппаратов», Сизовым А.А., заместителем начальника отделения – начальником отдела 10401 «Технологии создания ключевых элементов служебных систем АКСК и технологии обеспечения стойкости к ВВФ» и утверждённом Хартовым В.В., доктором технических наук, профессором, генеральным конструктором по автоматическим космическим системам и комплексам – заместителем генерального директора указала, что полученные в диссертационной работе А.В. Богатого результаты имеют практическую значимость, что подтверждается их использованием при разработке и создании электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) на основе АИПД-250 и корректирующей двигательной установки (КДУ) на основе АИПД-95 для космического аппарата «Ионосфера». Улучшение тяговых характеристик и надежности АИПД повысит вероятность использования данного типа двигателей на перспективных космических аппаратах. Результаты диссертации 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». 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).

Соискатель имеет 48 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, общим объёмом 11,4 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 15 работ. Из 17 публикаций соискателя: 15 – статьи в научных изданиях, 2 – патенты на изобретения. Все работы опубликованы в соавторстве.

Данные публикации посвящены проблемам создания и применения электроракетных двигательных установок для малых космических аппаратов. В них рассматриваются особенности применения таких двигателей в составе систем управления движением малых космических аппаратов, физические процессы, происходящих в разрядном канале абляционного импульсного плазменного двигателя (АИПД), проблемы, возникающие при проведении исследовательских испытаниях, в частности достоверное измерение средней тяги, создаваемой АИПД, и пути их решения.

Авторский вклад соискателя заключается в разработке и подготовке экспериментальных образцов электромагнитных АИПД, проведении исследовательских испытаний, обработке и анализе результатов экспериментов. Автором лично была разработана геометрия разрядного канала электромагнитного АИПД, препятствующая карбонизации его рабочих поверхностей, и позволившая повысить тягово-энергетические характеристики, разработан способ управления характеристиками АИПД в процессе его работы, проведены численные расчёты и проанализированы их результаты в части сравнения с экспериментальными данными.

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

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Антипов А.А., Богатый А.В. Моделирование движения заряженных частиц в абляционном импульсном плазменном двигателе в начальной стадии разряда // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2017. № 3. С. 42-49.

2. Antipov A.A., Bogatyu A.V., Semenov A.A. Investigation of the Initial Stage of the Discharge in an Ablative Pulsed Plasma Thruster // Journal of Surface Investigation X-ray Synchrotron and Neutron Techniques. 2018. 12(5). p. 1037–1040. doi:10.1134/S1027451018050208.

3. Bogatyi A.V., Semenikhin S.A. Selection of the Thrust Measurement System for a Pulsed Plasma Thruster // XLIV ACADEMIC SPACE CONFERENCE: AIP Conference Proceedings. 2021. 2318, 040008. doi:10.1063/5.0035783.

4. Bogatyi A.V., Semenikhin S.A. Carburization of the Working Surfaces of Bars of a Plasma Pulse Source // Journal of Surface Investigation X-ray Synchrotron and Neutron Techniques. V. 15(1). P. 89-93. doi: 10.1134/S1027451021010067.

5. Пат. на изобретение 2452142 С1 Российская Федерация, МПК H05H 1/54, F03H 1/00, Способ работы импульсного плазменного ускорителя / Богатый А.В., Дьяконов Г.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования" Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)" (RU). — № 2010149145/07; заявл. 02.12.2010; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15.

6. Пат. на изобретение 2516011 С1 Российская Федерация, МПК F03H 1/00, H05H 1/54, Эрозионный импульсный плазменный ускоритель / Богатый А.В., Дьяконов Г.А., Попов Г.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования" Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)" (RU). — № 2012147328/07; заявл. 08.11.2012; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Семёнкина А.В., доктора технических наук, доцента, содержит замечания:

1. При анализе работы тягоизмерительного устройства (ТИУ) маятникового типа сформулированы две задачи, требующие анализа с помощью предложенной автором аналитической модели:

- корректность калибровки тягомера, измеряющего среднюю тягу импульсного двигателя, постоянным усилием;
- влияние вязкости демпфера.

Однако в тексте диссертации не приведен подробный анализ особенностей калибровки ТИУ, измеряющего тягу импульсного двигателя, постоянным калибровочным усилием.

2. В диссертации не приведено детального описания электрической схемы двигательной установки с АИПД, в том числе, с указанием характеристик кабельной сети.

3. Автором не приведена оценка области возможного использования разработанных им рекомендаций для АИПД различной мощности.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Казеева М.Н., кандидата физико-математических наук, содержит замечания:

1. При разработке тягоизмерительного устройства не рассмотрен способ калибровки импульсными воздействиями и не приведено обоснование выбора типа используемой калибровки.
2. Приведены данные об исследованиях оптическими и магнитозондовыми методами разряда АИПД, но повторные исследования после внедрения разработанных технических решений не проводились.
3. В работе не проводились физико-химические исследования углеродных образований, которые могли бы также способствовать

пониманию процесса карбонизации и разработке способов борьбы с этим явлением.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» содержит замечание: несмотря на большой объем работы и детальное исследование рабочего процесса в разрядном канале абляционного импульсного плазменного двигателя, в диссертационной работе не приведены исследования плазмы и продуктов абляции рабочего вещества (фторопласт-4) такого двигателя на элементы и системы малого космического аппарата.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Опытное конструкторское бюро «ФАКЕЛ», составленный Нестеренко А.Н., кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником, и утвержденный Приданниковым С.Ю., кандидатом технических наук, и.о. генерального конструктора, содержит замечание: «отсутствует пояснение, почему эффективный удельный импульс отличается от удельного импульса тяги почти на порядок».

Отзыв на автореферат диссертации Титова М.Ю., кандидата технических наук, начальника сектора проектирования ЭРДУ публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», содержит следующие замечания: в автореферате не продемонстрированы математическая модель и результаты математического моделирования тягоизмерительного устройства, также не приведена математическая модель начальной стадии разряда.

Отзыв на автореферат диссертации Ткаченко И.С., кандидата технических наук, доцента, исполнительного директора института авиационной и ракетно-космической техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», содержит следующие замечания:

- среди заявленных автором результатов называется математическая модель темновой стадии разряда электромагнитного АИПД, однако в тексте автореферата эта модель не представлена совсем, поэтому оценить сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований не представляется возможным;

- структура диссертационной работы в автореферате представлена неравномерно, в частности второй главе диссертации уделен лишь один абзац;

- в тексте автореферата присутствуют качественные, близкие к умозрительным, заключения автора о полученных результатах (например, «на рис.2 показано достаточно хорошее совпадение...», «из табл. 1 следует, что при приблизительно той же энергии...»), что не характерно для технических наук.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения», Кабанова В.А., заместителя начальника отдела, Новикова А.Е., кандидата технических наук, заместителя начальника ЦКБМ – начальника отделения содержит замечания:

- для оптических и магнитозондовых исследований следовало бы привести графические результаты для более наглядного понимания результатов, полученных в эксперименте;

- в содержании второй главы лишь упомянуты разработка тягоизмерительного устройства и его математической модели, при этом не приведены подробные данные.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, составленный Юдиным А.Д., кандидатом технических наук, инженером-конструктором, Сыроевым В.К., доктором технических наук, начальником отдела, утвержденный Шевченко С.Н., доктором технических наук, заместителем генерального директора по научной работе, профессором, содержит следующие замечания:

1. Отсутствуют данные по материалам разрядного канала и в целом не приведены данные по материалам.

2. Приведено много ссылок на измеряемые параметры, но не приведены графики (таблицы) взаимозависимостей этих параметров.

3. Отсутствие данных о точности измерений для всех указанных параметров.

4. Есть некоторые стилистические «недоразумения», например, на стр. 19 написано «Диссертация выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации...», но, наверное, всё-таки «диссертационные исследования выполнены при поддержке гранта Правительства Российской Федерации...».

Отзыв на автореферат диссертации Исаева В.И., кандидата технических наук, начальника лаборатории акционерного общества «Научно-исследовательский институт электромеханики», содержит замечание: «следует отметить, что увеличение суммарного импульса тяги в АИПД-95 произошло не только благодаря разработанной форме разрядного канала, но и из-за увеличения количества рабочего тела путём увеличения поперечного сечения шашек; по тексту автореферата отсутствует расшифровка сокращения «ТИУ», в автореферате диссертационной работы очень сжато представлено содержание второй главы, в содержании третьей главы содержится упоминание о разработанной математической модели движения заряженных частиц на начальной стадии разряда в канале АИПД, однако непосредственно математическая модель не представлена, что не позволяет оценить достоверность приведённых на Рис. 2 данных.

Отзыв на автореферат диссертации Майоровой В.И., доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный технический университет)», содержит одно замечание:

содержание первой и второй глав представлено очень сжато, что не даёт достаточного представления об объеме выполненных исследований.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Богатого А.В., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Первый оппонент – Семёнкин Александр Вениаминович, доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора по космическим аппаратам и энергетике – начальник отделения 3 федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша». Оппонент является высококвалифицированным специалистом в области разработки и создания электроракетных двигательных установок и энергетических систем космических аппаратов. Сертифицированный эксперт Системы сертификации космической техники. Помимо основной работы он является заведующим кафедрой «Плазменные энергетические установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Награжден правительственными наградами и отраслевыми знаками отличия. Автор 80 научных работ и изобретений, запатентованных в России и США. Всё перечисленное позволяет Семёнкину А.В. в полной мере оценить диссертационную работу Богатого А.В.

Второй оппонент – Казеев Михаил Николаевич – кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории Курчатовского комплекса физико-химических технологий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». Оппонент внес большой вклад в развитие и создание импульсных плазменных ускорителей и электроракетных двигателей на их основе. Им был разработан ряд физико-математических моделей, описывающих процесс ускорения импульсной плазмы. Оппонентом опубликованы работы посвященные исследованию рабочих процессов в импульсных плазменных

ускорителях и взаимодействию импульсной плазмы с поверхностью. Казеев М.Н. является специалистом в области импульсных плазменных ускорителей и электроракетных двигателей, что в полной мере позволяет ему оценить диссертационную работу Богатого А.В.

Выбор ведущей организации – акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» – обоснован тем, что ЦНИИмаш, являясь головным предприятием Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», обладает высококвалифицированными специалистами, в том числе составившими отзыв на диссертацию, в области электроракетных двигательных установок с большим опытом экспериментального и расчётно-теоретического изучения рабочих процессов электроракетных двигателей. ЦНИИмаш – крупнейший научно-исследовательский космический центр страны, принимает участие в создании практически всех ракет и ракет-носителей, пилотируемых и автоматических космических аппаратов, осуществляет комплексные научные исследования и экспериментальную отработку ракетно-космической техники, и, безусловно, обладает компетенцией, необходимой для обоснованной оценки актуальности темы диссертационного исследования, новизны, научной и практической значимости полученных результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана математическая модель начальной стадии развития разряда электромагнитного абляционного импульсного плазменного двигателя, позволяющая оценить влияние предпробойных процессов на динамику развития электрического разряда и форму аблируемых поверхностей рабочего тела данного двигателя,

- предложен способ борьбы с карбонизацией аблируемых поверхностей рабочего тела и повышения тягово-энергетических характеристик электромагнитных абляционных импульсных плазменных двигателей посредством изменения в процессе

работы расстояния между аблируемыми поверхностями плазмообразующего вещества,

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

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- применительно к рассматриваемой в диссертационной работе проблеме результативно использована система уравнений, описывающая движение электронов на начальной стадии разряда в разрядном канале электромагнитного АИПД,

- установлено на основании расчётов математической модели, что угол развития искровой и дуговой стадий разряда зависит от траектории движения электронов на начальной стадии разряда,

- изучена связь возникновения углеродных образований на поверхностях рабочего тела электромагнитного АИПД с геометрией его разрядного канала,

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

- разработаны и внедрены рекомендации по повышению характеристик АИПД и повышению надёжности его работы,

- сформулированные в работе рекомендации по формированию геометрии разрядного канала электроракетной двигательной установки АИПД-250 позволили в данном двигателе повысить удельный импульс тяги на 9% и снизить цену тяги на 4%,

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- исследовательские испытания проводились на аттестованных стендах с использованием сертифицированного оборудования, и с применением апробированных методик,

- теория построена на известных, проверяемых данных, и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации,

- установлено качественное совпадение результатов проведенных соискателем расчётно-теоретических и экспериментальных исследований;

Личный вклад соискателя состоит в:

– создании усовершенствованного тягоизмерительного устройства для АИПД со сниженным уровнем помех в регистрируемом сигнале;

– экспериментальном исследовании рабочих процессов АИПД и условий возникновения карбонизации на аблируемых поверхностях разрядного канала АИПД;

– проведении сравнения результатов компьютерного моделирования с результатами эксперимента;

– разработке способа борьбы с карбонизацией аблируемых поверхностей рабочего тела разрядного канала АИПД посредством их раздвижения в процессе работы,

– создании модернизированного разрядного канала электромагнитного АИПД, повышающего тягово-энергетические характеристики, и предотвращающего карбонизацию аблируемых поверхностей разрядного канала двигателя;

– разработке рекомендаций для модернизации ЭРДУ АИПД-250 и КДУ АИПД-95М, позволившие улучшить их характеристики.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, ставящих под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

Соискатель Богатый А.В. ответил обстоятельно и аргументированно на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 23.12.2021 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи повышения тягово-энергетических характеристик и надежности электромагнитных АИПД за счёт предотвращения карбонизации аблируемых поверхностей плазмообразующего вещества, имеющей значение

для космического двигателестроения, присудить Богатому А.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук, участвующих в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 19, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор




Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Зуев Юрий Владимирович

23 декабря 2021 года