

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Мадеев Сергей Викторович

Тема диссертации: Экспериментальное исследование электродов ионно-оптических систем ионных двигателей из перспективных углеродных материалов

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 22 марта 2021 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, отвечающую критериям, приведенным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, и принял решение присудить Мадееву Сергею Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

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

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 УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22.03.2021г. № 3

О присуждении Мадееву Сергею Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование электродов ионно-оптических систем ионных двигателей из перспективных углеродных материалов» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 28.12.2020 г. (протокол заседания № 20) диссертационным советом Д212.125.08, 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, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета - №105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Мадеев Сергей Викторович, 1989 года рождения, работает инженером второй категории в Государственном научном центре Российской Федерации – федеральном государственном унитарном предприятии «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша» Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

В 2012 году соискатель окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2020 году окончил аспирантуру Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша».

Диссертация выполнена в отделе электрофизики Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша» Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Ловцов Александр Сергеевич, Государственный научный центр Российской Федерации – федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша», отдел 120, начальник отдела.

Официальные оппоненты:

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

– Самойлов Владимир Маркович, доктор технических наук, акционерное общество «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит», управление научно-технического развития АО «НИИГрафит», начальник управления

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» в своем положительном отзыве, подписанном Твердохлебовой Е.М., кандидатом технических наук,

заместителем начальника Центра автоматических космических систем и комплексов, Сизовым А.А., заместителем начальника отделения – начальником отдела 10401, Куршаковым М.Ю., кандидатом физико-математических наук, заместителем начальника отдела 10401 и утвержденном Хартовым В.В., доктором технических наук, профессором, генеральным конструктором по автоматическим системам и комплексам – заместителем генерального директора, указала, что полученные в диссертационной работе результаты, открывают возможность использования плоских электродов из углерод-углеродных композиционных материалов для ионных двигателей средней мощности, что позволяет не только повысить ресурс двигателя, но также упростить технологию создания электродов и повысить стойкость электродов к стартовым вибрационным воздействиям. Использование в двигателях средней мощности электродов плоской формы вместо электродов сферической формы позволяет уменьшить угол расхождения ионного пучка, повышает тяговую эффективность двигателя и снижает воздействие ионного пучка на космический аппарат. Результаты диссертационной работы были использованы при разработке и создании ионно-оптических систем ионных двигателей ИД-200, ИД-200КР, что доказывает практическую значимость проведенных исследований.

Результаты и выводы диссертации С.В. Мадеева могут быть полезны для организаций-разработчиков КА: АО «РКЦ «Прогресс», АО «ИСС», АО «Корпорация «ВНИИЭМ», АО «НПО Лавочкина», ИАО «РКК «Энергия», АО «ВПК «НПО машиностроения», АО «КБ «Арсенал», а также научных организаций, занимающихся разработкой и исследованиями ионных двигателей: ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» и МАИ.

Диссертационная работа представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор – Мадеев Сергей Викторович – заслуживает присуждения ему ученой степени

кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки).

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ общим объемом 1,87 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы. Из 5 публикаций соискателя: 3 - статьи в научных журналах; 2 - тезисы докладов на научных конференциях. Все работы опубликованы в соавторстве. В них представлены результаты расчетных и экспериментальных исследований, проведенных при создании плоских электродов ионно-оптических систем (ИОС) ионных двигателей из углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ), обладающих повышенной стойкостью к вибрационным воздействиям. Авторский вклад соискателя заключается в проведении численного исследования по определению новой формы апертур, позволяющей повысить стойкость плоских электродов ИОС из УУКМ к вибрационным нагрузкам без ухудшения остальных эксплуатационных характеристик. Автором проведен анализ результатов исследования свойств новых композиционных материалов, по результатам которого были отобраны материалы для изготовления электродов. При непосредственном участии автора были подготовлены и проведены огневые и вибрационные испытания электродов ИОС из УУКМ с разными схемами армирования, а также их последующая обработка и анализ.

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

Наиболее значимые работы:

1. Мадеев С.В., Ловцов А.С., Лаптев И.Н., Ситников Н.Н. Определение эксплуатационных характеристик образцов конструкционных материалов из углерод-углеродного композита для электродов ионных двигателей // Композиты и наноструктуры. 2016. № 2. С. 140-150.

2. Shagayda A., Madeev S. Performance limits of ion extraction systems with

non-circular apertures // Review of Scientific Instruments. 2016. Vol. 87. Issue 4. Article 043301. DOI: 10.1063/1.4945565.

3. Madeev S., Selivanov M., Shagayda A., Lovtsov A. Experimental study of ion optics with square apertures for high-power ion thrusters // Review of Scientific Instruments. 2019. Vol. 90. Issue 4. Article 043302. DOI: 10.1063/1.5090590.

4. Madeev S.V., Lovtsov A.S., Selivanov M.Yu. Experimental studies of an ion optics system with improved mechanical strength // 7th the European Conference for Aeronautics and Space Science (EUCASS), Milan, Italy, June 03-06, 2017. URL: <https://www.eucass.eu/doi/EUCASS2017-139.pdf> (дата обращения 07.12.2020)

5. Мадеев С.В., Селиванов М.Ю., Шагайда А.А., Ловцов А.С., Бушуев С.В. Расчетно-экспериментальное определение коэффициента распыления углерод-углеродного композиционного материала по результатам ресурсных испытаний ионного двигателя ИД-200КР // Сб. тез. докл. 18-ой международной конф. «Авиация и космонавтика – 2019», 18-22 ноября 2019, Москва. – М.: МАИ, 2019. С. 61.

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

Отзыв на диссертацию ведущей организации - акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» содержит одно замечание:

При проведении автономных вибрационных испытаний использовались всего по одному образцу электродов каждого типа, что не позволяет провести статистическую оценку результатов вибрационных испытаний.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Ермошкина Юрия Михайловича, доктора технических наук, доцента содержит замечания:

1. В работе не проведен анализ влияния новой конструкции электродов на ресурсные характеристики двигателя и пробойные характеристики ИОС, что важно с учетом перспектив практического ионных двигателей.

2. В ходе сравнительного численного моделирования не показано влияние смещения отверстий ускоряющего электрода относительно отверстий эмиссионного электрода на эксплуатационные свойства ИОС.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Самойлова Владимира Марковича, доктора технических наук содержит замечания:

1. По кристаллической структуре матрица и наполнитель в УУКМ различаются достаточно сильно. В ходе оценки скоростей эрозии поверхностей УЭ следовало учесть возможные отличия в скоростях распыления матрицы и наполнителя.

2. Согласно представленному обзору, большинство исследований механических свойств композиционных материалов проводится изначально посредством моделирования перемещения с использованием микромеханических моделей, с последующей корректировкой коэффициентов демпфирования из результатов экспериментов. В настоящей работе подобные расчеты отсутствуют.

3. Не рассмотрена возможность применения других видов материалов, в частности карбидкремниевых, так как в настоящее время существуют аддитивные технологии, позволяющие получать изделия с сетчатой структурой, с большим количеством регулярных ячеек.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов», подписанный Ширяевым М.И., начальником лаборатории 521 и утвержденный Чунаевым В.Ю., генеральным директором, замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат диссертации Кралькиной Е.А., доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника кафедры Физической электроники отделения радиофизики физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» содержит замечания:

1. Отсутствие в ней анализа зависимости полученных результатов от атомного номера рабочего тела.

2. Отсутствие описания предположений, сделанных при расчетах оптимальной формы отверстий ИОС.

Отзыв на автореферат диссертации Клосса Ю.Ю., доктора физико-математических наук, начальника отделения моделирования физических процессов и прикладных технологий Курчатовского комплекса реабилитации и нераспространения федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» содержит замечания:

1. Из автореферата не следует, что переход к новой форме апертур не приводит к ухудшению прочих эксплуатационных свойств ионно-оптической системы.

2. Результаты вибрационных испытаний не подкреплены данными статистического исследования.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» Маринина С.Ю., начальника лаборатории отдела 20 и Геча В.Я., доктора технических наук, профессора, заместителя генерального директора по научной работе содержит замечания:

1. Не проведены исследования, указывающие количество сохранных нитей в перемычках между отверстиями.

2. В работе отсутствует исследование влияния на рабочий диапазон первеанса отклонения геометрии реальной формы апертур от расчетной.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Конструкторское бюро химавтоматики» Дронова П.А., кандидата технических наук, заместителя главного конструктора по ЭРД и перспективным энергоустановкам и Горохова В.Д., доктора технических наук, заместителя директора – главного конструктора содержит замечания:

1. Не приведены результаты измерений соосности отверстий на разных радиусах от оси двигателя.

2. Не представлены оценки стойкости электродов УУКМ с различными схемами армирования к низкоскоростным ударам.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» Салмина В.В., доктора технических наук, профессора заслуженного деятеля науки РФ, директора НИИ космического машиностроения и Четверикова А.С., кандидата технических наук, доцента кафедры космического машиностроения содержит одно замечание:

В автореферате указывается, что свидетельством повышения жёсткости эмиссионного электрода является повышение значения первой резонансной частоты и уменьшение амплитуды перемещения. Второй факт подтверждается графическим представлением результатов экспериментальных исследований (рисунок 7), а первый – в автореферате не подтвержден ничем, а только констатируется данный факт (стр. 18 автореферата).

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Композит» Богачева Е.А., кандидата технических наук, начальника отделения керамоматричных композитов и окислительностойких покрытий 0240 и Елакова А.Б., кандидата технических наук, начальника группы отдела керамоматричных композиционных материалов 0242 содержит замечания:

1. В требованиях к материалу УУКМ отсутствует необходимость достижения минимальной шероховатости поверхности и однородности

структуры, которые позволяют избежать электрических пробоев при минимизации межэлектродного зазора и способствуют снижению эрозионного уноса.

2. При выборе материала УУКМ автором не уделено достаточно внимания другим известным отечественным УУКМ с высокими механическими свойствами (прочность, жёсткость), а также с высокой эрозионной стойкостью и однородностью структуры.

3. Одной из задач диссертации является отработка технологии создания электродов из УУКМ (с.6). Однако, на с. 17 автореферата утверждается, что «... технология изготовления электродов не позволяет получить двух одинаковых заготовок: отличия в свойствах матрицы и неравномерности укладки армирующих углеродных нитей приводит к появлению локальных неоднородностей». Является ли в таком случае технология отработанной?

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», подписанный Галузинским В.А., инженером-конструктором отдела проектирования и конструирования двигательных установок и утвержденный Соколовым М.Б., кандидатом технических наук, заместителем Генерального директора по НИР, ОКР и пусковым услугам, содержит следующие замечания:

1. Недостаточно полно представлена экспериментальная часть исследований, что не позволяет оценить обоснованность выводов работы.

2. Отсутствует описание техпроцесса для работы с предлагаемыми электродами.

3. Отсутствуют конкретные значения тяг двигателей, упоминаемых в автореферате.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим.

Выбор Ермошкина Ю.М., доктора технических наук, начальника лаборатории проектирования и испытаний систем коррекции космических аппаратов в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах разработки и применения электроракетных двигательных установок в составе космических аппаратов. Ермошкин Ю.М. регулярно публикует статьи в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования. Является автором более 80 научных работ в области проектирования двигательных подсистем, разработки и применения электроракетных двигательных установок. Награжден медалью М.Ф. Решетнёва.

Выбор Самойлова В.М., доктора технических наук, начальника управления научно-технического развития АО «НИИГрафит», обосновывается его большим опытом в области экспериментальных исследований и расчетных исследований материалов на основе углерода, что подтверждается многочисленными публикациями в рецензируемых журналах и патентами. Самойлов В.М. является автором более 150 работ из которых 45 связаны с темой диссертации.

Выбор ведущей организации обоснован тем, что она, являясь головным научно-исследовательским институтом Госкорпорации «Роскосмос», представляет собой основной аналитический центр в области общесистемных исследований проблем развития ракетно-космической техники России, в том числе в области проектирования и разработки электроракетных двигателей. В ведущей организации проводятся работы по наземной экспериментальной отработке изделий ракетно-космической техники, а также проектно-поисковые исследования по созданию автоматических космических систем и комплексов. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают опытом проектирования и расчета параметров электроракетных двигателей различных типов. Это позволяет им оценить актуальность, научную новизну и практическую ценность результатов диссертации, а также сформировать рекомендации по

практическому использованию этих результатов для предприятий отрасли, занимающихся проектированием ионных двигателей.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– предложена новая конструкция плоских электродов ионно-оптической системы (ИОС) ионного двигателя из углерод-углеродных композиционных материалов, обеспечивающая повышение жёсткости электродов при сохранении остальных эксплуатационных характеристик;

– подобраны углерод-углеродные композиционные материалы, позволяющие создавать плоские электроды ионно-оптических систем ионных двигателей толщиной от 0,5 мм;

– отработана технология изготовления электродов и сформулированы требования к заготовкам из УУКМ для создания апертур заданной геометрии в электродах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- проведенные расчетные исследования рабочих диапазонов первеансов показали, что сужение рабочего диапазона первеанса в апертурах квадратной формы связано с формированием вблизи угловой части апертуры эмиссионного электрода группы слабо сфокусированных ионов, попадающих на ускоряющий электрод при повышении плотности тока.

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

- получены данные о плотности, пористости, теплопроводности и коэффициенте линейного температурного расширения новых композиционных материалов, которые могут быть использованы при проектировании новых перспективных ИОС из УУКМ;

- результаты, полученные в работе, были внедрены при проектировании, отработке и изготовлении ионных двигателей ИД-200, ИД-200 КР и ИД-200ПМ.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

- экспериментальные исследования проводились на аттестованном оборудовании по апробированным методикам;
- для проведения расчетных исследований использовался верифицированный программный продукт IOS-3D;
- установлено совпадение результатов расчетных и экспериментальных исследований рабочих диапазонов первеансов для ИОС с круглыми апертурами и ИОС новой конструкции с квадратными апертурами со скругленными углами.

Личный вклад соискателя состоит в:

- проведении расчетных исследований рабочих диапазонов первеансов ИОС с альтернативной формой апертур;
- проведении сравнительного анализа основных эксплуатационных характеристик традиционной и альтернативной ИОС;
- участии в проведении измерений и анализ свойств композиционных материалов;
- формировании требований к заготовкам из УУКМ;
- разработке методики и проведении автономных вибрационных испытаний электродов ИОС из УУКМ с различными схемами армирования;
- разработке методики и проведении экспериментальных исследований рабочих диапазонов первеансов ИОС с круглыми и квадратными апертурами со скругленными углами.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена задача повышения стойкости плоских электродов ионно-оптических систем ионных двигателей из углерод-углеродных композиционных

материалов к вибрационным нагрузкам без ухудшения прочих эксплуатационных характеристик, имеющая значение при создании перспективных образцов электроракетных двигателей. Данная диссертация, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, удовлетворяет всем критериям, приведенным в «Положении о присуждении учёных степеней».

На заседании 22 марта 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Мадееву С.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 18, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета



Равикович
Юрий Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Зуев
Юрий Владимирович

22 марта 2021 года