

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Машеров Павел Евгеньевич

Тема диссертации: «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя»

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 5 декабря 2016 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и принял решение присудить Машерову Павлу Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Зуев Ю.В., члены диссертационного совета:*

Абашев В.М., Агульник А.Б., Демидов А.С., Дзюбенко Б.В., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Мякочин А.С. Надирадзе А.Б. Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Светлов В.Г., Тазетдинов Р.Г., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д.212.125.08, д.т.н., профессор

Зуев Ю.В.

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

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 05.12.2016г. № 15

О присуждении Машерову Павлу Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 26.09.2016г., протокол №8 диссертационным советом Д 212.125.08 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ), 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - №2249-1460 от 02.11.2007г., об изменении состава диссертационного совета - №1986–540/1460 от 21.11.2008г., о продлении срока действия диссертационного совета - №1925-601 от 08.09.2009г., о соответствии диссертационного совета Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук - №105/нк от 11.04.2012г., об изменении состава диссертационного совета

№508/нк от 22.08.2012г., об изменении состава диссертационного совета - №548/нк от 06.10.2014г.

Соискатель Машеров Павел Евгеньевич 1989 года рождения работает младшим научным сотрудником в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ).

В 2012 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», в 2016 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ).

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

Научный руководитель – кандидат технических наук Рябый Валентин Анатольевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

- Кралькина Елена Александровна, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Физический факультет, кафедра физической электроники, ведущий научный сотрудник;

- Островский Валерий Георгиевич, кандидат технических наук, ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва», старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный Московской области в своем положительном заключении, подписанном Александровым Николаем Леонидовичем, доктором физико-математических наук, профессором, профессором кафедры прикладной физики МФТИ, Леоновым Алексеем Георгиевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой прикладной физики МФТИ и утверждённым проректором по научной работе и стратегическому развитию МФТИ, членом-корреспондентом РАН Аушевым Тагиром Абдул-Хамидовичем, отмечено, что диссертационную работу Машерова П.Е. характеризует высокий научный уровень, актуальность тематики, практическая значимость и новизна. Диссертационная работа Машерова П.Е. является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития ракетно-космической отрасли. Результаты диссертационной работы Машерова П.Е. могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях Роскосмоса, занимающихся производством ионных плазменных двигателей: ФГУП ОКБ «Факел», г. Калининград, АО КБ «Химавтоматики», г. Воронеж, ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва. А также, учитывая высокую однородность достигнутых параметров плазмы (концентрация и температура электронов) на предприятиях, занимающихся разработкой ионных источников различного назначения. Работа

в целом удовлетворяет требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Машеров Павел Евгеньевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 21 опубликованную работу общим объемом 15,97 печатных листа, все по теме диссертации; работ опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 10, патент РФ – 1, 2 работы опубликованы под авторством соискателя, остальные опубликованы в соавторстве. В работах излагается: разработка высокочастотного ионного источника с плоским индуктором, результаты локальных измерений параметров плазмы в газоразрядном пространстве данного устройства, метод диагностики интегральных характеристик газоразрядного узла, влияние размера первого зондодержателя цилиндрического зонда Ленгмюра на результаты измерений локальных параметров плазмы, расширения возможностей применения зондов Ленгмюра, способ и устройство для оценки ионного тока на эмиссионный электрод ионно-оптической системы ВЧ-ионного двигателя.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Машеров, П.Е. Влияние размера первого зондодержателя цилиндрического зонда Ленгмюра на результаты локальной диагностики плазмы / П.Е. Машеров // Вестник Московского авиационного института – 2016. – Т. 23. – № 2. – С.42-49.
2. Булаева, М.Н. Повышение точности зондовой диагностики плазмы / М.Н. Булаева, А.П. Кирпичников, И.В. Кравченко, Х.В. Лёб, П.Е. Машеров, В.А. Рябый, Д.П. Ткаченко // Вестник Казанского технологического университета – 2012. – Т.15. – № 18. – С. 69-73.
3. Рябый, В.А. Интегральная и локальная диагностики модели энергоэффективного ВЧ источника ионного пучка / В.А. Рябый, П.Е. Машеров // Известия академии наук. Энергетика – 2016. – № 2. – С. 46-57.

4. Рябый, В.А. Контрольные индикаторы энергоэффективности ВЧ индукционного газоразрядного узла / В.А. Рябый, П.Е. Машеров, В.А. Обухов, А.И. Могулкин // Известия академии наук. Энергетика – 2016. – № 3. – С. 70-81.
5. Рябый, В.А. Методика интегральной диагностики высокочастотного индукционного газоразрядного блока ионного двигателя / В.А. Рябый, В.А. Обухов, А.П. Кирпичников, П.Е. Машеров, А.И. Могулкин // Известия вузов. Авиационная техника – 2015. – № 4. – С. 82-86.
6. Masherov, P.E. Integral electrical characteristics and local plasma parameters of an RF ion thruster / P.E. Masherov, V.A. Godyak, V.A. Riaby // Review of Scientific Instruments – 2016. – Vol. 87. – Issue 2. – 08B926.
7. Masherov, P.E. Note: The Expansion of Possibilities for Plasma Probe Diagnostics / P.E. Masherov, V.A. Riaby, V.K. Abgaryan // Review of Scientific Instruments. – 2016. – Vol. 87. – № 056104.
8. Masherov, P.E. Note: Refined Possibilities for Plasma Probe Diagnostics / P.E. Masherov, V.A. Riaby, V.K. Abgaryan / Review of Scientific Instruments. – 2016. – Vol. 87. – 086106.
9. Riaby, V.A. On the objectivity of plasma diagnostics using Langmuir probes / V.A. Riaby, P.E. Masherov, V.A. Obukhov // High Voltage Engineering Journal. – 2012. – Vol. 38. – P. 790-793.
10. Riaby, V.A. Effectiveness of Radiofrequency Inductively Coupled Plasma Sources for Space Propulsion / V.A. Riaby, P.E. Masherov, V.A. Obukhov, V.P. Savinov // High Voltage Engineering Journal. – 2013. – Vol. 39. – №. 009. – P. 2077-2088.
11. Булаева, М.Н. Повышение точности зондовой диагностики плазмы / М.Н. Булаева, А.П. Кирпичников, И.В. Кравченко, Х.В. Лёб, П.Е. Машеров, В.А. Рябый, Д.П. Ткаченко // Труды Междунар. конф. «Плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы». – Казань: Изд. КНИТУ, 2012, С. 38-39.

- 12.Булаева, М.Н. Повышение точности зондовой диагностики плазмы / М.Н. Булаева, А.П. Кирпичников, И.В. Кравченко, Х.В. Лёб, П.Е. Машеров, В.А. Рябый, Д.П. Ткаченко // Актуальные проблемы российской космонавтики. Материалы 37-х акад. чтений по космонавтике., М.: изд. МГТУ им. Баумана, 2013, С.111.
- 13.Ryabyu, V. Decrease of Plasma Perturbations Caused by Langmuir Probes / V. Ryabyu, V. Obukhov, P. Masherov, V. Savinov // Proc. 21 Intern. Symp. on Plasma Chemistry, Cairns: Austr. Nat. Univ., 2013, report No.410.
- 14.Рябый В.А., Обухов В.А., Машеров П.Е., Кудрявцев А.В., Экспериментальное исследование эффективности лабораторной модели ВЧИД-200 в виде технологической установки RIM-20, 12-я междунар. конф. «Авиация и космонавтика-13», М.: изд. МАИ, 2013, С.342-344.
- 15.Рябый В.А., Булаева М.Н., Машеров П.Е., Моголкин А.И., Характеризация ВЧ индукционного газоразрядного узла ВЧ источника ионов, Труды Всероссийской (с международным участием) конф. «Физика низкотемпературной плазмы» ФНТП-2014 (Казань, май 2014). Казань: изд-во КНИТУ, т. 2, С. 342-346.
- 16.Рябый В.А., Обухов В.А., Машеров П.Е., Моголкин А.И., Сертификация технологического ВЧ индукционного источника ионов RIM-20, Труды 24-й Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела», М.: изд. Минобр РФ, 2014, С. 407-417.
- 17.Riaby, V.A. Integral diagnostics of an ICP discharge system / V.A. Riaby, V.A. Obukhov, P.E. Masherov, A.I. Mogulkin // Proc. 6th Int. Workshop and Summer School on Plasma Physics, Sofia: Sof. Univer., P.48.
- 18.Riaby, V.A. Integral diagnostics method characterizing gas discharge unit of an RF inductive ion thruster/ V.A. Riaby, V.A. Obukhov, P.E. Masherov, A.I. Mogulkin, V.V. Balashov // Proc. of the 34th Internat. Electric Propulsion Conf., Hyogo-Kobe, Japan – 2015 – rep. No. 450. – 7 p.

19. Masherov, P.E. Integral electrical characteristics and local plasma parameters of an RF ion thruster / P.E. Masherov, V.A. Godyak, V.A. Riaby // 16th Internat. Conf. on Ion Sources. Book of abstracts, New York City, USA: AIP – 2015 – TuePE12.
20. Riaby, V. Experimental determination of Bohm coefficients for cylindrical and plane Langmuir probes / V. Riaby, P. Masherov // Proc. VIIIth Intern. Conf. on Plasma Physics and Plasma Technology. Contributed papers, Minsk, Belarus – 2015 – P. 27-30.
21. Машеров, П.Е. Влияние относительного размера первого зондодержателя цилиндрического зонда Ленгмюра на результаты локальной диагностики плазмы/ П.Е. Машеров // Сборник тезисов 14-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика-2015» – М.: изд. МАИ, 2015, С. 137-139.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника кафедры физической электроники Физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Кралькиной Елены Александровны.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе выполнено сравнение баланса мощности в разрабатываемом диссертантом источнике ионов и источнике типа RIT. Внешняя цепь указанных источников содержит системы согласования разного вида. В связи с этим выполненное сравнение потерь ВЧ-мощности во внешней цепи представляется некорректным. Известно, что эффективность энерговклада в плазму с помощью того или иного узла ввода ВЧ-мощности характеризуется эквивалентным сопротивлением плазмы. Представляло бы большой интерес сравнение эквивалентного сопротивления плазмы, возбуждаемой планарной

антенной с ферритовым сердечником, с той же величиной, полученной при возбуждении индуктивного разряда соленоидальной антенной RIT.

2. Разработанная зондовая методика определения массы ионов может представлять интерес для диагностики плазмы сложных, химически активных газов. В диссертации отсутствует оценка погрешности метода, его чувствительности к изменению среднего массового состава ионной компоненты плазмы.

3. В работе присутствуют погрешности в оформлении диссертации, иногда курьезные. Так, в диссертации говорится об «электродинамике электрона».

4. В работе используется большое количество аббревиатур, затрудняющих чтение. Целесообразно было бы свести аббревиатуры в отдельный список и поместить их в начало работы.

Отзыв на диссертацию официального оппонента кандидата технических наук, старшего научного сотрудника ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва» Островского Валерия Георгиевича.

Замечания по диссертационной работе:

1. При описании результатов интегральной диагностики в части энергетической эффективности газоразрядного узла модели можно отметить, что КПД передачи ВЧ мощности в разряд до 0,92 отнесён к падающей ВЧ-мощности генератора. По отношению к электропитанию генератора в целом он составляет величину в 2 раза меньшую, равную 0,46 при точном согласовании генератора с нагрузкой (обеспечивает максимум передачи ВЧ мощности в разряд). Поэтому достигнутый в диссертации верхний предел КПД модели ВЧИИП равен 0,46, что важно для его привязки к сервисному космическому аппарату.

2. Текст диссертации не лишен грамматических ошибок.

Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (государственный университет)». Замечания по диссертации:

1. В обзорной части диссертации на стр. 20 в формуле (1.7) дано ошибочное выражение для длины релаксации энергии электронов в плазме высокого давления $\lambda_e = \lambda_e M_i / m_e$, которое на самом деле должно быть записано как $\lambda_e = \lambda_e (M_i / m_e)^{1/2}$.

2. На стр. 149 при описании результатов испытаний ионного пучка приведён диапазон оценки энергетической цены ионов 775-1000 Вт/А, но формула для её расчета отсутствует.

3. Не приведено обоснование применения пакета прикладных программ IGUN при достаточно низких ускоряющих напряжениях.

Отзыв на автореферат диссертации ФГУП «ОКБ «Факел», составленный кандидатом технических наук, главным конструктором направления К.Н. Козубским, ученым секретарем НТС «ОКБ «Факел», ведущим специалистом А.Г. Нятиным и утвержденный заместителем генерального конструктора А.И. Корякиным, содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. К сожалению, в автореферате не представлены количественные результаты сравнительного анализа эффективности предлагаемой технологии с другими технологиями, предлагаемыми для увода УКМ.

2. Приведенные в автореферате результаты не позволяют дать оценку по интегральным параметрам разработанного источника в целом, в частности, по току и энергии ионов, расходу и потребляемой мощности.

Отзыв на автореферат диссертации, составленный сотрудниками ГНЦ ФГУП «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»: кандидатом физико-математических наук, начальником отдела электрофизики Ловцовым Александром Сергеевичем и кандидатом физико-математических наук ведущим научным сотрудником, Шагайдой А.А., содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. В автореферате недостаточно полно освещены подходы и способы оптимизации конструкции, использованные при создании устройства ВЧИИП-10Ф, а также методика интегральной диагностики газоразрядного узла.

2. В ходе работ с ВЧИИП-10Ф получены значения цены иона в диапазоне 775 - 1000 Вт/А, что в 2 — 3 раза выше, чем в известных ионных двигателях аналогичного типоразмера (Т5, RIT-10, $\mu 10$). К сожалению, в автореферате причины столь низкой энергоэффективности ГРК не приводятся.

Отзыв на автореферат диссертации кандидата технических наук, главного научного сотрудника Центра нанотехнологий **НИИ "КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ имени А.А. МАКСИМОВА"** (филиал ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева" Вячеслава Александровича Кулакова содержит следующее замечание по содержанию работы:

Не понятен рисунок 7 на листе 18 автореферата. Не указаны размерности изолиний распыления стекла, а значения размерности поверхности стекла по осям x и y должны быть указаны в мм.

Отзыв на автореферат диссертации АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнёва», составленный доктором технических наук, профессором, главным ученым секретарём НТС Головёнкиным Е.Н., начальником отдела общего проектирования КА и систем Яковлевым А.В., начальником сектора системных анализов отдела общего проектирования КА Кирилловым В.А. и утверждённый доктором технических наук, членом-корреспондентом РАН, генеральным директором предприятия Тестоедовым Н.А. Отзыв содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. При описании результатов интегральной диагностики в части энергоэффективности газоразрядного узла модели желательно было бы отметить, что КПД передачи ВЧ мощности в разряд отнесен к падающей ВЧ-мощности генератора, а по отношению к электропитанию генератора в целом он составляет величину в два раза меньшую, при точном согласовании генератора с нагрузкой. Для привязки ВЧИИП к характеристикам сервисного КА именно это значение КПД является важным;

2. Диссертант, как специалист по электрореактивным двигателям, мог бы рассмотреть преимущества применения своей разработки в качестве ионного двигателя, что, например, было бы полезно для оценки возможности использования в качестве источника тяги для маневра возврата сервисного КА.

Отзыв на автореферат диссертации доктора технических наук, профессора, профессора кафедры Э-6 «Теплофизика» «Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета)» Хвесьюка Владимира Ивановича содержит следующие замечания по содержанию работы:

1) В автореферате отсутствует обоснование, почему выбран именно высокочастотный источник ионного пучка.

2) Из текста автореферата, к сожалению, неясно, что представляет техника снятия вольт - амперных характеристик электрических зондов. А это тем более важно, поскольку измерения проводились в условиях высокочастотного разряда.

Отзыв на автореферат диссертации доктора физ.-мат. наук, доцента кафедры полупроводников Отделения физики твердого тела Физического факультета «МГУ имени М.В. Ломоносова» Савинова Владимира Павловича содержит следующие замечания по содержанию работы:

1) При анализе процессов в разработанном источнике ионов не учитывалась емкостная составляющая индуктивного ВЧ разряда.

2) Название работы «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя» лучше представить в редакции «Разработка источника ионов для космических исследований на основе высокочастотного ионного двигателя».

Отзыв на автореферат диссертации кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, доцента кафедры физики ФГБОУ ВО «Московский технологического университета (МИРЭА)» Бишаева Андрея Михайловича содержит следующее замечание по содержанию работы:

1) Судя по автореферату, проведенное исследование включает в себя две части: разработку высокочастотного источника ионного пучка (ВЧИИП) и создание зондовой методики диагностики ВЧ-индукционного газоразрядного узла ВЧИИП. Из текста автореферата не ясно, какие результаты зондовой методики были использованы при разработке ВЧИИП.

Отзыв на автореферат диссертации кандидата технических наук, главного специалиста по ЭРД АО «Конструкторское бюро химавтоматики» Белогурова Альберта Ивановича содержит следующее замечание по содержанию работы:

Стоит отметить отсутствие оценки влияния цилиндрического участка ИОС, выполненного из металла, на ухудшение параметров системы.

Отзыв на автореферат диссертации доктора физ.-мат. наук, профессора, заведующего кафедрой интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами Казанского национального исследовательского технологического университета Кирпичникова Александра Петровича содержит одно замечание по содержанию работы:

Диссертант, как двигателю, мог бы также рассмотреть возможности и преимущества применения своей разработки в качестве ионного двигателя.

Отзыв на автореферат диссертации доктора технических наук, старшего научного сотрудника, ведущего инженера НТЦ «Нано- и микросистемная техника» НИУ МИЭТ Киреева В.Ю. содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. В название работы «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя», фигурирует объект под названием «ионный двигатель», тогда как в тексте автореферата не упоминается ни «ионный двигатель», ни его характеристики, например «удельная тяга».

2. На рис. 6, стр. 17 не указаны экспериментальные ошибки плотностей ионного тока на зонд при различных уровнях мощности

высокочастотного генератора.

3. На рис. 7, стр. 18 не указаны оси координат X и Y, в результате: во-первых, подписи по осям получились одинаковые, во-вторых, вместо «эрозия стекла» надо писать «глубина травления стекла ионным пучком» и в-третьих, не обозначены единицы измерения на цифрах около линий внутри рисунка, которые по догадке должны представлять собой линии равной глубины травления.

Отзыв на автореферат диссертации кандидата физ.-мат. наук, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией № 4.1.2 – электрофизики и плазменных процессов Научно-исследовательского центра электрофизики и тепловых процессов (НИЦ-4 ЭФТП) ОИВТ РАН Терешонка Дмитрия Викторовича и доктора физ.-мат. наук, ученого секретаря ОИВТ РАН Амирова Р.Х. содержит следующие замечания:

1) Диссертант приводит формула (2) для электронного тока. Данное выражение справедливо для разреженной плазмы, в которой размер слоя объёмного заряда намного меньше характерного линейного размера зонда (плоский случай). Автору следовало бы привести иерархию пространственных масштабов (длина свободного пробега, размер зонда, радиус Дебая) для удобства читателя.

2) Диссертант ничего не говорит о методе измерения ФРЭЭ. Данный вопрос является важным, так как сильное отклонение от ФРЭЭ делает невозможным применение выражения (2) для тока насыщения. Кроме того, классическое измерение ФРЭЭ представляет сложность, связанную с двукратным дифференцированием экспериментально измеренного тока, что дает большую погрешность. Если же автор использовал некие ухищрения, например, к постоянному напряжению добавлял небольшую гармоническую составляющую (в этом случае искомая вторая производная пропорциональна приросту тока), тогда об этом следовало бы упомянуть.

3) Диссертант использует измеренную ФРЭЭ для качественного и количественного анализа на предмет близости к функции распределения Максвелла. При этом не приводится критерий близости полученного распределения к максвелловскому.

4) Диссертант приводит выражение для толщины зондового слоя (стр.12). Для определения ионного тока насыщения обычно используют большой отрицательный потенциал, который может быть на порядок больше электронной температуры, чтобы ограничить электронный ток. В этом случае толщина ионного тока может сильно превосходить радиус Дебая, и оказаться одного порядка с характерным линейным размером зонда. Тогда интерпретация результатов отличается от плоского случая. Автору следовало бы привести соотношение полученных толщин слоя и характерного размера зонда.

Отзыв на автореферат диссертации доктора физ.-мат. наук, профессора, директора НИИЯФ МГУ Панасюка М.И. содержит следующие замечания по содержанию работы:

1) При описании результатов интегральной диагностики в части энергоэффективности газоразрядного узла модели желательно было бы отметить, что КПД передачи ВЧ мощности в разряд до 0,92 отнесён к падающей ВЧ-мощности генератора, а по отношению к электропитанию генератора в целом он составляет величину в 2 раза меньшую, равную 0,46 при точном согласовании генератора с нагрузкой (обеспечивает максимум передачи ВЧ мощности в разряд). Поэтому достигнутый в диссертации верхний предел КПД модели ВЧИИП равен 0,46, что важно для его привязки к сервисному космическому аппарату.

2) Автор отзыва отмечает отсутствие анализа приложений методики, разработанной диссертантом, в плане практического её использования, например, для ионных двигателей. Тем не менее, это может стать направлением дальнейшей масштабной работы Машерова П.Е.

Отзыв на автореферат диссертации АО «Красная Звезда», составленный кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, ведущим инженером-конструктором Ежовым Н.И., кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником Федоровым М.Ю. и утверждённый генеральным директором Федосеевым В.А., имеет следующее замечание:

К сожалению, отсутствует описание приведенной конструктивной схемы источника и принципа его действия.

Отзыв на автореферат диссертации АО «НПК «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» им. А.Г. Иософьяна» (АО «Корпорация ВНИИЭМ»), составленный доктором технических наук, начальником лаборатории В.В. Онуфриевым и утвержденный заместителем генерального директора по научной работе, доктором технических наук, профессором Геча В.Я. содержит следующие замечания:

1. Из материалов автореферата неизвестно время регистрации параметров плазмы с помощью зонда (диагностика проводится в ВЧ источнике) и как за это время могут измениться локальные параметры плазмы.

2. Желательно было бы привести вид ФРЭЭ, полученные экспериментально, так как именно её вид определяет применимость теории описания процессов и количественные оценки параметров разряда.

Отзыв на автореферат диссертации старшего научного сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» Веселовзорова Александра Николаевича замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат диссертации кандидата технических наук, старшего научного сотрудника Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной Академии Наук Беларуси Шараховского Леонида Ивановича замечаний не содержит.

Выбор официальных оппонентов обусловлен их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа, что подтверждается

публикациями по тематике исследования. Ведущая организация выбрана в соответствии с ее широко известными достижениями в области разработки ракетно-космической техники и способна определить научную и практическую ценность диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана конструкция лабораторной модели ВЧИИП-10Ф с усовершенствованными параметрами энергоэффективности системы генерации плазмы, отличающаяся повышенной пространственной однородностью плазмы за счет применения плоского индуктора, оснащенного ферритовым сердечником с высокой температурой Кюри;

разработан новый метод интегральной диагностики ВЧИ-газоразрядного узла, выявляющей физико-технический облик изделия, который позволил детализовать баланс мощности, выявлять слабые места конструкции и намечать пути для их совершенствования;

предложен способ оценки плотности ионного тока на эмиссионный электрод ионно-оптической системы ВЧИИП с помощью имитатора плоского пристеночного зонда;

доказана возможность создания источника ионного пучка малой расходимости на основе технологии высокочастотных ионных двигателей путем применения плоского индуктора с ферритовым сердечником и ионно-оптической системы со щелевыми отверстиями в плоских профилированных электродах.

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

разработаны и внедрены: способ определения плотности ионного тока на эмиссионный электрод ионно-оптической системы ВЧИД при помощи имитатора плоского зонда; способ определения толщины слоя объемного заряда и массы ионов рабочего тела при помощи зондов Ленгмюра в немаксвелловской плазме.

разработана технология, позволяющая на основе ВЧ-ионного двигателя получать малорасходящийся коллимированный клиновидный пучок ионов путем применения плоского индуктора с ферритовым сердечником и щелевых профилированных электродов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях, результаты получены на сертифицированном оборудовании;

идея базируется на анализе практики применения плоских индукторов в технологических установках, получении малорасходящихся ионных пучков с помощью щелевых ионно-оптических систем в термоядерных исследованиях, обобщении передового опыта диагностик локальных параметров плазмы и ВЧИ-разряде;

установлено качественное совпадение результатов работы с результатами независимых источников.

Личный вклад соискателя состоит в: создании лабораторной модели высокочастотного ионного источника с малыми углами расходимости ионного пучка и стенда для исследования его газоразрядного узла, методики интегральной характеристики газоразрядного узла ВЧИД, методики оценки толщины слоя объёмного заряда и массы ионов рабочего тела зондами Ленгмюра, проведении диагностики локальных параметров плазмы в ГРК путем зондовых измерений пространственных распределений фундаментальных параметров плазмы, получении безразмерного критерия влияния зондодержателя на точность измерений, разработке способа и устройства для оценки величины ионного тока на эмиссионный электрод ионно-оптической системы, создании стенда и проведении экспериментов с ионным пучком, подтверждающих клиновидную форму пучка и малые углы расходимости.

На заседании 05 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Машерову П.Е. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 19 , против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного

совета Д 212.125.08

д.т.н., профессор



Равикович

Юрий Александрович

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.125.08

д.т.н., профессор

05 декабря 2016 г.

Зуев

Юрий Владимирович