

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Нигматзянов Владислав Вадимович

Тема диссертации: Выбор параметров разрядной камеры высокочастотного ионного двигателя

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 11 декабря 2017 года диссертационный совет пришёл 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 Нигматзянову Владиславу Вадимовичу 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., Козлов А. А., Коротеев А. А., Кочетков Ю. М., Краев В. М., Лесневский Л. Н., Молчанов А. М., Мякочин А. С., Надирадзе А. Б., Назаренко И. П., Ненарокомов А. В., Никитин П. В., Попов Г. А., Силуянова М. В., Тазетдинов Р. Г., Тимушев С. Ф., Хартов С. А., Чванов В. К.

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

Зуев Ю.В.

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

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 11.12.2017г. № 36

О присуждении Нигматзянову Владиславу Вадимовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Выбор параметров разрядной камеры высокочастотного ионного двигателя» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 09.10.2017г. (протокол заседания №22) диссертационным советом Д 212.125.08 созданным 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., об изменении состава диссертационного совета - №1017/нк от 20.10.2017г.

В 2011 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)», в 2017 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Соискатель Нигматзянов Владислав Вадимович 1988 года рождения, работает заместителем начальника лаборатории высокочастотных ионных двигателей в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Хартов Сергей Анатольевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки», профессор.

Официальные оппоненты:

- Кралькина Елена Александровна, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени

М.В.Ломоносова», кафедра "Физическая электроника", ведущий научный сотрудник;

- Пильников Александр Васильевич, кандидат технических наук, федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», отдел 4101 «Научно-техническое сопровождение наземной экспериментальной отработки и летных испытаний двигательных установок», ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Государственный научный центр Российской Федерации федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Семёнкиным А.В., доктором технических наук, заместителем генерального директора по космическим аппаратам и энергетике – начальником отделения 3, Ловцовым А.С., кандидатом физико-математических наук, начальником отдела 120 и утвержденным Генеральным директором Кошлаковым В.В., указала, что диссертационную работу В.В. Нигматзянова характеризует актуальность тематики, практическая значимость и новизна. Диссертационная работа В.В. Нигматзянова представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Результаты диссертационной работы В.В. Нигматзянова рекомендуется использовать в научной и производственной деятельности таких предприятий, как ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», МАИ, занимающихся исследованиями и разработкой ионных двигателей. Работа соответствует требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Владислав Вадимович Нигматзянов заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 3,56 п.л. Из 13 работ 3 – статьи в рецензируемых научных

изданиях, два патента, 8 – тезисы докладов на научных конференциях. Все работы опубликованы в соавторстве. В работах приводится математическая модель связи параметров разрядной камеры с интегральными характеристиками двигателя, рассматривается влияние материала разрядной камеры на величину ионного тока и влияние конструкции индуктора и разрядной камеры на параметры высокочастотного ионного двигателя.

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

Наиболее значимые работы:

1. Канев С.В., Латышев Л.А., Нигматзянов В.В., Хартов С.А. Моделирование рабочего процесса в газоразрядной камере высокоточного ионного двигателя [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2012. № 52. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29483>.
2. Антипов Е.А., Балашов В.В., Нигматзянов В.В. и др. Выбор конструкционных материалов для высокочастотных ионных двигателей [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2013. № 65. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35964>.
3. Kanev, S.V. Analytical model of radio-frequency ion thruster / S.V. Kanev, S.A. Khartov, V.V. Nigmatzyanov // Procedia Engineering. – 2017. – V.185. – P. 31–38. / URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.287>.
4. Патент на полезную модель – №116273 РФ. Источник ионов / Нигматзянов В.В., Обухов В.А., Хартов С.А. и др.; Заявитель: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – №2011148979; Заяв. 02.12.2011; Опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14.
5. Патент на полезную модель – №158759 РФ. Ионно-плазменный двигатель / Гаврюшин В.М., Кожевников В.В., Нигматзянов В.В. и др.; Заявитель: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – № 2014142905; Заяв. 24.10.2014; Опубл. 20.01.2016, Бюл. № 2.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию ведущей организации – Государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша». В качестве замечаний отмечается:

1. В раздел научная новизна п.1 автор внес исследования влияния формы ГРК на эффективность ионизации атомов РТ. Поскольку аналогичные исследования уже проводились в Гиссенском университете, необходимо было четко сформулировать основные отличия проведенных экспериментов и выделить новизну в настоящей работе.

2. К преимуществам ВЧ ИД автор относит возможность работы на любых рабочих телах и смесях газов. Стоит отметить, что в настоящее время ВЧ ИД используют для нейтрализации объемного заряда плазмы ионного пучка катоды-нейтрализаторы постоянного тока, которые могут работать только на чистых инертных газах. В настоящее время существуют модели ВЧ ИД с ВЧ катодами-нейтрализаторами, однако, это преимущественно лабораторные модели. Кроме того, при использовании химически активных рабочих тел, при нагреве электродов ИОС ИД могут идти химические реакции с образованием различных соединений (с неизвестным коэффициентом распыления) на поверхностях электродов. Данный процесс может существенно снизить ресурс ИОС и всего двигателя в целом.

3. Также к преимуществам ВЧ ИД автор относит простоту изготовления деталей двигателя. Однако, данное утверждение сомнительно для ИД большой мощности, диаметры ГРК которых могут достигать 450мм и более. При изготовлении подобных габаритных изделий трудно избежать отсутствия инородных включений в материал ГРК, которые могут привести к дополнительным потерям при вводе ВЧ-мощности в плазму. Кроме того, остается открытым вопрос обеспечения механической стойкости ГРК большого

диаметра из отечественных керамических материалов при воздействии стартовых вибрационных нагрузок.

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора физико-математических наук Кралькиной Елены Александровны. Замечания по диссертационной работе:

1. В работе не описано большое количество переменных, входящих в уравнения инженерной численной модели, что существенно затрудняет оценку правильности представленных уравнений. Текст главы написан несколько сумбурно.

2. На странице 83 указано, что электроны выносят на стенки $2.5T_e$, а на странице 98 указано правильное значение $2T_e$.

3. На странице 92 написано, что температура электронов складывается из хаотического и направленного движения электронов. Это неверно, температура электронов является мерой только их хаотического движения. Из хаотического и направленного движения электронов складывается средняя энергия электронов.

4. страница 98. Непонятно, чем мощность, диссипируемая в плазме, отличается от мощности, которая идет на нагрев электронов. В используемых выражениях для диэлектрической проницаемости учтены только члены, связанные с электронной компонентой.

5. Отсутствует анализ причин расхождения расчетных и экспериментальных данных, представленных в таблице 4.1. Причинами расхождения могут быть неучтенные потери на возбуждение индуктивных токов в кожухе источника, установочном фланце и т.д. Известны экспериментальные методы, позволяющие оценить указанные потери. К сожалению, такая работа диссертантом не была выполнена.

6. В работе присутствуют погрешности в оформлении диссертации. В место осцилляций ВЧ поля, говорится о вращении поля. В подписях к рисункам не указаны диаметр и длина газоразрядных камер.

Отзыв на диссертацию официального оппонента кандидата технических наук Пильникова Александра Васильевича. Замечания по диссертационной работе:

1. Исследование влияния конструктивных изменений на ионный ток пучка двигателя проводилось без учета неконтролируемых потерь в стендовом устройстве согласования (УС) между ВЧ-генератором и индуктором. Возможно, что при использовании ВЧ-генератора с автоматической подстройкой частоты, как это используется в летных моделях, эффективная цена иона значительно бы снизилась и полученные экспериментальные результаты изменились.

2. Не приводится объяснение значительного расхождения результатов расчета по балансовой модели и результатов эксперимента в области малых расходов. Возможно, в предложенной упрощенной модели, не были учтены некоторые факторы реального рабочего процесса в разрядной камере.

Отзыв на автореферат Берниковой М.Ю., кандидата технических наук, инженера-конструктора первой категории отдела 301 ФГУП ОКБ «Факел» содержит одно замечание:

Диссертант рассматривал затраты мощности на ионизацию рабочего тела с целью снижения общего энергопотребления двигателя. В тоже время известно, что затраты мощности на ускорения ионного пучка в сеточных ЭРД могут в разы превышать мощность, затраченную на ионизацию рабочего тела. Выгода от снижения общих затрат на десятки ватт на фоне общего энергопотребления в сотни ватт или киловатты при усложнении конструкции не очевидна. При этом, даже не смотря на изменение конструкции камеры с цилиндрической на полусферическую и определенной намотке индуктора, при которой затраты мощности снижаются, представленные цифры общих затрат велики.

Отзыв на автореферат Марахтанова Михаила Константиновича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры Э-8 «Плазменные энергетические установки» ФГБОУ ВО «Московский государственный

технический университет им. Н.Э. Баумана» содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. В тексте нет схемы двигателя (или его газоразрядного источника) с габаритными размерами. Указанный здесь диаметр пучка, 100 мм, не дает представления о размерах модели, рис. 2.

2. На рисунках с графиками массовый расход дан в мг/с, но это несистемная единица. И не следует ссылаться на то, что «так принято». Где-то надо указать расход в кг/с.

3. Мощность, поглощаемую керамикой, следовало бы назвать в цифрах, чего нет в автореферате. «Минимальные затраты на ионизацию» тоже следовало бы назвать в цифрах, как энергетическую цену иона.

4. В тексте, относящимся к графикам, показанным на рис. 8-11, которые иллюстрируют RIT-35, следовало бы привести не только силу тока ионного пучка $I_i = 0,75$ и $1,95$ А, но и плотность ионного тока $j_i = 7,8$ и $20,3$ А/м², чтобы читатель представил себе, насколько ВЧ-ИД проигрывает по этому параметру кауфмановскому ионному двигателю, например, SERT-II.

5. В автореферате следовало бы сравнить (в цифрах) энергомассовые параметры ВЧ-двигателя и, скажем, кауфмановского двигателя. Это придало бы больший «технический вес» работе.

Отзыв на автореферат Дронова П.А., кандидата технических наук, руководителя направления по ЭРД Акционерного общества «Конструкторского бюро химавтоматики» (АО КБХА), содержит следующее замечание по содержанию работы:

Предлагаемые пути модификации параметров разрядной камеры рассмотрены по отдельности и не связаны друг с другом. Так результаты по оптимизации индуктора получены для цилиндрической формы камеры, при этом для использования в двигателях предлагается сферическая форма, для которой не указано как необходимо реализовывать рекомендации по намотке индуктора. Проверка влияния материала стенок камеры также осуществлена на

цилиндрической форме камеры, характеристики двигателя с которой существенно ниже, чем у сферической. Целесообразно было бы все рекомендации проверить и подтвердить на рекомендованной для воплощения в конструкции форме камеры.

Отзыв на автореферат АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «ИСС») составленный главным ученым секретарем НТС, действительным членом Российской и Международной инженерных академий, заслуженным инженером России, заслуженным создателем космической техники, лауреатом премий Правительства Российской Федерации, доктором технических наук, профессором Головёнкиным Е.Н., начальником группы проектирования и эксплуатации систем коррекции КА Урусовым В.М. и утвержденный председателем Президиума НТС, первым заместителем генерального директора АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва», заслуженным создателем космической техники, лауреатом премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники, доктором технических наук, профессором Косенко В.Е. Отзыв содержит одно замечание по содержанию работы:

Из материалов автореферата не ясно, какой эффект предложенные автором рекомендации по совершенствованию конструкции разрядной камеры оказывают на интегральные параметры ВЧ ИД (в частности, на тяговый КПД), по сравнению с ранее известными образцами ВЧ ИД и ионных двигателей классической схемы аналогичной размерности.

Отзыв на автореферат Стриженко П.П., руководителя научно-технического Центра ПАО «РКК «Энергия», **Сухова Ю.И.**, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника и **Щербины П.А.**, инженера-конструктора 1 категории содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. Рассмотренная в работе оптимизация параметров разрядной камеры ВЧ ИД рассмотрена отдельно от характеристик электроракетной двигательной

установки в целом. В работе не представлены суммарные затраты мощности, возникающие при работе двигательной установки, а ведь именно они определяют такой важный параметр ЭРДУ как цену тяги.

2. В разработанной автором математической модели не отражено влияние расположения индуктора и количества его витков на ионный ток. В работе отсутствует объяснение резкого изменения величины ионного тока при изменении количества витков индуктора с пяти до семи.

3. В автореферате диссертации не указано насколько полученные зависимости и результаты работы применимы к другим размерам двигателей и другим формам камер.

Отзыв на автореферат Веселовзорова А.Н. старшего научного сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» замечаний не содержит.

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

Первый оппонент – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры "Физическая электроника", ФГОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», ведущего научно-исследовательского центра страны. Специализируется на экспериментально-теоретическом исследовании физических процессов в источниках ионов и плазмы, в особенности высокочастотных. Является руководителем научных работ, в том числе и по тематике Федеральной космической программы России, имеет множество научных работ.

Второй оппонент – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела 4101 «Научно-техническое сопровождение наземной экспериментальной отработки и летных испытаний двигательных установок» ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», головного института Российской космической промышленности. Является

специалистом в области создания и разработки электроракетных двигателей, а также теоретических и экспериментальных основ разработки испытательного оборудования для космических аппаратов.

Ведущая организация – государственный научный центр Российской Федерации федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» – выбрана исходя из высокого уровня ее достижений в области разработки ракетно-космической техники, является одним из крупнейших научно-исследовательских центров по разработке жидкостных, твердотопливных и электроракетных двигателей. Обладает развитой лабораторно-экспериментальной базой, позволяющей проводить полномасштабные испытания образцов ракетно-космической техники, что обеспечивает возможность определения научной и практической ценности диссертации и объективной оценке всех приведенных в диссертации экспериментальных и теоретических данных, а также приведенных в работе рекомендаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны рекомендации по проектированию разрядных камер высокочастотных ионных двигателей;

предложена инженерная модель расчета связи параметров разрядной камеры с интегральными характеристиками двигателя.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано влияние геометрии разрядной камеры и индуктора на характеристики высокочастотного ионного двигателя, а именно на генерацию необходимого ионного тока;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых подходов к исследованиям,

включающий методики проведения эксперимента, аналитические и графические методы обработки экспериментальных данных, аналитические и численные методы моделирования.

изучено влияние геометрических параметров: формы, размеров; материала стенок разрядной камеры; расположение индуктора, количество его витков на эффективность ионообразования в высокочастотном ионном двигателе;

раскрыта связь между геометрическими параметрами разрядной камеры, а также видом намотки индуктора и интегральными характеристиками двигателя.

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

разработаны и испытаны лабораторные модели высокочастотных ионных двигателей ВЧИД-8, ВЧИД-16, ВЧИД49, параметры которых подтвердили эффект от использования выработанных рекомендаций по проектированию разрядных камер.

создана инженерная методика оценки параметров разрядных камер ВЧ ИД и **представлены** рекомендации по проектированию разрядных камер высокочастотных ионных двигателей.

Полученные результаты использовались при выполнении ряда НИР и ОКР.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ – результаты, отраженные в диссертационной работе, получены на сертифицированном оборудовании с применением современных методик сбора и обработки данных;

установлено качественно и количественное совпадение авторских теоретических и экспериментальных результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в:

- непосредственном участии в проведении экспериментальных исследований, обработки и анализа данных;
- разработке инженерной модели связи параметров разрядной камеры с интегральными характеристиками ионного двигателя;
- выработке рекомендаций по проектированию разрядных камер.

На заседании 11 декабря 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Нигматзянову В.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 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 - 22, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета



Ю.А. Равикович
Равикович
Юрий Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Ю.В. Зуев
Зуев
Юрий Владимирович

11 декабря 2017 года

И.о. начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Авикина *Т.А. Авикина*

18.12.2017г *Т.А. Авикина*