

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Суворов Максим Олегович

Тема диссертации: Тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 17 декабря 2018 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 Суворову Максиму Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *ученый секретарь диссертационного совета* Надирадзе А.Б., члены диссертационного совета: Агульник А. Б., Абашев В. М. Демидов А. С., Козлов А. А., Коротеев А. А., Кочетков Ю. М., Краев В. М., Кулешов Н. В., Лесневский Л. Н., Марчуков Е. Ю., Молчанов А. М., Мякочин А. С., 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.

И.о.начальника отдела ДС МАИ
Т.А. Аникина

Надирадзе А.Б.



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

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.12.2018г. № 25

О присуждении Суворову Максиму Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 15.10.2018г. (протокол заседания №10) диссертационным советом Д 212.125.08, 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, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Суворов Максим Олегович, 1989 года рождения, работает инженером в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2013 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2018 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

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

- Ходненко Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор, акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна», отдел 21, главный 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 отзыве, подписанном Ловцовым Александром Сергеевичем, кандидатом физико-математических наук, начальником отдела 120, Кравченко Дмитрием Александровичем, кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником отдела 120 и утвержденном Семенкиным Александром Вениаминовичем, доктором технических наук, заместителем генерального директора по космическим аппаратам и энергетике, указала, что

диссертационную работу М.О. Суворова характеризует актуальность тематики, новизна сравнительного экспериментального исследования и практическая значимость полученных результатов. Диссертационная работа М.О. Суворова представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-техническая задача. Результаты диссертационной работы М.О. Суворова рекомендуется использовать в научной и производственной деятельности таких предприятий, как ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», МАИ, занимающихся исследованиями и разработкой ионных двигателей, а так же в организациях-разработчиках низкоорбитальных космических аппаратов (АО «ИСС» имени академика Решетнева, АО «Корпорация «ВНИИЭМ»»). Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Суворов Максим Олегович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 4,8 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Из 17 научных работ соискателя: 3 – статьи в рецензируемых научных изданиях из рекомендованного ВАК перечня; 2 – статьи в рецензируемых иностранных изданиях, входящих в международные реферативные базы (Scopus); 1 – патент на полезную модель; 1 – патент на изобретение; 10 – тезисы докладов на научных конференциях. Все работы опубликованы в соавторстве. Научные работы соискателя посвящены экспериментальным исследованиям прототипа тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя – высокочастотного ионного двигателя, условиям функционирования данного устройства, а так же математической балансовой модели, связывающей параметры объемного расхода атмосферного рабочего тела на входе в ионизационный объем двигателя с его интегральными характеристиками. Основным авторским вкладом Суворова М.О. являются выработанные и предложенные им рекомендации по созданию тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя.

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

Наиболее значимые работы:

1. Кожевников В.В., Смирнов П.Е., Суворов М.О., Хартов С.А. Разработка высокочастотного ионного двигателя, работающего на атмосферных газах. // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2017. № 3 С. 5-12.
2. Ерофеев А.И., Суворов М.О., Никифоров А.П., Сырин С.А., Попов Г.А., Хартов С. А. Разработка воздушного прямоточного электрореактивного двигателя для компенсации аэродинамического торможения низкоорбитальных космических аппаратов. // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 3. С. 104-110.
3. Гордеев С. В., Канев С. В., Суворов М.О., Хартов С.А. Оценка параметров прямоточного высокочастотного ионного двигателя // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85709>.
4. Suvorov M., Kozhevnikov V., Khartov S., Cherniy I. Plasma local parameters measuring in the low power radio-frequency ion thruster's discharge chamber // Procedia Engineering. 2017. Vol. 185. pp. 432-437.
5. Suvorov M., Syrin S., Khartov S., Popov G. Air-Breathing ramjet electric propulsion thruster for controlling low-orbit spacecraft motion and for compensating its aerodynamic drag // Advances in the Astronautical Sciences. 2017. Vol. 161. pp. 833-841.
6. Патент на полезную модель №168846 РФ. Ионно-плазменный двигатель / Гаврюшин В. М., Канев С. В., Суворов М. О., Хартов С. А. Заявитель: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). — № 2016127448. Заявка от 07.07.2016. Опубликовано 21.02.17. Бюл № 6.
7. Патент на изобретение № 2614906 РФ. Прямоточный электрореактивный двигатель / Канев С. В., Попов Г. А., Суворов М. О., Сырин С. А., Хартов С. А., Ерофеев А. И. Заявитель: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). — № 2016112914. Заявка от 05.04.2016. Опубликовано 30.03.17. Бюл. № 10.

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» (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»). В качестве замечаний по диссертационной работе отмечается:

1. Утверждение на странице 9 «В первой главе...обоснована возможность проведения исследования тягового узла отдельно от других элементов ПВЭРД» не подтверждено в тексте главы 1.

2. Рисунок 1.7 заимствован из публикации [Fujita K. Air intake performance of air breathing ion engines / Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences. 2004. Vol. 52. № 610] или из других более ранних публикаций и приведён без соответствующей ссылки.

3. Утверждение на странице 30 «концентрации частиц, необходимые для создания стабильного ВЧ-разряда в РК ВЧИД колеблются в диапазоне $10^{17} \div 10^{18} \text{ м}^{-3}$ » приведено без каких-либо ссылок и никак не обосновано.

4. При расчёте размера ячейки сетки, разделяющей ёмкости термализации и рабочего объёма разрядной камеры, допущена ошибка: в формулу (2.5) вместо разности потенциалов между плазмой и сеткой U_c подставлен потенциал эмиссионного электрода.

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора технических наук, профессора Ходненко Владимира Павловича. Замечания по диссертационной работе:

1. В работе автор указывает потенциальный диапазон орбит, возможных для функционирования КА с прямоточной схемой - 200÷250 км над поверхностью Земли, однако в практической части постоянно фигурирует цифра 220 км. Именно для данного значения высоты орбиты рассчитаны концентрации РТ, получаемые через входное сечение устройства забора. Стоит заметить, что состав атмосферы имеет значительный разброс даже в небольшом диапазоне высот, не говоря уже о разнице в 50 км. Нужно

понимать, что реальный высотный диапазон функционирования аппарата будет гораздо меньше. Однако автор не приводит эти данные функционирования КА по высоте и не предлагает никаких рекомендаций на этот счет.

2. В главе, посвященной экспериментальному оборудованию, автор уделил слишком много внимания вопросу модернизации системы подачи РТ. Отчасти это является оправданным, так как подобный пункт (№3 Модернизация оборудования для проведения исследований тягового узла) есть в основных задачах диссертационной работы, однако можно было ограничиться менее подробным описанием этой части.

3. Более серьезное замечание стоит сделать относительно приведенной математической модели. Автор списывает половину мощности высокочастотного генератора, вводимой в контур с нагрузкой, на потери. В диссертации следовало более подробно объяснить природу этих потерь, а так же высказывать соображения о методах борьбы с ними.

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

1. Во «Введении» диссертационной работы не в полной мере корректно сформулированы параграфы с научной новизной, практической и теоретической значимостью. В последующих главах автор излагает суть данных вопросов, однако, неточная и неполная формулировка этих пунктов создает неправильное восприятие основных акцентов работы.

2. Автор работы занимался только вопросами создания прототипа тягового узла ПВЭРД. Несмотря на то, что, в целом, концепция прямоточного ПВЭРД выглядит реализуемой, стоит отметить, что автор уделил мало внимания одной из наиболее остро стоящих проблем для данной схемы двигателя - проблеме нейтрализации ионного потока. Современные модели катодов-нейтрализаторов не способны работать на атмосферной смеси.

3. Математическая модель содержит в себе ряд упрощений реальных физических процессов, происходящих в газоразрядном объеме, что, в общем, является приемлемым для быстрой оценки интегральных

параметров, однако введение коэффициента, учитывающего потери ВЧ-мощности в индукторе, само по себе является несколько грубым допущением и в значительной мере может сказываться на точности модели.

Отзыв на автореферат диссертации федерального государственного унитарного предприятия «Опытное конструкторское бюро «Факел» (ФГУП ОКБ «Факел»), составленный Вертаковым Н.М., начальником отдела № 301, и Нестеренко А.Н, кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником отдела № 301, и утверждённый заместителем генерального конструктора ФГУП ОКБ «Факел» Корякиным А.И., содержит следующие замечания:

1. Так как низколетящие КА половину времени находятся в тени Земли, а источником энергии являются солнечные батареи, тяга двигателя должна, по крайней мере быть вдвое выше, чем аэродинамическое торможение. Соответственно, потребуется вдвое выше мощность двигателя и необходимый расход рабочего газа, что не было учтено в оценках.

2. Модель ВЧИД-15-2 со стороны входа представляет собой замкнутую систему, в результате чего достигается полное использование подаваемого плазмообразующего газа. Реальная же система прямоточного двигателя будет иметь открытый вход, через который будет уходить значительная часть, поступающего газа. В работе не представлены оценки по газовой эффективности воздухозаборника, с учетом гидравлического сопротивления разделительной решетки, что может стать принципиальным ограничением для эффективной организации рабочего процесса или потребует увеличения массы и габарита устройства.

3. Схемы ВЧИД и его модификаций, приведенные в автореферате, являются лабораторными прототипами тягового узла и обладают низкой степенью конструкторской проработки.

Отзыв на автореферат диссертации Гарберы Станислава Николаевича, кандидата технических наук, заместителя начальника расчетного отдела акционерного общества «Конструкторское бюро химавтоматики» (АО КБХА), содержит следующие замечания:

1. Автор приводит конкретное соотношение молекулярных газов, азота и кислорода (2 к 1), однако в автореферате не поясняет, как именно было подобрано данное соотношение.

2. В качестве рекомендации, автор предлагает разделить объем термализации и газоразрядный объем ПВЭРД с помощью сетки из диэлектрического материала, однако в автореферате не приводятся никаких указаний по поводу прозрачности этого разделителя.

Отзыв на автореферат диссертации Будаева Вячеслава Петровича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» содержит следующие замечания

1. При изложении результатов экспериментальных исследований тягового узла двигателя ПВЭРД не приводится анализ процессов, влияющих на пространственное распределение токов электронов, включая токи из плазмы на материальные поверхности через приповерхностный плазменный слой; такой анализ и измерения этих токов в дальнейших работах существенно могут продвинуть понимание физики переноса частиц в объеме рабочей камеры, необходимое для выбора режимов стабильной работы двигателя в реальных условиях.

2. В балансовой модели, разработанной автором, не учитываются эффекты неамбиполярных переносов в плазме, которые существенно влияют на распределения концентраций частиц плазмы и, таким образом, на интегральные характеристики электрореактивного двигателя; ввиду этого, предсказательность такой модели существенно снижена.

Отзыв на автореферат диссертации Сысоева Валентина Константиновича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника проектного комплекса 510 АО «Научно-производственного объединения им. С.А. Лавочкина» содержит следующие замечания:

1. Экспериментальные исследования, приведенные в диссертации, проводились на концентрациях атмосферных газов, соответствующих высоте орбиты аппарата 220 км над поверхностью Земли, однако в автореферате автор не указывает границы применимости ПВЭРД.

2. При сравнении экспериментальных данных с результатами моделирования, автор указывает, что максимальное расхождение значений не превышает 10% (для атмосферной смеси), однако в заключении приводит цифру в 15%.

Отзыв на автореферат диссертации Духопельникова Дмитрия Владимировича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Плазменные энергетические установки» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» содержит следующие замечания:

1. В тексте автореферата, автор не приводит обоснования выбора высокочастотного ионного двигателя для низкоорбитальных КА.

Отсутствует сравнение с другими типами ЭРД.

2. Из рисунка 5 не ясно, какой мощности соответствует левая группа зависимостей: мощность, затрачиваемая на ионизацию или на ускорение ионов.

3. Автор доказал, что если площадь устройства забора атмосферных газов совпадает с площадью миделя аппарата, то входящих газовых потоков будет достаточно для стабильной работы тягового узла. При этом автор не дает никаких рекомендаций по оптимизации соотношения этих площадей и работоспособности двигателя при снижении площади устройства забора газа.

Отзыв на автореферат диссертации публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева», составленный Соколовым Б.А., доктором технических наук, советником Генерального директора, Стриженко П.П, руководителем научно-технического центра, П.А. Щербиной, начальником лаборатории проектирования перспективных двигательных установок, и утверждённый генеральным конструктором ПАО «РКК «Энергия», академиком РАН, Микриным Е.А. содержит следующие замечания:

1. Для экспериментальных исследований был изготовлен прототип тягового узла - высокочастотный ионный двигатель с диаметром пучка ускоряемых ионов 15 см, а также две его модификации: с дополнительной

термализаторной емкостью и с внутренним индуктором. В работе им присвоены названия ВЧИД-15-1, -15-2 и -15-3 соответственно. В автореферате представлены схемы первых двух компоновок, однако схема ВЧИД-15-3 отсутствует. Вместо нее автор приводит фотографии внутренних индукторов разных геометрических конфигураций. Для более наглядного понимания альтернативных компоновок стоило привести схему ВЧИД-15-3 или, по крайней мере, привести фотографию тягового узла с внутренним индуктором в собранном состоянии.

2. Автор характеризует методику экспериментальных исследований построением семейства подобных гиперболических «изо-кривых», в то время как на самом деле, кривые не являются гиперболическими, а носят скорее параболический характер.

3. В автореферате автор не указывает, насколько приведенная балансовая модель применима для двигателей других размеров

Отзыв на автореферат диссертации Алтунина Виталия Алексеевича, доктора технических наук, профессора кафедры Теплотехники и энергетического машиностроения Казанского национального технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ содержит следующие замечания:

1. В автореферате отсутствует информация о проведенном обзоре и анализе научно-технической и патентно-лицензионной литературы, нет ни одной фамилии учёных из России и зарубежных стран (например, из США и др.), которые бы частично или полностью занимались этой проблемой. Например, у российского ученого и изобретателя Г.Г. Полякова из Астрахани, который, к сожалению, уже ушел из жизни, есть 10 томов его книг и более 100 патентов на изобретения, часть которых посвящена забору воздуха на низкой космической орбите - для различных целей его дальнейшего использования, а так же - для выработки электроэнергии для орбитального космического летательного аппарата (КЛА). И только в 3 гл., на стр. 12 автореферата появляется ссылка на научную статью, где автором и соавтором является научный руководитель диссертанта - д.т.н., доцент С.А. Хартов. Но, может быть, в самой диссертации этот обзор и анализ присутствует.

2. В автореферате отсутствует раздел «Публикации».

3. На стр. 13-14 автореферата предложены рекомендации для проектирования тягового узла ПВЭРД, но они носят общий конструктивно - методологический характер. Желательно было бы привести и конкретные конструкторско-инженерные рекомендации (размеры, расстояния, зоны и т.д.), которые можно было бы использовать другими учеными и конструкторами при разработке новой техники различного базирования и применения, в том числе, и двойного. В диссертации, наверное, этот вопрос раскрыт более полно.

4. Из автореферата неясно, как учитывалась в экспериментальных исследованиях температура заборного орбитального воздуха при различных режимах и условиях эксплуатации КЛА (на различных орбитах, при положении КЛА в условиях космической ночи или дня и т.д.).

5. В разделе «Научная новизна», было бы неплохо разместить и патенты на полезную модель и на изобретение РФ диссертанта, т.к. именно там тоже сконцентрирована и подтверждена научная новизна этой диссертационной работы.

6. В тексте автореферата встречаются орфографические ошибки (лишние запятые, а там, где они нужны, их нет; неправильные окончания слов и др.).

Отзыв на автореферат диссертации конструкторского бюро «Салют» Акционерного общества «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева», составленный Сорокиным Вадимом Александровичем, зам. Генерального конструктора КБ «Салют», Левушкиным Юрием Александровичем, начальником отдела ДУ содержит следующие замечания:

1. В автореферате не раскрыты особенности конструкции узла забора атмосферного газа, не приведена оценка его габаритно-массовых характеристик, а так же отсутствуют сведения, каким образом в случае необходимости обеспечивается регулирование рабочих параметров на входе в тяговый узел.

2. В автореферате не представлена оценка удельного импульса исследованных образцов ВЧИД, а так же не указан диапазон орбит применения предложенного в работе тягового узла ПВЭРД на атмосферной смеси в зависимости от рабочих параметров.

3. В автореферате не представлена схема лабораторной установки, что затрудняет восприятие особенностей проведенного экспериментального исследования.

Отзыв на автореферат Пинчука Владимира Афанасьевича, доктора технических наук, профессора кафедры «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова содержит следующее замечание:

Используемый в работе теоретический аппарат не учитывает различий в условиях внутреннего энергетического равновесия материальных сред в зависимости от наличия или отсутствия в их составе избыточного (нескомпенсированного) заряда. Следует отметить, однако, что этот недостаток до сих пор в полной мере не исключён далее из традиционно используемого аппарата математического обеспечения электродинамики как дисциплины в целом и, в этой связи, в рамках настоящей работы не может рассматриваться принципиальным.

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

Первый оппонент – Ходненко Владимир Павлович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела 21 акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна». Оппонент является специалистом в

области разработки электроракетных двигателей, оценки применимости двигательных установок с разными типами электроракетных двигателей для решения поставленных перед космическим аппаратом задач. Ходненко В.П. непосредственно участвует в разработке и экспериментальной отработке корректирующих двигательных установок на базе электроракетных двигателей, что позволяет ему в полной мере оценить диссертационную работу Суворова М.О.

Второй оппонент – Пильников Александр Васильевич, 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». Оппонент является специалистом в области создания и разработки электроракетных двигателей, а также теоретических и экспериментальных основ разработки испытательного оборудования для космических аппаратов.

Выбор ведущей организации – государственного научного центра Российской Федерации - федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» – обоснован её достижениями в практике и теории создания широкого ряда электроракетных двигателей разных типов. Глубокая теоретическая проработка создаваемых двигателей и развитая экспериментальная база и, как следствие, практические результаты собственных разработок позволяют сотрудникам ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» в полной мере оценить все экспериментальные и теоретические результаты диссертационной работы. ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» является одним из крупнейших научно-исследовательских институтов в области ракетного двигателестроения и космической энергетики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны рекомендации по созданию тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя для управления полетом космических аппаратов на низких орбитах.

показана стабильность работы тягового узла при использовании в качестве рабочего тела атмосферной смеси с концентрациями компонентов, соответствующими условиям полета низкоорбитального аппарата на высоте около 220 км.

доказана возможность и выбраны режимы устойчивого зажигания высокочастотного разряда в тяговом узле прямоточного воздушного электрореактивного двигателя при пониженных концентрациях рабочего тела без использования пусковых добавок инертных газов.

предложены и изучены альтернативные схемы компоновки разрядной камеры тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя, проанализированы их преимущества и недостатки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложена балансовая модель расчета тягового узла ПВЭРД, связывающая количество входящего атмосферного рабочего тела с интегральными характеристиками созданного тягового узла.

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих подходов к исследованиям, включающий методики проведения эксперимента, аналитические и графические методы обработки экспериментальных данных, аналитические и численные методы моделирования.

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

разработан и испытан лабораторный прототип тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя, а также две его модификации, испытания которых подтвердили возможность создания и успешного функционирования устройства в составе ПВЭРД.

создана балансовая модель для оценки параметров высокочастотного ионного двигателя, а также **представлены** рекомендации по проектированию тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя.

Оценка достоверности и результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ – результаты, отраженные в диссертации, получены на сертифицированном оборудовании с применением современных методик сбора и обработки данных. Методика экспериментальных исследований основана на апробированных ранее методах, широко представленных в литературе по тематике работы.

Теоретические положения, приведенные в работе, строятся на известных уравнениях физики газового разряда, а так же хорошо коррелируют с полученными практическими результатами.

Личный вклад соискателя состоит в:

- непосредственном участии в проведении экспериментальных исследований, обработки и анализа данных;
- разработке балансовой модели для оценки интегральных параметров прямоточного тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя;
- выработке рекомендаций по проектированию тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя.

На заседании 17 декабря 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Суворова М.О. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 10 докторов наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 22, против – 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета



Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Надирадзе Андрей Борисович

17 декабря 2018 года