

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Мельников Андрей Викторович

Тема диссертации: Высокочастотный ионный двигатель с дополнительным постоянным магнитным полем

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 09 декабря 2019 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Мельникову Андрею Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: и. о. председателя диссертационного совета Назаренко И.П., ученый секретарь диссертационного совета Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Абашев В.М., Демидов А.С., Козлов А.А., Коротеев А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., 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 НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 09.12.2019 г. № 28

О присуждении Мельникову Андрею Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Высокочастотный ионный двигатель с дополнительным постоянным магнитным полем» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 07.10.2019г. (протокол заседания №15) 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 Мельников Андрей Викторович, 1991 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 2015 году соискатель окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2019 году 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:

- Кралькина Елена Александровна, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», кафедра физической электроники физического факультета, ведущий научный сотрудник;

- Пильников Александр Васильевич, кандидат технических наук, акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», ведущий специалист

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, Селивановым Михаилом Юрьевичем, кандидатом технических наук, ведущим инженером отдела 120 и утвержденном Семёнкиным Александром Вениаминовичем, доктором технических наук, заместителем генерального директора по космическим аппаратам и энергетике – начальником отделения 3, указала, что диссертационную работу А.В. Мельникова характеризует актуальность тематики, новизна экспериментальных исследований и практическая значимость

полученных результатов. Диссертационная работа А.В. Мельникова представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-техническая задача. Результаты диссертационной работы А.В. Мельникова рекомендуется использовать в научной и производственной деятельности организаций-разработчиков низкоорбитальных космических аппаратов, таких как АО «ИСС» и АО «Корпорация «ВНИИЭМ», а также в научных организациях, занимающихся исследованиями и разработкой ионных двигателей (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», МАИ). Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Мельников Андрей Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 3,4 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях и приравненным к ним, опубликовано 4 работы. Из 10 публикаций: 3 – статьи в научных журналах, 1 – патент на полезную модель, 6 – тезисы докладов на научных конференциях; 8 работ написаны в соавторстве, 2 работы – единолично. Научные работы соискателя посвящены экспериментальным и теоретическим исследованиям лабораторных образцов высокочастотного ионного двигателя, в том числе с источником дополнительного магнитного поля. Основным авторским вкладом Мельникова А.В. являются разработанные на основе результатов экспериментальных исследований рекомендации по проектированию моделей высокочастотного ионного двигателя малой мощности с источником дополнительного постоянного магнитного поля, позволяющего повысить интегральные характеристики двигателя при работе в режиме пониженной тяги.

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

Наиболее значимые работы:

1. Белоусов А.П., Мельников А.В., Хартов С.А. Модель динамики электронов в разрядной камере высокочастотного ионного двигателя // Труды МАИ. –2017. –№ 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=80974> .

2. Мельников А.В., Хартов С.А. Экспериментальное исследование высокочастотного ионного двигателя с дополнительным магнитным полем // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2018. №3. – С. 4–11.

3. Кожевников В.В., Мельников А.В., Назаренко И.П., Хартов С.А. Высокочастотный ионный двигатель с дополнительной магнитной системой // Известия Российской академии наук. Энергетика. –2019. –№3. – С. 40–51.

4. Патент на полезную модель №159636 РФ. Ионно-плазменный двигатель / Гаврюшин В.М., Мельников А.В., Смирнова М.Е., Фейли Д., Хартов С.А. Заявитель: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). — № 2015121080. Заявка от 03.06.2015. Опубликовано 20.02.16. Бюл № 5.

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

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

1. В работе исследуется конфигурация магнитного поля, названная рупорно-аксиальной, при этом данный термин не раскрыт и не является общеупотребительным. В работе недостаточно четко обоснован выбор именно такой конфигурации магнитного поля и ее преимущества по сравнению с другими конфигурациями.

2. Применительно к модели ВЧИД диаметром 80 мм получены наилучшие результаты для бесполосной магнитной системы, а менее выраженные для двухполосной. В тоже время ВЧИД с диаметром пучка 100 мм испытан только с двухполосной системой, что возможно не позволило получить более весомые результаты во втором случае.

3. Утверждение «По результатам системных исследований различных конфигураций дополнительного постоянного магнитного поля показано, что его топология, обеспечивающая стабильную работу и улучшение интегральных характеристик ВЧИД малой мощности, в широком диапазоне дросселирования тяги, достигается при значениях индукции осевой и радиальной составляющих на

срезе разрядной камеры уровня 0,5 и 0,3 мТл соответственно» представляется недостаточно обоснованным, поскольку, например, на стр. 31 диссертации утверждается со ссылкой на исследования других авторов, что «Наилучший вклад ВЧ мощности наблюдается при определенной, резонансной индукции магнитного поля B_{res} , величина которой зависит как от плотности плазмы, так и от частоты тока в индукторе». Проведенные исследования охватывают не столь значительный диапазон типоразмеров устройств и режимов их функционирования для столь категоричных заявлений.

4. Инженерная математическая модель вызывает целый ряд замечаний по ее постановке и использованию. Модель не учитывает распространение волн в плазме, что для высокочастотного ионного двигателя выглядит недостаточно обоснованным. Использование векторного магнитного потенциала, который определен с точностью до градиента произвольной скалярной функции допускает чрезвычайно широкое применение методов подбора значений используемых величин.

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

1. В работе предполагается, что внешнее магнитное поле влияет только на удержание электронной компоненты в разряде. Известно, что наличие внешнего магнитного поля может привести к изменению способности плазмы поглощать ВЧ мощность. Этот механизм влияния на параметры двигателя в диссертации не рассмотрен.

2. Формулировка расчетной модели двигателя в главе 4 выполнена расплывчато. Любая модель ВЧ индуктивного разряда в источнике плазмы состоит из двух взаимосвязанных частей: расчета пространственного распределения ВЧ полей в плазме при заданных параметрах плазмы и расчета параметров плазмы по заданным ВЧ полям. К сожалению, в диссертации нет четкого описания алгоритма расчета влияния плазмы на скинирование ВЧ полей. Кроме того, большинство формул дано в конечном виде, без вывода. Целесообразно было бы привести исчерпывающую формулировку модели в Приложении к диссертации.

3. В работе присутствует большое количество аббревиатур, которое затрудняет чтение диссертации.

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

1. В экспериментальных исследованиях автором не было рассмотрено влияние частоты тока в индукторе на достижение положительного эффекта при использовании дополнительного магнитного поля. В реальных конструкциях летных образцов ВЧИД с автоподстройкой частоты ВЧ-генератора частота тока в индукторе может отличаться от тех значений, которые использовались в проводимых исследованиях и степень улучшения характеристик двигателя может сместиться как в большую, так и в меньшую сторону.

2. В работе не уделено внимание возможному влиянию переменного электромагнитного поля на свойства постоянного магнита, который предлагается использовать в качестве основного источника дополнительного постоянного магнитного поля.

3. Не было рассмотрено достижение положительного эффекта от использования дополнительного постоянного магнитного поля предложенной конфигурации на двигателях большего уровня мощности.

4. В математической модели не учитывается эффективность фокусировки ионного пучка в ионно-оптической системе, что может дополнительно снижать точность расчёта интегральных характеристик ВЧИД.

Отзыв на автореферат диссертации Сысоева Валентина Константиновича, доктора технических наук, начальника отдела АО «НПО Лавочкина» содержит следующие замечания:

1. В приведённых автором результатах зондовых исследований локальных параметров плазмы видно, что при наличии дополнительного магнитного поля происходит изменение распределения температуры электронов. При этом в автореферате не имеется подробного объяснения механизма такого поведения исследуемого параметра плазмы.

2. Автором указано, что предложенная инженерная модель позволяет оценивать интегральные характеристики ВЧИД. Однако в тексте автореферата сравнение с экспериментальными данными производится только по величине

извлекаемого ионного тока и затрачиваемой ВЧ мощности. В то время как коэффициент использования РТ, цена иона и тяговый КПД при этом в сравнении не участвуют.

3. Автор не показал оценок сроков активного существования таких двигателей хотя предложенная схема работы это предполагает.

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

1. На рисунке 4 пределы погрешности зондовых измерений указаны только для экспериментальных данных, соответствующих режиму работы, при котором не используется дополнительное магнитное поле.

2. В рекомендациях по проектированию ВЧИД указывается, что топология дополнительного магнитного поля должна быть рупорно-аксиальной. Но из автореферата не ясно, на основании чего делается этот вывод. Ведь исследовались разные магнитные системы, создающие поле одной и той же конфигурации - рупорно-аксиальной.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва» - Щербина П.А., начальника лаборатории проектирования перспективных электрореактивных двигательных установок и **Титова М.Ю.**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника лаборатории проектирования перспективных электрореактивных двигательных установок - содержит следующие замечания:

1. В работе не было исследовано влияние дополнительного постоянного магнитного поля на расходимость ионного пучка. Это является важным условием при компоновке двигателя на борту космического аппарата.

2. Автором не рассматривались получение эффекта при использовании альтернативных рабочих тел, например, криптон.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Конструкторское бюро химавтоматики» (АО КБХА), составленный

Дроновым П.А., кандидатом технических наук, заместителем главного конструктора по ЭРД и перспективным энергоустановкам, Гарберой С.Н., кандидатом технических наук, заместителем начальника конструкторско-расчётного отдела и утверждённый главным конструктором АО КБХА Гороховым В.Д., содержит следующие замечания:

1. Автором в тексте автореферата не указывается, на какой конкретно частоте тока на индукторе лабораторных моделей ВЧИД производились исследования интегральных характеристик и локальных параметров плазмы. Приведен только диапазон частот, в котором мог работать используемый в экспериментах ВЧ генератор.

2. В работе не представлено сравнение массовых характеристик моделей двигателя с магнитной системой и без нее, включая массу дополнительных блоков питания в случае использования электромагнитов.

3. Так же в случае использования электромагнитов не указана дополнительная потребляемая мощность на их питание. И оценка повышения КПД ЭРДУ с учетом затраченной мощности на питание магнитной системы.

Отзыв на автореферат диссертации федерального государственного унитарного предприятия «Опытное конструкторское бюро «Факел» (ФГУП ОКБ «Факел»), составленный Приданниковым С.Ю., кандидатом технических наук, начальником отдела 300, Толстель О.В., кандидатом технических наук, ведущим специалистом отдела 301 и утверждённый генеральным конструктором ФГУП «ОКБ «Факел» Космодемьянским Е.В., кандидатом технических наук, содержит следующие замечания:

1. Конструктивно и технологически не проработана установка постоянного магнита при сборке двигателя. Необходимо учитывать его возможное загрязнение и нагрев от ВЧ поля, который может привести к изменению магнитных свойств материала магнита.

2. Все экспериментальные исследования производились на лабораторных моделях ВЧИД, в которых, судя по представленным выходным характеристикам, использовалась неоптимизированная ионно-оптическая система. При работе с более отработанными моделями ВЧИД степень улучшения характеристик от использования дополнительного магнитного поля может измениться.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «ИСС»), составленный Головёнкиным Е.Н., доктором технических наук, профессором, главным ученым секретарем НТС, Ермошкиным Ю.М., кандидатом технических наук, доцентом, начальником лаборатории, Урусовым В.М., начальником группы проектирования и эксплуатации систем коррекции космических аппаратов и утвержденный Кочурой С.Г., кандидатом технических наук, доцентом, заместителем генерального конструктора АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва», содержит одно замечание:

В материале автореферата приводятся оценки отдельных составляющих эффективности двигателя и их возможного повышения за счёт использования дополнительного магнитного поля. Однако не приведены данные о повышении полного КПД двигателя с учётом затрат на нейтрализацию ионного пучка несмотря на то, что данный параметр является одним из важнейших при выборе двигателя при проектировании двигательных подсистем.

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

В работе не проведены измерения в РК электрических полей и связанных с ними дрейфовых потоков плазмы в магнитных полях; измерения дрейфовых потоков, в том числе, турбулентных, следует провести в дальнейшей работе по тематике ВЧИД с магнитной системой, что позволит продвинуться в понимании динамики плазмы в объеме РК для дальнейшего повышения эффективности ВЧИД.

Отзыв на автореферат диссертации конструкторского бюро «Салют» акционерного общества «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», составленный Сорокиным В.А., заместителем генерального конструктора КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Лёвушкиным Ю.А., ведущим конструктором сектора отдела ДУ и утверждённый Владимировым А.В., доктором технических наук, профессором, заместителем генерального конструктора КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», содержит следующие замечания:

1. В автореферате не представлена схема лабораторной установки, что затрудняет оценку полученных результатов экспериментального исследования.

2. На рисунках 8 – 12, на которых представлено сравнение результатов расчетов и экспериментальных данных для экспериментальных точек не показан диапазон погрешности измерения.

3. Предложенная автором модель не позволяет проводить оценку габаритно-массовых характеристик дополнительной магнитной системы.

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

Первый оппонент – Кралькина Елена Александровна – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры «Физическая электроника» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», ведущего научно-исследовательского центра страны. Оппонент специализируется на экспериментально-теоретическом исследовании физических процессов в генераторах плазмы и источниках ионов, в особенности высокочастотных. Является руководителем научных работ, в том числе и по тематике Федеральной космической программы России. Имеет множество научных работ, что позволяет Кралькиной Е.А. в полной мере оценить диссертационную работу Мельникова А.В.

Второй оппонент – Пильников Александр Васильевич, кандидат технических наук, ведущий специалист отдела 4101 «Научно-техническое сопровождение наземной экспериментальной отработки и летных испытаний двигательных установок» АО «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, что подтверждается публикациями в научных изданиях.

Так глубокая теоретическая проработка создаваемых двигателей и развитая экспериментальная база и, как следствие, практические результаты собственных разработок позволяют сотрудникам ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», в том числе составившим отзыв ведущей организации, 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 моделей высокочастотных ионных двигателей малой мощности с дополнительным постоянным магнитным полем, способствующим улучшению их интегральных характеристик при работе в режиме пониженной тяги;

доказана возможность стабильной работы высокочастотного ионного двигателя, с использованием постоянного магнита в качестве источника дополнительного магнитного поля для улучшения его интегральных характеристик.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

подтверждена гипотеза о том, что постоянное внешнее магнитное поле способствует увеличению концентрации и температуры электронов в разрядной камере, что приводит к повышению эффективности ионизации рабочего тела;

предложена и верифицирована с использованием экспериментальных данных математическая модель для оценки влияния наличия дополнительного магнитного поля в области ионизации на интегральные характеристики высокочастотного двигателя и распределение локальных параметров плазмы в его разрядной камере, которую можно использовать на этапе предварительного проектирования новых моделей двигателей;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих методов исследований, включающий в себя методики проведения эксперимента по оценке интегральных характеристик и изучения локальных параметров плазмы, аналитические и графические методы

обработки экспериментальных данных, а также численные методы моделирования.

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

доказана возможность улучшения интегральных характеристик моделей ВЧИД малой мощности при дросселировании тяги за счёт использования дополнительного постоянного магнитного поля рупорно-аксиальной конфигурации;

показаны режимы работы двигателя малой мощности и параметры дополнительного магнитного поля, при которых наблюдается улучшение интегральных характеристик

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Для экспериментальных работ – результаты, представленные в диссертации, получены на сертифицированном оборудовании с применением современных и апробированных методик измерения, сбора и обработки экспериментальных данных. Теоретические положения, приведенные в работе, построены на основе известных уравнений физики газового разряда и хорошо соотносятся с полученными практическими результатами.

Личный вклад соискателя состоит в:

- непосредственном участии в проведении исследований, обработке и анализе экспериментальных данных;
- разработке математической модели для оценки интегральных характеристик высокочастотного ионного двигателя и распределения локальных параметров плазмы в его разрядной камере при наличии дополнительного постоянного магнитного поля;
- выработке рекомендаций по проектированию моделей высокочастотных ионных двигателей малой мощности с источником дополнительного постоянного магнитного поля.

На заседании 09 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Мельникову А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 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 - 20, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

И.о. председателя
диссертационного совета,
д.т.н., профессор



Назаренко Игорь Петрович

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



Зуев Юрий Владимирович

09 декабря 2019 года

И.о. начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Анокина

