

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Митрофанова Ольга Александровна

Тема диссертации: Влияние величины и топологии магнитного поля на интегральные характеристики стационарных плазменных двигателей (СПД)

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 16 ноября 2015 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 Митрофановой Ольге Александровне 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., Каторгин Б.И., Козлов А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., 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 16.11.2015 № 34

О присуждении Митрофановой Ольги Александровне, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние величины и топологии магнитного поля на интегральные характеристики стационарных плазменных двигателей (СПД)» по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите 14 сентября 2015г., протокол № 17 диссертационным советом Д212.125.08 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ), 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - № 2249-1460 от 02.11.2007 г., об изменении состава диссертационного совета - № 1986-540/1460 от 21.11.2008 г., о продлении срока действия диссертационного совета - № 1925-601 от 08.09.2009 г., 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 11.04.2012 г., об изменении состава диссертационного совета - № 508/нк от 22.08.2012 г., об изменении состава диссертационного совета - № 548/нк от 06.10.2014 г.

Соискатель Митрофанова Ольга Александровна, 1986 года рождения, работает инженером-конструктором 2 категории на Федеральном государственном унитарном предприятии «Опытное конструкторское бюро «Факел» (ФГУП «ОКБ «Факел») Федерального космического агентства (Роскосмос).

В 2008 г. соискатель окончила Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет имени Иммануила Канта» (РГУ им. И.Канта) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ). В 2012 г. соискатель окончила аспирантуру очной формы обучения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (БФУ им. И.Канта) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ).

Диссертация выполнена в конструкторском отделе Федерального государственного унитарного предприятия «Опытного конструкторского бюро «Факел» (ФГУП «ОКБ «Факел») Федерального космического агентства (Роскосмос).

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Румянцев Альберт Владимирович, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (БФУ им. И. Канта), кафедра «Физика» Физико-технического Института, профессор.

Официальные оппоненты:

Марахтанов Михаил Константинович – доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, кафедра Э-8, заведующий кафедрой;

Смирнов Владимир Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Курчатовский ядерно-технологический комплекс

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», отделение Токамаков, ведущий научный сотрудник
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш), г. Королёв в своем положительном заключении, подписанном Тведохлебовой Е.М., кандидатом технических наук, и.о. начальника Управления ФГУП ЦНИИмаш; Сизовым А.А., и.о. начальника отдела ЦНИИмаш; Гусевым Ю.Г., и.о. начальника отдела ЦНИИмаш и утвержденном Хартовым В.В., доктором технических наук, профессором, генеральным конструктором по автоматическим космическим системам и комплексам - заместителем генерального директора - начальником центра системного проектирования ФГУП ЦНИИмаш, указала, что диссертация Митрофановой О.А. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, тесно связанную с государственными научными программами создания и развития ракетно-космической техники. Результаты работы имеют большую практическую значимость для разработчиков космических аппаратов, так как внедрение разработанных методик и рекомендаций позволит обеспечить высокие выходные и ресурсные характеристик двигателя. Принимая во внимание актуальность, новизну, практическую значимость и высокий научно-технический уровень, диссертация Митрофановой Ольги Александровны удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Митрофанова Ольга Александровна, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 10 общим объемом 3,09 п.л.; работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах – 5; тезисов докладов на научных

конференциях - 2; все работы опубликованы в соавторстве. В работах приводятся описание разработанной автором методики расчета магнитного поля СПД, результаты исследования влияния величины и топологии магнитного поля на эрозионные характеристики разрядной камеры СПД, результаты модернизации конструкции двигателя СПД-100 с использованием полученных автором выводов и рекомендаций, а также результаты исследований по определению оптимального местоположения катода-компенсатора на периферии СПД.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Гниздор Р.Ю., Козубский К.Н., Митрофанова О.А. Компьютерное моделирование магнитных систем стационарных плазменных двигателей// Вестник Российского государственного университета им. И. Канта, 2010. Выпуск 10. С. 137-144.
2. Гниздор Р.Ю., Митрофанова О.А., Румянцев А.В. Исследование влияния магнитного поля СПД на разность потенциалов между катодом и «землей»// Вестник Московского авиационного института, 2012. Том 19, выпуск 2. С. 47-52.
3. Гопанчук В.В., Митрофанова О.А., Потапенко М.Ю. Исследование конфигурации сердечника источника намагничивания магнитных систем электрореактивных двигателей// Труды МАИ, 2012. Выпуск 50. www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 30.08.2015).
4. Митрофанова О.А., Румянцев А.В. Исследование влияния параметров и топологии магнитного поля периферийной зоны стационарного плазменного двигателя на эффективность работы катода-компенсатора // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2012. Выпуск 4. С. 44-51.
5. Гниздор Р.Ю., Нестеренко А.Н., Митрофанова О.А. Форсирование СПД-100 по тяге// Труды МАИ, 2012. Выпуск 60. www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 30.08.2015).
6. Mitrofanova O. A., Gnizdor R. Yu., Murashko V. M., Koryakin A. I., Nesterenko A. N. New generation of SPT-100. IEPC-2011-041// Proc. of 32nd International Electric Propulsion Conference, Wiesbaden, Germany, September 11 – 15, 2011.

7. Гниздор Р.Ю., Митрофанова О.А., Гопанчук В.В., Козубский К.Н., Мурашко В.М. Способ размещения катода-компенсатора в плазменном двигателе и устройство для его осуществления// Патент РФ № 2426913, H05H 1/54, F03H 1/00, 06.04.2010, Бюл. №23, 20.08.2011.

8. Mitrofanova O. A., Gnizdor R. Yu. Influence of SPT magnetic field on lifetime characteristics of the thruster. IEPC-2013-51// Proc. of 33rd International Electric Propulsion Conference, Washington, D.C, USA, October 6 – 10, 2013.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш), подписанный Тведохлебовой Е.М., кандидатом технических наук, и.о. начальника Управления ФГУП ЦНИИмаш; Сизовым А.А., и.о. начальника отдела ЦНИИмаш; Гусевым Ю.Г., и.о. начальника отдела ЦНИИмаш и утвержденный Хартовым В.В., доктором технических наук, профессором, генеральным конструктором по автоматическим космическим системам и комплексам - заместителем генерального директора - начальником центра системного проектирования ФГУП ЦНИИмаш. В отзыве отмечены следующие недостатки работы:

1. Не приведено сравнение рассчитанной структуры магнитных силовых линий в разрядном промежутке с измеренной экспериментально. При проведении математических расчетов не учитывалась, в частности, неоднородность самого материала магнитопровода.

2. Не приведены зависимости расходимости потока ускоренных ионов от топологии магнитного поля внутри разрядного промежутка. Вместе с тем, расходимость потока определяет эрозию элементов конструкции, с которыми контактирует плазменная струя, и, в конечном итоге, срок службы двигателя и КА в целом.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Марахтанова Михаила Константиновича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой Э-8 Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

В отзыве отмечены следующие недостатки:

1. О базовых уравнениях. В тексте диссертации, в формулах на стр. 13, пропущена величина ускорения свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ в уравнениях с удельным импульсом (в тексте автореферата этих формул нет). В уравнениях (2.2) и (2.3) должно быть однообразие использованных векторов: или магнитная индукция B , или напряженность магнитного поля, см. уравнения (1) и (22) в автореферате.
2. В начале второй главы требуются графические схемы для наглядной оценки достоверности предложенной математической модели. Такими же схемами следовало бы изобразить векторы поля на поверхности магнитопроводов с простыми и сложными границами (граничными условиями).
3. В тексте много аббревиатур, трудно читать. Все аббревиатуры следовало бы вынести на первые страницы диссертации, чтобы читатель не терялся в догадках об их смысле по ходу текста.
4. «Пониженная дисциплина» в использовании технических терминов: следует говорить не о нагреве конструкции СПД, а называть ее температуру, стр. 49; стендовые испытания двигателя не следует называть огневыми и т.д.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Смирнова Владимира Александровича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника, ведущего научного сотрудника отделения Токамаков Курчатовского ядерно-технологического комплекса Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». В отзыве отмечены следующие недостатки работы: «Известно, что из-за наличия изменения плотности плазмы по радиусу канала двигателя вдоль магнитной силовой линии появляется градиент электронного давления. Это приводит к тому, что вдоль магнитной силовой линии устанавливается некоторая постоянная величина, которая называется термализованным потенциалом. Эквипотенциальность магнитной силовой линии нарушается. Известно, что это нарушает формирование потока ионов в канале СПД. Хотя это явление отмечается в работе, однако в какой степени оно оказывает влияние на характеристики двигателя, не обсуждается.

При рассмотрении эрозии канала при столкновении ионов пучка со стенками канала не были использованы исследования по катодному распылению. Известно, что катодное распыление носит пороговый характер (распыление начинается при фиксированной энергии ионов), получены зависимости скорости распыления от параметров ионного пучка и состояния поверхности. Эти данные могли бы дополнить исследования эрозии канала двигателя.

Все отзывы, поступившие на автореферат, положительные.

Отзыв на автореферат АО «Корпорация ВНИЭМ», составленный Ходненко В.П., доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником АО «Корпорация ВНИЭМ» и утвержденный Гечей В.Я., доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора по научной работе АО «Корпорация ВНИЭМ», содержит следующее замечание по содержанию работы: при проведении исследований автором не рассматривались СПД малой мощности (менее 200 Вт).

Отзыв на автореферат Ловцова А.С., кандидата физико-математических наук, начальника отдела электрофизики ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» и Шагайды А.А., кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» содержит следующие замечания:

- Не ясно, в чем состоит заявленная научная новизна построения расчетной модели магнитной системы СПД, поскольку, судя по автореферату, под этим подразумевается правильное задание исходных данных при использовании коммерческого расчетного пакета.
- Вызывает сожаление, что три страницы автореферата заняты описанием метода конечных элементов для задач магнитостатики, учитывая, что к алгоритмической реализации описанного метода автор, судя по автореферату, отношения не имеет.
- Вывод автора о том, что границы зон эрозии на внутренней и наружной стенках разрядного канала лежат на одной силовой линии магнитного поля противоречит опубликованным экспериментальным данным других авторов, из которых

следует, что такое совпадение наблюдается не всегда. Поэтому возникает вопрос об уровне общности полученных автором результатов.

- При исследовании взаимосвязи свойств магнитного поля и положения поясков эрозии автор ставил задачу увеличения ресурса СПД, но, к сожалению, в автореферате не нашли отражения результаты ведущихся во многих организациях исследований конфигурации СПД с магнитным экранированием стенок разрядного канала, которая способная кардинально решить вопрос обеспечения высокого ресурса.

- К сожалению, из автореферата невозможно понять, в результате чего у модернизированного двигателя возросли тяга и удельный импульс, если оптимизация магнитной системы проводилась в направлении увеличения ресурса.

Отзыв на автореферат Смоленцева А.А., главного конструктора ОАО «РКК «Энергия» и Островского В.Г., кандидата технических наук, старшего научного сотрудника ОАО «РКК «Энергия» содержит замечание о том, что в работе не рассмотрен вариант центрального расположения катода-компенсатора в СПД большой мощности.

Отзыв на автореферат Благодирова Л.А., кандидата физико-математических наук, доцента кафедры молекулярной физики Физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова содержит следующее замечание по содержанию работы:

В автореферате очень скупо отражен тот конкурентный фон, на котором вырисовываются те проблемы, которые решает автор. Сравнение результатов, полученных на усовершенствованных лабораторных установках, осуществляется только в сопоставлении с результатами, полученными на серийных установках, созданных на том же предприятии «Факел», на котором изготавливаются и упомянутые лабораторные установки. Небольшое замечание, относящееся к оформлению автореферата: на графиках, изображающих профили эрозии изоляторов двигателей, нет обозначения осей в соответствующих единицах.

Отзыв на автореферат КБ «Салют», составленный Кузнецовым С.В., заместителем генерального конструктора, Сорокиным В.А., начальником отдела,

Никулиным В.Д., главным специалистом К.Б. «Салют» и утвержденный Соколовым М.Б., кандидатом технических наук, генеральным конструктором КБ «Салют» содержит следующее замечанием по содержанию работы:

К недостатку работы можно отнести отсутствие измерений параметров плазмы исследуемых СПД, что позволило бы иметь более полное представление физических процессах, протекающих в двигателе.

Отзыв на автореферат АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», составленный Головенкиным Е.Н., главным ученым секретарем НТС, доктором технических наук, профессором; Ермошкиным Ю.М., начальником лаборатории проектирования и испытаний систем коррекции КА, кандидатом технических наук, доцентом и утвержденный Косенко В.Е., доктором технических наук, профессором, заместителем председателя Президиума НТС, первым заместителем генерального директора – первым заместитель генерального конструктора АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева» содержит следующее замечание по содержанию работы: «В качестве недостатков работы, можно отметить то, что критерии оптимизации конструкции двигателя и магнитного поля не формализованы, за исключением общепринятого минимума разрядного тока. В работе уделено значительное внимание совершенствованию конструкций существующих моделей СПД на стандартном режиме 300 В, хотя очевидно, что добиться кардинального улучшения удельных параметров на этом режиме невозможно. В то же время из материалов автореферата неясно, удастся ли с помощью аналогичной «оптимизации» достигнуть требуемых характеристик высоковольтных моделей двигателей, в частности, по удельному импульсу и ресурсу.

Отзыв на автореферат Салмина В.В., директора НИИ космического машиностроения СГАУ, заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора и Волоцьева В.В., старшего научного сотрудника НИИ космического машиностроения, кандидата технических наук. В качестве недостатка отмечено то, что предложенные методика и рекомендации апробированы всего на одной марке двигателя СПД-100.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная публикация, что подтверждается наличием публикаций по тематике исследования. Ведущая организация выбрана в соответствии с её широко известными достижениями в области разработки ракетно-космической техники, способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика двумерных и трехмерных расчетов величины и топологии магнитного поля СПД в ППП NISA, а также методика прогнозирования ресурсных характеристик разрядной камеры СПД по результатам магнитных расчетов и параметров рабочего режима двигателя;

предложен новый подход по определению оптимального местоположения катода-компенсатора на периферии СПД и рекомендации по его реализации;

доказана перспективность применения разработанных методик и рекомендаций при проектировании конструкции СПД, в частности при модернизации конструкции СПД-100.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано существование количественной зависимости между величиной и конфигурацией магнитного поля, параметрами работы СПД и протяженностью и положением слоя ионизации и ускорения в разрядном канале;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования;

предложены гипотеза, объясняющая полученную зависимость эрозионных характеристик разрядной камеры СПД от удельного расхода, а также гипотеза, объясняющая распыление катода-компенсатора на периферии СПД;

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

разработаны и внедрены в ФГУП «ОКБ «Факел» методика проведения магнитных расчетов СПД в ППП NISA, а также методика прогнозирования

геометрических характеристик зон эрозии стенок разрядных камер СПД при проектировании перспективных СПД и при необходимости модернизации уже существующих моделей двигателей с целью улучшения их выходных и ресурсных характеристик;

определены перспективы практического использования указанных методик при проектировании СПД нового поколения;

представлены рекомендации по выбору схемы магнитной системы, ее конструктивных и электрических параметров, позволяющие обеспечить высокие тяговые и ресурсные характеристики СПД, а также рекомендации по выбору оптимального местоположения катода-компенсатора на периферии анодного блока СПД.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на аттестованном оборудовании; показана воспроизводимость результатов на разных испытательных стендах для различных лабораторных и инженерных моделей СПД;

теория построена на известных положениях магнитостатики, математического моделирования и физики плазмы и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

использовано сравнение полученных в диссертации результатов с результатами, полученными экспериментально и результатами других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в:

проведении автором анализа достоинств и недостатков существующих в настоящее время магнитных систем СПД; отработке методики проведения двумерных и трехмерных расчетов магнитного поля СПД; разработке расчетных моделей магнитных систем двигателей различных типоразмеров производства ФГУП «ОКБ «Факел» и их верификации; проведении анализа зависимости ресурсных характеристик СПД от параметров и топологии магнитного поля двигателя; непосредственном участии в подготовке исходных данных и проведении экспериментах, анализе полученных результатов и формулировке

выводов на их основе; участия в работах по модернизации конструкций двигателей, разрабатываемых в настоящее время в ФГУП «ОКБ «Факел», а также в подготовке публикаций по выполненной работе.

На заседании 16 ноября 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Митрофановой О.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, 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



Зуев Юрий Владимирович

Ученый секретарь МАИ, к.т.н.



Ульяшина Алла Николаевна

16 ноября 2015г.