



ул. Ленина, д. 52, г. Железнодорожный, ЗАТО Железнодорожный, Красноярский край, Российская Федерация, 662972  
Тел. (3919) 76-40-02, 72-24-39, Факс (3919) 72-26-35, 75-61-46, e-mail: office@iss-reshetnev.ru, http://www.iss-reshetnev.ru  
ОГРН 1082452000290, ИНН 2452034898

от 10.11.2016г. исх № НТС-08/25  
на № 08-16-08 от 26.09.16г.

Ученому секретарю диссертационного совета  
Д212.125.08, созданного на базе ФГБОУ ВО  
«Московского авиационного института  
(национального исследовательского  
университета)» доктору технических наук,  
профессору Зуеву Ю.В.

125993, Москва, ГСП-3, Волоколамское  
шоссе, д.4

Уважаемый Юрий Владимирович!

Высылаю Вам отзыв на автореферат диссертации Машерова Павла Евгеньевича на тему «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Приложение: отзыв на автореферат на 6-ти листах, 2 экз.

Главный ученый секретарь НТС,  
доктор технических  
наук, профессор

Головёнкин Е.Н.





ул. Ленина, д. 52, г. Железногорск, ЗАТО Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация, 662972  
Тел.: (3919) 728008, 764500, Факс: (3919) 722635, 756146, e-mail: office@iss-reshetnev.ru, http://www.iss-reshetnev.ru  
ОКПО 10163039, ОГРН 1082452000290, ИНН 2452034898, ОКВЭД 73.10, 35.30.41

## УТВЕРЖДАЮ

Председатель Президиума НТС  
Генеральный директор  
АО «Информационные спутниковые  
системы» им. академика М.Ф. Решетнёва»,  
Заслуженный создатель космической  
техники, лауреат Государственной премии  
РФ и премий Правительства Российской  
Федерации в области науки и техники,  
доктор технических наук,  
профессор, заслуженный деятель науки  
РФ, член-корреспондент РАН



Н. А. Тестоедов

« 09 » XI 2016г.

## ОТЗЫВ

АО «Информационные спутниковые системы»  
им. академика М.Ф. Решетнёва» на автореферат диссертационной работы  
Машерова Павла Евгеньевича  
«Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного  
двигателя»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки  
летательных аппаратов



## **Актуальность исследований**

Проблема снижения степени засоренности космического пространства и обеспечение устойчивости космической деятельности в условиях техногенного засорения ОКП формулируется на уровне международных требований по эксплуатации РКТ. В частности, для обеспечения безопасной эксплуатации КА в окрестности ГСО согласно разработанным Комитетом ООН по космосу «Руководящим принципам по предотвращению образования космического мусора (КМ)» и требованиям ГОСТ Р 52925-2008 КА после завершения их функционирования должны быть уведены из рабочей зоны ГСО в зону захоронения. Поэтому реализация задачи по уводу космического мусора (КМ) или, в общем случае, некооперируемых объектов с использованием сервисных КА из области ГСО в настоящее время становится одной из актуальных проблем.

Существуют разные подходы в части применяемых технологий увода, одной из которых является технология бесконтактного воздействия на объект космического мусора. Большой практический интерес представляет создание космического комплекса для многократного увода фрагментов космического мусора из области ГСО в зону захоронения с использованием сервисного КА, оснащенного бортовыми средствами бесконтактного воздействия на основе высокочастотного источника ионного пучка (ВЧИИП).

В этой связи **актуальность** диссертационной работы Машерова Павла Евгеньевича не вызывает сомнений.

Значительное влияние на эффективность воздействия оказывает форма ионного пучка и достаточно малый угол расходимости, формируемые источником. Известно, что из электроракетных двигателей именно ионные имеют самые небольшие углы расходимости пучка. Тем не менее, используемые в известных ионных двигателях конструкции ионно-оптической системы (ИОС) не могут обеспечить необходимое значение угла расходимости ионного пучка в пределах  $2 - 6^{\circ}$ . По этой причине при разработке ВЧИИП необходимо найти технические решения для конструкции ИОС, которые бы обеспечивали формирование слабо расходящихся пучков ионов.

**Целью** работы является разработка источника ионов для решения задачи

увода некооперируемых объектов КМ с ГСО, что определяет тему, объект, предмет, и задачи выполненных автором исследований.

В соответствии с поставленной целью, основными задачами, решаемыми автором в работе, явились:

1. Проведение анализа требований к разработке ВЧИИП с повышенной эффективностью генерации плазмы в ВЧ-индукционном газоразрядном узле;
2. Создание лабораторной модели ВЧИИП-10Ф;
3. Разработка эффективного метода интегральной диагностики газоразрядного узла;
4. Проведение диагностики локальных параметров плазмы в газоразрядной камере лабораторной модели ВЧИИП-10Ф путем исследования пространственного распределения параметров плазмы;
5. Разработка ИОС ВЧИИП и проведение экспериментальных исследований по определению угла расходимости ионного пучка.

**Научная новизна** выполненных П.Е. Машеровым диссертационных исследований определяется следующим:

1. Разработан ВЧИИП с плоским индуктором и ферритовым сердечником, а также со щелевой ИОС, характеризующийся конструктивной простотой, повышенной энергоэффективностью и полууглом расходимости пучка не более  $3^\circ$ .

2. Разработан новый способ интегральной диагностики газоразрядного узла, позволяющий детализировать баланс ВЧ-мощности и выявить качество технических решений по газоразрядному источнику плазмы и их исполнению. Данный способ признан изобретением в российском патентном ведомстве.

3. Значительно расширена методология зондовой диагностики в части измерений массы ионов плазмы, толщины зондового слоя. Впервые предложены способ и устройство для оценки плотности ионного тока на эмиссионный электрод ИОС, а также предложен безразмерный критерий оценки соотношения размеров собирающей поверхности зонда и зондодержателя, позволяющий снизить погрешность измерений зондами Ленгмюра.

4. Создана ИОС из трех плоских электродов со щелевыми отверстиями,

позволяющая сформировать клиновидный пучок с малым углом расходимости, что обеспечивает применимость ВЧИИП для решения космических задач.

**Практическая значимость** диссертационных исследований состоит в следующем:

- разработана и проведена отработка конструкции лабораторного ВЧИИП, обеспечивающего эффективную диагностику локальных параметров плазмы и возможность ее контроля;
- разработана и реализована методика интегральной диагностики ВЧ-индукционного газоразрядного узла ВЧИИП, которая позволила оценить его операционные и конструктивные параметры, определяющие физико-технический облик изделия, включая степень его совершенства и схемотехники линии электропитания разряда. В результате выявлено существенное преимущество с точки зрения энергоэффективности применения плоского индуктора с ферритовым сердечником в газоразрядной камере ВЧИИП по сравнению с цилиндрическими и куполообразными индукторами без феррита;
- проведена диагностика локальных параметров плазмы в разрядной камере, выявлена их относительная равномерность;
- обеспечена возможность зондовых измерений толщины зондового слоя и массы ионов плазмы для корректного выбора зондовой теории, используемой для интерпретации результатов измерений;
- предложены и реализованы способ и устройство для оценки плотности ионного тока на эмиссионных электродах ИОС. Полученная точность оценки позволяет использовать результаты при проектировании ИОС;
- спроектированы и созданы плоские графитовые электроды ИОС, обеспечивающие возможность получения «дальнобойного» клиновидного ионного пучка.

Результаты диссертационных исследований применялись в научно-исследовательских работах по проработке технических вопросов создания сервисного КА с бесконтактными средствами воздействия на объекты КМ для их

увода из защищаемой области ГСО, выполняемых АО «ИСС» по заказу ФГУП ЦНИИМаш, направленных на подготовку к переходу к практической реализации технологии бесконтактной очистки в рамках соответствующей ОКР.

**Достоверность научных результатов** подтверждена новыми методическими разработками, эффективностью их реализации, согласием экспериментальных и расчетных данных, а также непротиворечивостью полученной информации данным других авторов.

**К недостаткам** автореферата следует отнести:

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

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

Приведенные недостатки не являются принципиальными, они носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

### **Заключение**


Анализ материалов представленного на отзыв автореферата диссертационной работы П.Е. Машерова позволяет нам считать, что:

1. диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит научно обоснованное решение задач, связанных с созданием высокочастотных источников ионного пучка для использования в составе сервисного КА;
2. в диссертационных исследованиях, выполненных лично автором, обладающих научной новизной, получены результаты, которые свидетельствуют о

существенном вкладе автора работы в разработку ВЧИИП для очистки ГСО от объектов КМ;

3. основные результаты диссертации неоднократно обсуждались на семинарах НИИ ПМЭ МАИ, МАИ, докладывались и получили полную поддержку ученых и специалистов на российских и международных конференциях;
4. в целом, диссертационная работа «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя» по своей актуальности, научной новизне, практической значимости полученных результатов является завершённой научной квалификационной работой, соответствующей требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Машеров Павел Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Главный ученый секретарь НТС,  
действительный член Российской  
и Международной инженерных академий,  
лауреат премий Правительства  
Российской Федерации, Заслуженный  
инженер России, Заслуженный создатель  
космической техники, доктор технических  
наук, профессор



Е.Н. Головёнкин  
09.11.2016

Начальник отдела общего  
проектирования КА и систем,  
лауреат премии Правительства РФ в области  
науки и техники



А.В. Яковлев

Начальник сектора системных анализов  
отдела общего проектирования КА и систем



В.А. Кириллов