



Государственный научный центр Российской Федерации –
федеральное государственное унитарное предприятие

**"Исследовательский центр
имени М.В.Келдыша"**

(ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша")

ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228
ОКПО 07547339 ОГРН 1027700482303 ИНН/КПП 7711000836/774301001
kerc@elnet.msk.ru; kerc@comcor.ru; http://www.kerc.msk.ru

17. 11. 2016 № 71-06/244

на № _____ от _____

«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» МАИ

Ученому секретарю
диссертационного совета Д 212.125.08

Ю.В.Зуеву

Волоколамское ш., 4, Москва,
А-80, ГСП-3

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Машерова Павла Евгеньевича на тему «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя», представленной на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05.

Приложение: отзыв на автореферат на 3 л., 2 экз.

Ученый секретарь

Ю.Л.Смирнов

Исполнитель: И.Д.Сучкова
конт.тел: +7 (495) 456-63-47



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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»

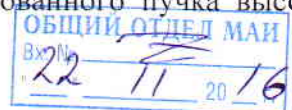
Диссертационная работа Машерова Павла Евгеньевича посвящена разработке источника ионного пучка ВЧИИП-10Ф космического назначения, который предназначен для бесконтактного увода крупногабаритных объектов космического мусора с геостационарной орбиты. Актуальность данной работы обусловлена остротой проблемы засорения околоземных орбит и необходимостью решения этой проблемы в ближайшем будущем.

Научная новизна работы заключается в основном заключена в разработке высокочастотного источника ионного пучка ВЧИИП-10Ф на основе технологии ионного двигателя с плоским индуктором и ферритовым сердечником, металлической газоразрядной камерой, а также со щелевой ионно-оптической системой. Полуугол расходимости ионного пучка в ходе экспериментов не превысил 3 градусов, что наиболее важно для задачи увода.

Разработка нового способа интегральной диагностики газоразрядного узла, позволила получить баланс ВЧ-мощности в источнике, выявить слабые места, потери в линии электропитания и сформировать пути для повышения энергоэффективности.

В ходе работ с зондами Ленгмюра была расширена их область применения: разработан зондовый способ измерений массы ионов плазмы и толщины зондового слоя в невозмущённой максвелловской плазме; предложен способ количественной оценки близости экспериментальной плазмы к максвелловской среде; предложены способ и устройство для оценки плотности ионного тока на эмиссионный электрод ионно-оптической системы источника ионов; получен безразмерный критерий оценки соотношения размеров собирающей поверхности зонда и поверхности зондодержателя, позволяющий снизить погрешность измерений зондами Ленгмюра.

Ионно-оптическая система, состоящая из трёх плоских электродов со щелевыми отверстиями, первый из которых профилированный, позволила сформировать клиновидный пучок с малым углом расходимости, что важно для решения поставленной задачи. Стоит отметить высокую роль в создании сколламированного пучка высокой



степени равномерности плазмы внутри газоразрядного объёма. Равномерность была достигнута корректным выбором формы индуктора и адекватным соотношением высоты и диаметра газоразрядной камеры. При помощи программы IGUN были расчётным путём определены зависимости угла расходимости от приведённого первеанса ионного пучка и найдены минимальные значения полуугла расходимости ионного пучка поперёк щелей. Эксперименты с эрозией титановой и стеклянной мишеней показали хорошее согласие с расчётами.

Достоверность полученных результатов, научных положений и сделанных выводов достигнута корректным выбором и применением методических разработок, эффективностью их реализации, непротиворечивостью полученной информации с аналогичными данными других авторов, а также согласием экспериментальных и расчётных результатов.

Практическая и теоретическая значимость результатов работы:

-Разработана и проведена отработка конструкции лабораторного ВЧ-источника ВЧИИП-10Ф с металлической камерой, плоским индуктором с ферритовым сердечником. Плоские профилированные электроды ионно-оптической системы со щелевыми отверстиями улучшили фокусировку ионного пучка.

-Разработана и апробирована методика интегральной диагностики ВЧ-индукционного газоразрядного узла источника ионного пучка, которая позволила оценить его параметры, определяющие технический облик изделия, степень совершенства его конструкции и схемотехники линии электропитания разряда.

-Проведена диагностика локальных параметров плазмы в газоразрядной камере, выявлена высокая степень равномерности параметров плазмы. Устранение влияния размера зондодержателя позволило повысить точность измерений плазменных параметров зондами Ленгмюра. Получена возможность зондовых измерений толщины зондового слоя и массы ионов плазмы. Предложен и апробирован способ и устройство для оценки плотности ионного тока на эмиссионный электрод ионно-оптической системы.

-Плоские электроды ионно-оптической системы источника ионного пучка на основе технологии ионного двигателя благодаря высокой степени равномерности плазмы в газоразрядном объёме позволили получить сколламированный пучок.

Исходя из информации, представленной в автореферате, можно сформулировать следующие замечания:

1. В автореферате недостаточно полно освещены подходы и способы оптимизации конструкции, использованные при создании устройства ВЧИИП-10Ф, а также методика интегральной диагностики газоразрядного узла.

2. В ходе работ с ВЧИИП-10Ф получены значения цены иона в диапазоне 775 – 1000 Вт/А, что в 2 – 3 раза выше, чем в известных ионных двигателях аналогичного типоразмера (Т5, РИТ-10, $\mu 10$). К сожалению, в автореферате причины столь низкой энергоэффективности ГРК не приводятся.

Судя по автореферату, диссертационная работа Машерова П.Е. выполнена на высоком научно-техническом уровне и является законченной научно-исследовательской, квалификационной работой, основные результаты которой достаточно полно отражены в 21 публикациях. Работа П.Е. Машерова отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Начальник отдела электрофизики,
кандидат физико-математических наук

А.С. Ловцов

Ведущий научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

А.А. Шагайда

Ловцов Александр Сергеевич

кандидат физико-математических наук, начальник отдела электрофизики,
Государственный научный центр Российской Федерации – федеральное государственное
унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (ГНЦ ФГУП
«Центр Келдыша»), 125438, г. Москва, ул. Онежская, д. 8; телефон: +7 (495) 456-64-65; e-
mail: lovtsov@kerc.msk.ru.

Подписи А.С. Ловцова и А.А. Шагайды удостоверяю

Ученый секретарь ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»,

кандидат военных наук



Ю.Л. Смирнов