

Отзыв

официального оппонента, кандидата технических наук Островского Валерия Георгиевича, старшего научного сотрудника ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва», на диссертацию Машерова Павла Евгеньевича «Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Диссертационная работа Машерова П.Е. посвящена **актуальной теме** создания космического источника ионного пучка для увода объектов космического мусора с геостационарной орбиты, которая широко используется для сервисного использования в наземных системах связи и телетрансляций. В большинстве своем такими объектами космического мусора являются спутники, которые исчерпали свой ресурс и вышли из строя. Специфика данной технической задачи требует создания нового источника ионного пучка, который позволил бы с наибольшей эффективностью увести данные объекты на более высокие орбиты. Решение такой задачи является, несомненно, актуальной темой для исследования.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что рассмотрена не только возможность создания такого источника, но и исполнена его лабораторная модель, а результаты, полученные при её испытаниях, подтверждают обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Диссертация представляет собой рукопись объемом 169 страниц печатного текста, включая 151 рисунок, 3 таблицы, а также список цитируемой литературы, содержащий 138 наименований. Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка использованных источников.

Во **введении** обосновывается актуальность работы, описывается степень разработанности избранной темы, формулируются цели и задачи, научная новизна, значимость результатов работы, методы исследования, пути реализации и внедрения результатов работы, личный вклад соискателя, даются сведения об апробации работы и публикациях автора.

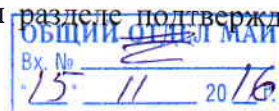
В **первом разделе** излагаются теоретические основы ионных двигателей, в частности, высокочастотных, их преимущества по сравнению с другими типами двигателей, разрабатываются требования к будущему источнику ионов на основе высокочастотного ионного двигателя, проводится поиск путей повышения энергоэффективности источника выбором формы индуктора и возможностью применения феррита, проводится обзор физико-математических моделей ВЧИ-разряда.

Во **втором разделе** описывается создание модели ВЧИИП-10Ф и линии её электропитания, обработка системы поджига ВЧИ-разряда в источнике.

Третий раздел работы посвящен методологическим вопросам диагностики газоразрядного узла ВЧИИП. Описан разработанный методологический подход оценки интегральных и технических характеристик газоразрядного узла источника. Изложены вопросы организации измерений параметров плазмы посредством зондов Ленгмюра.

В **четвертом разделе** диссертации изложены результаты интегральной диагностики газоразрядного узла ВЧИИП-10Ф, а также результаты диагностики локальных параметров его плазмы. Получены высокая энергоэффективность генерации плазмы, а также высокая степень её пространственной равномерности в газоразрядной камере.

Пятый раздел диссертации посвящен созданию и испытаниям ионно-оптической системы в составе источника, а также экспериментальному подтверждению расчетных характеристик по углу расходимости ионного пучка. В данном разделе подтверждается



возможность использования созданной модели для решения задач увода ОКМ с ГСО Земли, связанная со значениями полуугла расходимости ионного пучка (3 градуса), существенно меньшими минимальных расчетных величин (6 градусов). Следует отметить, что выполненные оценки плотности ионного тока к ионно-оптической системе оказались достаточно близки к эксперименту (расхождение не более 30 %).

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Диссертационная работа Машерова П.Е. характеризуется высоким научным уровнем, новизной и практической направленностью. Отмечу следующие пункты, в полной мере отражающие **научную новизну диссертационной работы**:

1) Разработан ионный источник с плоским индуктором, оснащенный ферритовым сердечником, обеспечивающим повышенную равномерность плазмы в газоразрядной камере модели, что подтверждается результатами зондовых измерений параметров плазмы, показавших, что неравномерность концентрации электронов составляет величину менее 15 %, а неравномерность температуры электронов – не более 5 %. Эффективность передачи ВЧ-мощности от генератора в разряд, полученная с использованием новой методики интегральной диагностики, достигала 92 %. При этом ионно-оптическая система (ИОС), выполненная в виде плоских электродов щелевой геометрии, позволила сформировать клиновидный пучок ионов с полууглом расходимости не более 3 градусов.

2) Расширена область применения зондов Ленгмюра в невозмущенной максвелловской плазме в направлении измерений толщины зондового слоя и массы ионов плазмы с использованием закона Больцмана, формулы Бома, «закона 3/2» и ступенчато-фронтальной модели зондового слоя. Предложены способ количественной оценки близости экспериментальной плазмы к максвелловской среде, а также способ и устройство для оценки плотности ионного тока на эмиссионный электрод ИОС. Получен безразмерный критерий влияния отношения размера зондодержателя к собирающей поверхности зонда на уровень искажений параметров изучаемой плазмы, позволяющий заранее задать уровень такой погрешности.

Проведенные эксперименты подтвердили корректность выводов, сделанных диссертантом на основе изучения ВЧИ-газоразрядного узла модели и использованных им при разработке щелевой ионной оптики модели. Испытания модели на большой вакуумной камере подтвердили правильность расчета ИОС и показали полуугол поперечной расходимости ионного пучка в пределах 2-3 градусов при практически нулевом угле расходимости ионного пучка вдоль щелевых промежутков ИОС. Испытания последней показали её повышенную эффективность, что весьма важно для успешного решения задач увода объектов космического мусора с геостационарной орбиты.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Машерова П.Е. выполнена в рамках весьма актуальной тематики и содержит новые научные и технические результаты, которые будут способствовать успешному созданию ВЧИД и ВЧИИП нового поколения.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что:

-разработана и испытана предназначенная для ВЧИД модель источника ионного пучка новой конструкции с малыми полууглами расходимости (не более 3 градусов), представляющая перспективное устройство нового поколения на основе ВЧИ-разряда, способное успешно решать актуальную задачу бесконтактного увода крупногабаритных ОКМ с ГСО;

- предложенные методики интегральной и локальной диагностики привели к углублению и расширению возможностей изучения ВЧИД и других ВЧ источников ионов и плазмы.

Достоверность и обоснованность научных результатов работы подтверждается хорошей корреляцией расчетных и экспериментальных данных, полученных при выполнении работы.

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Автореферат и публикации автора в полной мере отражают содержание диссертационной работы и отвечают требованиям ВАК.

Результаты исследований автора, представленные в диссертационной работе, изложены в 5 научных статьях, опубликованных в изданиях из списка ВАК, в 5 статьях в иностранных рецензируемых журналах, входящих в международные реферативные базы, а также в тезисах 11 конференций.

Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой. Материал в диссертационной работе изложен грамотным техническим языком, четко обозначен личный вклад автора в результаты исследований.

В качестве замечаний отмечу следующее:

1) При описании результатов интегральной диагностики в части энергетической эффективности газоразрядного узла модели можно отметить, что КПД передачи ВЧ мощности в разряд до 0,92 отнесён к падающей ВЧ-мощности генератора. По отношению к электропитанию генератора в целом он составляет величину в 2 раза меньшую, равную 0,46 при точном согласовании генератора с нагрузкой (обеспечивает максимум передачи ВЧ мощности в разряд). Поэтому достигнутый в диссертации верхний предел КПД модели ВЧИИП равен 0,46, что важно для его привязки к сервисному космическому аппарату.

2) Текст диссертации не лишен грамматических ошибок.

Сделанные замечания не влияют на главные теоретические и практические результаты и не снижают высокого научно-технического уровня выполненной работы.

Рецензируемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Машеров Павел Евгеньевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Островский Валерий Георгиевич

Почтовый адрес: 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А.

Телефон: 8-915-165-0897.

Адрес электронной почты: valeriyostrovsky29@gmail.com

Сайт: <http://www.energia.ru/>

Официальный оппонент, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник ПАО «Ракетно-космическая
корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»

В.Г.Островский

«Подпись официального оппонента В.Г. Островского удостоверяю»
Ученый секретарь ПАО «РКК «Энергия» имени С.П. Королёва»
кандидат физико-математических наук



О.Н. Хатунцева