

141070

г. Королев

Московской области,

ул. Ленина, 4-а

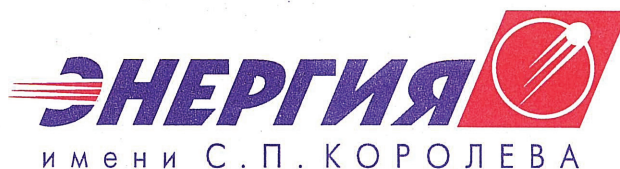
Телеграфный "ГРАНИТ"

Телефон: (495) 513-86-55

Факс: (495) 513-88-70, 513-86-20, 513-80-20

E-mail: post@rsce.ru

http://www.energia.ru



Ученому секретарю диссертационного  
совета Д.212.125.08 МАИ  
д.т.н., проф. Ю.В. Зуеву

20.12.2017 № 276-15/704

На № \_\_\_\_\_

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3  
Волоколамское шоссе, д. 4, МАИ

### О Т З Ы В

на автореферат диссертации Кожевникова Владимира Владимировича  
«Исследование локальных параметров плазмы в разрядной камере  
высокочастотного ионного двигателя малой мощности» представленной на  
соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и  
энергоустановки летательных аппаратов»

Диссертационная работа Кожевникова В.В. посвящена актуальной проблеме разработки новых моделей высокочастотных ионных двигателей для задач современной отечественной космонавтики. При этом основным предметом работы являются распределения локальных параметров плазмы (температуры и концентрации электронов) в объёме разрядной камеры двигателя.

Развитие электроракетных двигателей невозможно без детального исследования рабочего процесса в них. В настоящее время в нашей стране начались работы по подготовке к внедрению сеточных ионных двигателей в космическую технику. Это обусловлено тем, что для задач с повышенным сроком активного существования космического аппарата требуются большие, чем у традиционно применяемых стационарных плазменных



двигателей скорости истечения ионов. В результате экономится масса рабочего тела и увеличивается полезная нагрузка. Среди сеточных двигателей особый интерес вызывает высокочастотный ионный двигатель (ВЧИД), обладающий рядом преимуществ – более высокой надежностью, определяемой использованием для ионизации рабочего тела высокочастотного безэлектродного разряда; меньшей массой систем электропитания и практически не чувствительный к воздействию химически активных газов, имеющихся в составе рабочего тела и попадающих в двигатель из внешней атмосферы космического аппарата. Вместе с тем применение ВЧИД осложняется относительно высокой ценой иона – 400...600 Вт/А, что выше, чем у используемых сегодня типов ЭРД (например, у отработанных моделей ионных двигателей цена иона близка к 200 Вт/А). Основные потери в ВЧИД происходят в результате потерь энергии при вводе высокочастотной мощности в плазму для ее ионизации. Совершенствование процесса передачи энергии в плазму разрядной камеры ВЧИД является **актуальным**.

Проведение автором исследования локальных параметров плазмы в разрядной камере – с использованием зондовой диагностики – позволяет собрать ценные данные по особенностям протекания рабочего процесса, что необходимо для теоретических оценок возможности повышения эффективности.

Кожевников В.В. в своей работе провёл скрупулёзные измерения большого массива зондовых характеристик. По результатам измерений автором были построены двумерные распределения температуры и концентрации электронов в плазме ВЧИД малой мощности для разных режимов работы. Было проведено сравнение разных уровней массового расхода ксенона 1,6...2,4 мг/с, причём при каждом из расходов автор сравнивал параметры разряда в ВЧИД без извлечения пучка ионов и с наличием такового. Данное сравнение проводилось впервые.

Положения диссертационной работы, представляющие **научную новизну**:

1. Разработана методика исследования локальных параметров плазмы ВЧИД малой мощности с применением тройного электростатического зонда и специального алгоритма для обработки экспериментальных данных, позволяющая построить двумерные распределения локальных параметров плазмы в объеме разрядной камеры.

2. Впервые проведено сравнительное экспериментальное исследование распределений локальных параметров плазмы в объеме ВЧИД в режимах с извлечением и без извлечения ионного пучка.

3. Предложена численная модель, позволяющая построить двумерные распределения локальных параметров плазмы ВЧИД.

#### **Практическая и теоретическая значимость результатов работы:**

1. Создана лабораторная модель ВЧИД ММ, позволяющая проводить измерения локальных параметров плазмы в РК, особенностью которой является возможность введения электростатических зондов в плазму через отверстия в стенке камеры.

2. Разработана методика исследования локальных параметров плазмы в РК ВЧИД с применением тройного электростатического зонда без дополнительной аппаратной фильтрации его сигнала. Показана возможность применения данной методики для исследования плазмы ВЧИД.

3. По результатам измерений построены двумерные распределения локальных параметров плазмы в РК ВЧИД ММ для разных массовых расходов рабочего тела (ксенона) в двух режимах: с извлечением и без извлечения ионного пучка. Полученные распределения температуры и концентрации электронов пригодны для использования при численном моделировании процессов в РК ВЧИД.

4. Произведено численное моделирование процесса плазмообразования в объеме РК; результаты расчетов сравнивались с экспериментальными распределениями локальных параметров плазмы в объеме РК ВЧИД ММ, а также с данными других исследователей.

**Достоверность** полученных результатов, научных положений и выводов диссертации обусловлена использованием корректной методики измерений, основанной на апробированных ранее подходах; проведением экспериментальных исследований на сертифицированном оборудовании; совпадением результатов численного моделирования с экспериментом, а также с данными других исследователей.

Однако в работе следует отметить некоторые **замечания**:

1. Полученные распределения локальных параметров в плазме разрядной камеры ВЧИД недостаточно увязаны с интегральными параметрами двигателя. Так наличие оценок подобной связи позволило бы автору судить о влиянии локальных параметров на тяговые характеристики и ресурс двигателя.

2. Следовало сделать иллюстрации экспериментальных распределений более наглядными и привести в автореферате графики (помимо двумерных распределений, присутствующих в нём) или таблицы с величинами локальных параметров. Масштаб рисунков в автореферате с двумерными распределениями мал, из-за чего количественные результаты экспериментального исследования затруднительно оценивать.

В целом автореферат работы написан логичным и грамотным техническим языком, а отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку проведенного исследования. Диссертационная работа Кожевникова В.В. является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой возможно использовать при создании новых электроракетных двигателей.

В автореферате приводится перечень публикаций автора по теме диссертации, включающий: 6 статей в изданиях из рекомендованного ВАК при Министерстве образования и науки РФ перечня рецензируемых научных изданий, 3 статьи в рецензируемых иностранных изданиях, входящих в международные реферативные базы (Scopus) и один патент на полезную модель.

Диссертационная работа Кожевникова В.В. соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Кожевников Владимир Владимирович, заслуживает присуждение степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Ведущий научный сотрудник  
ПАО «РКК «Энергия», к.т.н.

Сухов Ю.И.

Инженер-конструктор 1 кат.  
ПАО «РКК «Энергия»

Щербина П.А.

Подписи Сухова Ю.И., Щербины П.А.  
удостоверяю

Ученый секретарь ПАО «РКК «Энергия»,  
к.ф.-м.н.



Хатунцева О.Н.

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия»

Почтовый адрес: 141070 Моск. обл., г. Королев, ул. Ленина д. 4а

Телефон: 8 (495) 513-65-82

Официальный сайт: <http://energia.ru>

Электронная почта: [post2@rsce.ru](mailto:post2@rsce.ru)

20.12.2017