

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Круглова Кирилла Игоревича «Моделирование теплофизических процессов в высокочастотном ионном двигателе» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов"

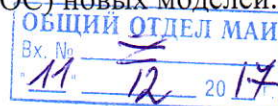
Диссертационная работа Круглова К. И. посвящена важной и актуальной задаче разработки и создания высокочастотного ионного двигателя (ВЧ ИД).

Долгие годы в нашей стране значительное внимание уделялось разработке и исследованию электроракетных двигателей (ЭРД) с азимутальным дрейфом электронов – двигателей с анодным слоем (ДАС) и стационарных плазменных двигателей (СПД), для реализации задач коррекции космических аппаратов (КА) с большим сроком активного существования (САС). И только в последнее время, в связи с ростом энерговооруженности КА, появилась возможность применения на них ЭРД с высоким удельным импульсом и возобновлены работы по созданию ионных двигателей (ИД). Наиболее проработанным и исследованным, как в западных странах так и у нас в стране является ИД типа Кауфмана, основанный на использовании разряда постоянного тока в магнитном поле. Конструктивным преимуществом ВЧ ИД, существенно увеличивающим его надежность и ресурс, является отсутствие электродов в разрядной камере (РК). Кроме того, отпадает необходимость в создании относительно тяжелой магнитной системы и источника её электропитания.

Одним из сложных технических вопросов создания ВЧ ИД является разработка его тепловой схемы. Решение может быть достигнуто на основе расчетно-экспериментального исследования, включающего разработку моделей тепловыделения в элементах конструкции и обобщенной модели теплофизических процессов в конструкциях ВЧ ИД различной размерности, а также разработку методик экспериментального определения температурных распределений в различных образцах.

Таким образом, актуальной и востребованной задачей является разработка расчетной тепловой модели на этапе эскизного проектирования и методики экспериментального определения температур элементов конструкции на этапе исследовательских, доводочных и последующих испытаний ВЧ ИД.

Диссертационная работа Круглова К.И. посвящена разработке модели тепловых процессов в ВЧ ИД, проведению численных и экспериментальных исследований распределения температур в образцах ВЧ ИД различной размерности, а также разработке рекомендаций по проектированию ионно-оптической системы (ИОС) новых моделей.



Научная новизна работы состоит в том, что впервые в отечественной практике разработана модель тепловых процессов для исследований ВЧ ИД, связывающая параметры плазмы с тепловыделением в элементах конструкции. Учет лучистых тепловых потоков плазмы ВЧ-разряда в предложенной расчетной математической модели по сравнению с известными моделями, разработанными в Германии для двигателей RIT, позволил увеличить сходимость результатов расчета с экспериментом в пределах инженерной точности 5%. В результате сравнительного численного и экспериментального анализа различных моделей ВЧ ИД показано, что в качестве определяющего критерия теплового состояния и критических значений тепловых потоков наиболее целесообразно использовать ток ионного пучка. Установлено, что для каждого размера двигателя, существует критическое значение мощности для использования материала в качестве электродов ИОС. Это ограничение серьезно сказывается на эффективности двигателей.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Разработанная автором численная модель позволяет еще на этапе эскизного проектирования двигателя определить критические режимы его работы с точки зрения тепловых нагрузок на элементы конструкции и, в особенности, на ионно-оптическую систему. Так, на этапе проектирования ВЧ ИД мощностью 15-20 кВт, с помощью разработанной автором тепловой модели проведены расчеты термической деформации электродов ИОС и определены предельные режимы работы двигателя.

2. На основе проведенных расчетов разработаны рекомендации по применению материалов (в том числе перспективных) для использования в последующих разработках ВЧИД.

3. Практический интерес также представляет возможность нанесения покрытий на электроды ИОС с целью снижения их температур.

Достоверность полученных результатов исследований обуславливается использованием известных физических моделей плазменных процессов, определяющих тепловые потоки на элементы конструкции ВЧ ИД, использованием для расчетов сертифицированного программного комплекса ANSYS, применением аттестованной измерительной аппаратуры (тепловизора и других элементов) для измерения температур в условиях вакуума, а также хорошей сходимостью расчетных и экспериментальных результатов.

Основные результаты работы изложены в двух научных статьях, в рецензируемых изданиях, а также докладывались в период с 2013 г. по 2016 г. на четырнадцати российских и международных конференциях.

Следует отметить и некоторые недостатки работы.

Во-первых, в тексте автореферата, раздел «Научная новизна работы» представлен недостаточно ясно и точно, какие положения в действительности являются новыми научными положениями. Не все приведенные в этом разделе положения отражают действительно новые научные результаты исследований, проведенные автором.

Во-вторых, в автореферате сказано, что в расчетную модель введены контактные сопротивления элементов конструкции, однако не показано как конкретно это было реализовано и не приведены их характерные числовые значения.

В-третьих, выбор метода измерения температур элементов конструкции в вакуумной камере с помощью тепловизора имеет свою специфику и определенные трудности. Нет достаточного обоснования, более подробного сравнительного анализа и преимуществ этого метода в сравнении с другими методами определения температур.

Однако, сделанные замечания, не снижают высокого научно-технического уровня и практической значимости выполненной работы, основные результаты которой отражены в достаточном количестве публикаций.

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

Отзыв на автореферат рассмотрен и одобрен на заседании секции №12 НТС ФГУП ЦНИИмаш (протокол №15 от 24.11. 2017г.).

И.о. начальника отдела 4101

Ю.Г. Гусев

Ведущий научный сотрудник отдела 4101
«Научно-техническое сопровождение наземной
экспериментальной отработки и летные
испытания двигательных установок», к.т.н.
141070, Московская область, г. Королев, ул.
Пионерская, 4. Тел. : 8 (495) 513-48-86
E-mail: PilnikovAV@tsniimash.ru

А.В. Пильников

Подписи Ю.Г. Гусева и А.В. Пильникова
удостоверяю: Главный ученый секретарь ФГУП
ЦНИИмаш, д.т.н., профессор



Ю.Н. Смагин

11.12.2017г