



Государственная корпорация
по космической деятельности «Роскосмос»



Акционерное общество
«Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»)

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22
г.о. Королёв,
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsniimash.ru
http://www.tsniimash.ru

ОГРН 1195081054310
ИНН / КПП 5018200994 / 501801001

14.11.2022 исх. № АИ-22559

исх. № _____ от _____

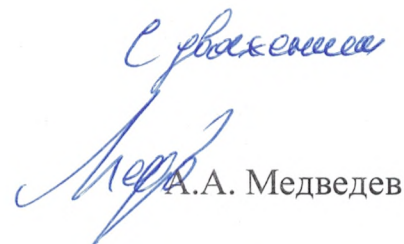
Председателю диссертационного совета
24.2.327.06 на базе Московского
авиационного института (национального
исследовательского университета)
доктору технических наук, профессору
Ю.А. Равиковичу
Волоколамское ш., д.4, Москва
e-mail: mai@mai.ru

Уважаемый Юрий Александрович!

На исх. № 010/1558-2 от 07.11.2022 высылаю Вам отзыв официального
оппонента ведущего научного сотрудника отдела 12003 «Двигательные
установки средств выведения и космических аппаратов» АО «ЦНИИмаш»,
к.т.н. Пильникова Александра Васильевича на диссертацию Гордеева
Святослава Валерьевича «Газоразрядная камера прямоточного
высокочастотного ионного двигателя», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – «Тепловые,
электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Приложение: «Отзыв.....» на 6 листах, 2 экз., н/с.

Генеральный конструктор по средствам выведения
и наземной космической инфраструктуре –
заместитель генерального директора


А.А. Медведев

Исполнитель:
Пильников А.В.
Тел.: (495)513-48-86

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«16» 11 2022г

Отзыв

Официального оппонента Пильникова Александра Васильевича на диссертацию Гордеева Святослава Валерьевича «Газоразрядная камера проточного высокочастотного ионного двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Актуальность темы диссертации

Существуют задачи, для которых целесообразно снижать орбиты космических аппаратов (КА). В частности, характерные высоты круговых околоземных орбит для аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) составляют 300-700 км, но при этом снижение высоты орбитального полета таких КА до уровня 200-300 км позволило бы повысить эффективность работы их целевой аппаратуры.

Однако в данном диапазоне высот возникает необходимость компенсации силы аэродинамического сопротивления верхних слоёв атмосферы, которая приводит к резкому сокращению срока активного существования (САС) космического аппарата.

Эта сила может быть скомпенсирована силой тяги бортовой реактивной двигательной установки. В этом случае САС аппарата будет ограничен запасом рабочего тела (РТ) двигателя. Повышение удельного импульса тяги бортовой двигательной установки приведет к сокращению количества РТ, необходимого для поддержания КА в течение заданного времени. Поэтому наиболее применимыми двигателями для решения данной задачи являются электрореактивные двигатели (ЭРД) с высоким удельным импульсом тяги.

Для дальнейшего повышения срока активного существования КА на низкой орбите представляет интерес возможность использования в качестве РТ для электрореактивного двигателя газы остаточной атмосферы, то есть перехода к

концепции прямоточного электрореактивного двигателя. На сегодняшний день во многих странах мира ведутся работы в этом направлении, однако задача создания эффективно работающего прямоточного электрореактивного двигателя пока не решена.

В случае успешного решения задачи создания такого двигателя появляется возможность освоения низких околоземных орбит, а также перспективы повышения эффективности работы космических аппаратов ДЗЗ, что обуславливает актуальность настоящей диссертации.

Диссертация содержит введение, четыре главы содержательной части, заключение, а также список использованной литературы, содержащий 127 наименований. Текст диссертации на 127 страницах в достаточной мере проиллюстрирован.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертации на основании анализа существующих видов электрореактивных двигателей показано, что наиболее применимыми, с точки зрения реализации по прямоточной схеме, являются ЭРД с электростатическим механизмом ускорения. Также было показано, что одной из перспективных схем прямоточного ЭРД является схема прямоточного высокочастотного ионного двигателя (ВЧИД). Проведенный анализ концепции прямоточного высокочастотного ионного двигателя позволил выявить недостаточно изученные стороны данного устройства, в результате чего была сформулирована цель диссертационной работы - разработка научно технических основ проектирования газоразрядной камеры прямоточного высокочастотного ионного двигателя, работающей в условиях пониженных концентраций рабочего тела.

Для исследований условий работы газоразрядной камеры прямоточного ВЧИД были выбраны способы, позволяющие исключить полномасштабные стендовые испытания образца по прямоточной схеме, при подаче рабочего тела в виде ускоренного потока на вход устройства забора атмосферных газов (УЗАГ).

Была разработана физико-математическая модель высокочастотного индукционного разряда в газоразрядной камере прямоточного ВЧИД. Данная модель является численной и применима к осесимметричной расчетной геометрии. Она основана на известных приемах и методах численного моделирования свободномолекулярного течения газа, а также расчета поведения заряженных частиц. В отличие от существующих на момент начала создания моделей индукционного высокочастотного разряда, приведенная в диссертации математическая модель позволяет, с одной стороны, анализировать изменения локальных параметров плазмы в газоразрядной камере, а с другой стороны, потребляет умеренное количество вычислительных ресурсов.

Также была реализована схема экспериментального исследования ВЧИД с прямоточной конфигурацией газоразрядной камеры, при подаче рабочего тела от стендовой системы в объем устройства забора атмосферных газов. Конфигурация разработанного лабораторного образца позволила показать возможность эффективного удержания плазмы в объеме газоразрядной камеры, и предотвращения электрического пробоя между плазмой и элементами конструкции УЗАГ.

Разработанная физико-математическая модель была верифицирована сначала с использованием опубликованных ранее экспериментальных данных для обычного ВЧИД, а затем с использованием полученных автором диссертационной работы данных для ВЧИД с прямоточной конфигурацией газоразрядной камеры.

По результатам проведенных расчетных и экспериментальных исследований были выработаны рекомендации по проектированию газоразрядной камеры прямоточного ВЧИД.

Достоверность полученных автором результатов диссертационной работы в части экспериментальных исследований, обусловлена использованием корректных методик измерений, основанных на апробированных ранее подходах, а также проведением исследований на сертифицированном оборудовании. При разработке математической модели высокочастотного разряда использовались известные соотношения из газовой динамики и физики плазмы.

Научная новизна результатов исследований

В рамках диссертационной работы разработана оригинальная двумерная осесимметричная физико-математическая модель процессов в газоразрядной камере прямоточного ВЧИД, потребляющая умеренное количество вычислительных ресурсов, и позволяющая, в то же время, анализировать изменения локальных параметров плазмы высокочастотного разряда.

Впервые показана принципиальная возможность удержания высокопотенциальной плазмы в объеме газоразрядной камеры прямоточной конфигурации.

Впервые получены экспериментальные зависимости потребляемой высокочастотной мощности от расхода рабочего тела для высокочастотного ионного двигателя с прямоточной конфигурацией газоразрядной камеры в условиях пониженной концентрации рабочего тела.

Практическая значимость результатов исследований

1. Создан лабораторный макет ВЧИД с прямоточной конфигурацией газоразрядной камеры.
2. Доказана принципиальная возможность работы ВЧИД с прямоточной конфигурацией газоразрядной камеры в условиях пониженной концентрации рабочего тела.

3. Разработана двумерная осесимметричная физико-математическая модель высокочастотного индукционного газового разряда в газоразрядной камере прямоточного ВЧИД.

Результаты работы изложены в 9 научных статьях, из них 2 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК и 6 – в журналах, входящих в международные системы цитирования.

Однако по результатам детального анализа текста диссертации можно сформулировать некоторые замечания по выполненной работе, а именно:

1. В математической модели, при расчете ионизации нейтральных атомов, был использован только приближенный метод, что потенциально снижает точность расчета.

2. Все исследования проводились с использованием азота в качестве рабочего тела, а не смеси атмосферных газов в пропорциях, соответствующих составу атмосферы на рассматриваемых в диссертации высотах функционирования космического аппарата.

3. Несмотря на детальные физические исследования рабочего процесса в самой газоразрядной камере прямоточного ВЧИД в работе не рассматривался процесс нейтрализации ионного пучка на выходе двигателя.

Тем не менее, приведенные замечания не снижают научной и практической значимости проведенных исследований и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке прямоточного высокочастотного ионного двигателя.

Диссертационная работа Гордеева Святослава Валерьевича выполнена на достаточно высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой. Материал изложен грамотным техническим языком, отражен

личный вклад автора в результаты исследований. Автореферат отражает существо диссертации.

Таким образом, рецензируемая диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения ВАК о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям». Изложенный в ней материал соответствует паспорту специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», а её автор, Гордеев Святослав Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Ведущий научный сотрудник отдела 12003 «Двигательные установки средств выведения и космических аппаратов» АО «ЦНИИмаш», кандидат технических наук

 А.В. Пильников

Подпись официального оппонента Пильникова А.В. удостоверяю:
И.о. главного ученого секретаря АО «ЦНИИмаш»,
доктор технических наук, с.н.с.



В.Ю. Ключников

14.11.2022

Полное название организации: Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения" (АО «ЦНИИмаш»).

Адрес: 141070, Россия, Московская область, г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4

Электронная почта: corp@tsniimash.ru

Телефон: 8(495)513-59-51. Факс: 8(495)512-21-00

6
с отзывом ознакомлен 16.11.2022 Гордеев (С.В. Гордеев)