

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Фроловой Юлии Леонидовны «Влияние давления остаточной атмосферы вакуумной камеры на расходимость струи стационарного плазменного двигателя», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук связана с актуальной задачей учета влияния стационарных плазменных двигателей (СПД) на состояние составных частей и систем космических аппаратов (КА).

В водной части автореферата отмечается, что имеют место следующие типы воздействия СПД на КА: эрозионное, механическое, тепловое и загрязняющее воздействие. Например, эрозия поверхности солнечных батарей под воздействием плазменной струи СПД может являться дополнительной причиной деградации характеристик фотоэлектрических преобразователей (помимо эрозии под воздействием микрометеоритного потока и космической радиации), что в конечном итоге ограничивает время активного функционирования КА.

Также фактором, снижающим ресурс КА, является осаждение продуктов распыления на астронавигационной аппаратуре (звездные датчики) и на радиаторах системы терморегулирования. В автореферате приведены и другие возможные негативные факторы, связанные с применением СПД в качестве двигательной установки КА.

Для решения проблемы минимизации негативных последствий воздействия СПД уже на ранних стадиях проектирования КА необходимо обладать набором параметров плазменной струи характерных для условий натурной эксплуатации.

Однако априори понятно, что получение необходимых характеристик непосредственно при измерениях в условиях космического полета представляет собой трудновыполнимую задачу. В силу этого существенно более информативным и технологически обеспеченным является эксперимент в условиях наземного стенда.

Однако в условиях вакуумных камер концентрация частиц остаточной атмосферы, вплоть до нескольких порядков, превосходит реальную концентрацию частиц в космическом пространстве. На результаты экспериментов оказывают влияние столкновения ионов струи СПД с частицами остаточной атмосферы в камере. Также имеет место проникновение частиц остаточной атмосферы в область ионизации и ускорения разрядного канала двигателя.

Поэтому **цель диссертационной работы** – разработка методики переноса результатов измерений параметров плазменной струи СПД, полученных в стендовых условиях, на условия натурной эксплуатации является **важной и актуальной**.

Для достижения поставленной цели автором решены связанные друг с другом **задачи**:

1. Разработана программа и методика измерений параметров плазменной струи высокоимпульсного СПД, получены экспериментальные данные об угловом и энергетическом распределениях ионов струи в различных условиях.

2. Проведена обработка и анализ полученных данных, выявлены закономерности изменений параметров струи в зависимости от давления в вакуумной камере, расстояния от двигателя и других условий эксперимента.

3. На основании выявленных закономерностей разработана методика переноса результатов измерений параметров струи, полученных в стендовых условиях, на условия натурной эксплуатации. Определены параметры струи СПД для условий натурной эксплуатации.

4. Разработаны рекомендации по порядку проведения измерений параметров плазменных струй СПД для получения данных в объеме, достаточном для последующей экстраполяции на условия штатной эксплуатации.

Научная новизна представленной работы заключается в том, что на основании выявленных закономерностей изменения угла расходимости, углового и энергетического распределений потоков ионов струи высокоимпульсного СПД, при изменении давления в вакуумной камере и расстояния от двигателя, разработана методика переноса результатов наземных измерений параметров струи СПД на условия натурной эксплуатации, в которой учитывается ослабление потока ионов в вакуумной камере и исключены индуцированные ионы.

Практическая значимость работы определяется тем, что разработаны методики, которые позволяют на основе исследований параметров плазменных струй СПД, выполненных в условиях вакуумного стенда, оценивать те же параметры для условий штатной эксплуатации КА, причем с высокой степенью достоверности.

Результаты исследования автора **внедрены** в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» при проведении плановых ОКР.

Достоверность результатов экспериментальных исследований обеспечена применением современной, поверенной измерительной аппаратуры, апробированных методик измерения, а также проверкой полученных результатов с использованием различных способов и измерительных приборов. Достоверность теоретических исследований

обеспечена использованием общепринятых физических моделей и математических методов и подтверждена удовлетворительным совпадением результатов расчетов с результатами эксперимента.

Результаты исследований автора в достаточной степени представлены в научных публикациях.

Из текста автореферата следует, что диссертационная работа Фроловой Ю.Л. представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Материал автореферата изложен понятным языком и хорошо структурирован в соответствии с содержанием диссертации.

В тексте автореферата обозначен **личный вклад автора** в результаты исследований, который не вызывает сомнения.

Основываясь на тексте автореферата можно сделать следующие замечания.

Автор указывает для условий наземного эксперимента давления в камере $p = 1,1 - 4,3$ мПа, тогда какая величина давления, по мнению автора, соответствует космическому пространству или минимальной высоте круговой орбиты функционирования СПД?

На рисунке 5 (страница 12) график сглаженной угловой функции фракций ионов с энергией 0-52 эВ качественно выбивается из общей закономерности. По-видимому, это ионы перезарядки. В этом смысле интерес представлял бы вид кривой для ионов с несколько большей энергией 52-100 эВ.

Из текста (страница 13) непонятно – 17 моделей струи это модели, построенные по данным измерений, или это профили струи, измеренные на эксперименте, а собственно физическая модель у них одна?

Что конкретно означает «изменение формы краевых участков электростатической «линзы»», приводящее к «сжатию», струи в условиях остаточной атмосферы вакуумно камеры?

На рисунке 6а (страница 13) график зависимости угла расходимости струи от давления в камере, полученный на базе измерений в «ИСС» сильно выбивается из общей закономерности, в то же время функция плотности тока на оси струи (рисунок 6б – «ИСС»), укладывается в общую закономерность.

На основании рисунка 12 (страница 18, 19) целесообразно было бы сделать вывод непосредственно в тексте автореферата, – где скорость эрозии выше в условиях стенда с соответствующей остаточной атмосферой, или в условиях космического пространства?

Из рассмотрения материала автореферата возникает вопрос: разработанная методика обращения данных, полученных в условиях стенда на условия натурной эксплуатации СПД пригодны для всех типов плазменных двигателей, или есть ограничения?

Замечания к тексту автореферата не снижают научной и практической ценности представленной диссертации.

Результаты диссертационной работы Фроловой Ю.Л. могут быть внедрены в практику проектирования КА с СПД.

Диссертационная работа Фроловой Ю.Л. по своей актуальности, научной новизне и практической значимости отвечает требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Фролова Юлия Владимировна заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Ведущий научный сотрудник
научно-конструкторского отделения 100
канд. техн. наук
20.11.2020

Федоров
Михаил
Юрьевич

Госкорпорация «Росатом»
Акционерное общество «Красная Звезда» (АО «Красная Звезда»)
Электролитный проезд, 1А, Москва, 115230
тел.: (499) 317-63-09
e-mail: info@redstaratom.ru

Подпись Федорова Михаила Юрьевича удостоверяю.

Исполняющий обязанности начальника
отдела по работе с персоналом №401



Е.А. Чибизова