

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2018г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУЙ
ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ С
КРУПНОГАБАРИТНЫМИ АНТЕННАМИ»**
Тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
код и наименование направления
15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	доцент МБК ПФиКТ канд физ-мат. наук	<u>А.А.Хвалько</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>С.М. Бганцева</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	Начальник отдела 250 АО «ИСС», д-р техн. наук	<u>И.А. Максимов</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>Е.С.Сидорова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1 Электроракетные двигатели космических аппаратов.....	12
1.1 Виды двигателей.....	12
1.2 Принцип работы стационарного плазменного двигателя.....	24
1.3 Характеристика плазмы, генерируемой стационарным плазменным двигателем.....	27
2 Механизмы воздействия струй электроракетных двигателей на составные части космического аппарата.....	31
2.1 Механизм эрозионного воздействия струй двигателя.....	31
2.2 Механизм загрязняющего воздействия струй двигателя.....	42
2.3 Влияние плазмы стационарного плазменного двигателя на электрические характеристики антенн.....	42
3 Описание математической модели струи и программного обеспечения TurboDesign.....	49
3.1 Математическая модель струи стационарного плазменного двигателя ...	49
3.2 Описание программного обеспечения TurboDesign 9.0.....	58
3.3 Создание расчетной области.....	60
3.4 Постановка задачи.....	61
4 Оценки эрозионного и загрязняющего воздействия на сетеполотно рефлектора крупногабаритной антенны, попадающее в струи стационарного плазменного двигателя.....	63
4.1 Оценки эрозионного воздействия струй стационарного плазменного двигателя на сетеполотно рефлектора крупногабаритной антенны.....	63
4.1.1 Оценки эрозии.....	63
4.1.2 Оценки деградации коэффициента отражения.....	67
4.2 Анализ оценок эрозионного воздействия.....	69
4.3 Оценки и анализ уровней загрязнения критичных поверхностей продуктами эрозии.....	70

Заключение	72
Список сокращений	73
Список использованных источников	75

[Изъято главы 1-4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был проведен анализ предметной области поставленной проблемы, проведены необходимые оценки и получены основные результаты.

1 При проведении оценок эрозионного воздействия было получено, что 58,5% золотого покрытия сетеполотна КГА КА связи, при попадании на него струй СПД, будет распылено. Максимальное значение глубины эрозии вольфрамовой основы сетеполотна рефлектора КГА от воздействия струи двигателя составит 1,35 мкм.

2 Получены результаты уровней загрязнения ТРП радиаторов СТР продуктами распыления вольфрамовой основы сетеполотна рефлектора КГА. Среднеинтегральная толщина плёнки загрязнения, образованной вольфрамом, не превышает допустимого значения, равного 3 нм.

3 Проведена оценка деградации коэффициента отражения сетеполотна рефлектора КГА КА в результате эрозионного воздействия струй СПД для максимальной величины эрозии и равна 10%.

Как следует из результатов оценок, несмотря на значительные площади распыления золотого покрытия сетеполотна рефлектора антенны, деградация коэффициента отражения сетеполотна невелика, что является, вероятно, допустимым. Следовательно, в дальнейшем при оценках эрозионного воздействия плазменных струй на сетеполотно рефлекторов КГА необходимо пользоваться критерием оценки деградации коэффициента отражения сетеполотна.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ΔA_s	- деградация коэффициента поглощения;
АБ	- аккумуляторная батарея;
БД	- база данных;
БС	- батарея солнечная;
ВНИИЭМ	- Всероссийский научно-исследовательский институт электромеханики;
ДКО	- деградация коэффициента отражения;
ДНА	- диаграмма направленности антенны;
ДУ	- двигательная установка;
ИД	- исходные данные;
КА	- космический аппарат;
КГА	- крупногабаритная антенна;
КДУ	- корректирующая двигательная установка;
ККС	- конструктивно компоновочная схема;
КПД	- коэффициент полезного действия;
МСС	- модуль служебных систем;
ОКБ	- опытное конструкторское бюро;
ПН	- полезная нагрузка;
ПО	- программное обеспечение;
РТ	- рабочее тело;
САС	- срок активного существования;
СПД	- стационарный плазменный двигатель;
СТР	- система терморегулирования;
ТКД	- термокаталитический двигатель;
ТРП	- терморегулирующее покрытие;

ЭРД

- электроракетный двигатель;

ЭРДУ

- электроракетная двигательная установка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Чеботарев, В. Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения: учеб. пособие: кн. 1. Внутреннее проектирование космического аппарата / В. Е. Чеботарев; СибГАУ. Красноярск, 2005.
- 2 Бганцева, С.М. Исследование эрозионного воздействия струй электроракетных двигателей на космический аппарат с крупногабаритными антеннами / С.М. Бганцева, Г.В. Двирный // Решетнёвские чтения : материалы XXI Междунар. Науч.- практ. Конф. – Красноярск, 2017. – Т.1. – С. 424-427.
- 3 Бганцева, С.М. Использование процессного подхода при управлении отделом обеспечения стойкости спутников / С.М. Бганцева, Г.В. Двирный // Решетнёвские чтения : материалы XX Междунар. Науч.-практ. Конф. – Красноярск, 2016. – Т.2. – С. 442-444.
- 4 Гильзин, К. А. Электрические межпланетные корабли : Наука / К. А. Гильзин – Москва : 1970. – 432 с.
- 5 Электрические ракетные двигатели : науч. изд. / С. Д. Гришин, Л. В. Лесков, Н. П. Козлов. – Москва : Машиностроение, 1975. – 272-275 с.
- 6 СПД работают в космосе : науч. изд. «Физика плазмы» / К.Н. Козубский, В. М. Мурашко, Ю. П. Рылов, Ю. В. Трифонов, В. П. Ходненко, В. В. Ким, Г. А. Попов, В. А. Обухов. – Москва, 2003. – 277-292 с.
- 7 Чуэйри, Э. С. Новый рассвет электрических ракет : «В мире науки» / Э. С. Чуэйри. – Москва : №5, 2009. – 34-42 с.
- 8 Стационарно-плазменные двигатели [Электронный ресурс] : ОКБ «Факел» – Калининград, 2012. – Режим доступа: <http://www.fakel-russia.com>.
- 9 Бишаев, А. М., Исследование влияния конфигурации стенок ускорительного канала на распределение локальных параметров. Источники и ускорители плазмы : Вып. 5 / А. М. Бишаев, В. Ким – Харьков, 1981.

10 Обеспечение стойкости космического аппарата к воздействию собственной атмосферы и плазмы, генерируемой стационарными плазменными двигателями : НТО – Железногорск: НПО ПМ, 2007.

11 СТО 154-205 Система менеджмента качества. Обеспечение стойкости космического аппарата к воздействию техногенных факторов. – Введ. 06.04.2015. – Железногорск : АО «ИСС» им. ак. М.Ф. Решетнева». – 93 с.

12 Плешивцев, Н. В., Физика воздействия ионных пучков на материалы : Вузовская книга / Н. В. Плешивцев, А. И. Бажин – Москва, 1998. – 392 с.

13 Проблемы прикладной физики. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Физическое распыление одноэлементных твердых тел : научный сборник / под ред. Р. Бериша: пер. с англ. / под ред. В.А. Молчанова. – Москва, 1984. – 336 с.

14 Bohdanky J., Roth J., Bay H.L., An analytical formula and important parameters for low-energy ion sputtering. – J. Appl. Phys., 1980, vol. 51, n.5, p.2861-2865.

15 Roth J., Bohdanky J., Martinelli A.P. Low energy light ion sputtering of metals and carbides – Radiation Effects, 1980, vol.48, p.213-320.

16 Roth J., Bohdanky J., Ottenberg W. Data on low energy light ion sputtering. IPP 9/26. Garching bei Munchen, May, 1977. – 92p.

17 P. Yalin, B Rubin, S. R. Domingue, Z. Glueckert, J. D. Williams. «Differential Sputter Yields Of Boron Nitride, Quartz, and Kapton Due to Low Energy Xe⁺ Bombardment», AIAA 2007-5314, 43th AIAA Joint Propulsion Conference and Exhibit, Cincinnati, OH, 8-11 July 2007.

18 Надирадзе, А. Б. Исследование эрозионного воздействия струй стационарных плазменных двигателей на радиотражающее сетеполотно крупногабаритных антенн космических аппаратов / А. Б. Надирадзе, В. В. Шапошников, В.А. Смирнов, И.А. Максимов, С.Г. Кочура // Решетнёвские чтения. – Красноярск, 2011. – Т. 1. – С. 82-83.

19 Васильев, Е. Н. Возбуждение тел вращения : Радио и связь / Е. Н. Васильев. – Москва : 1987. – 272 с.

20 Арбатский, В. М., Эрозия каптонов струей стационарного плазменного двигателя / В. М. Арбатский, А. Б. Надирадзе, В. В. Шапошников // Сб. тез. докл. XIV Международной конференции «Взаимодействие ионов с поверхностью». – Звенигород, Моск. обл., 1999. – С.267-270.

21 Определение параметров динамики газовыделения неметаллических конструкционных материалов негерметичных приборных отсеков спутниковых платформ : НТО / Надирадзе А. Б., Шапошников В. В., Гаврюшин В. М. – Москва : Московский авиационный институт, 2009.

22 Программно-математическое обеспечение «Turbo DESIGN 9.0» – М.: МАИ, 2010.

23 Разработка математических моделей и методик экспериментального определения проникания потоков плазмы СПД в ПК и ее влияния на работу оборудования, рефлектор КГА и материалы : Аннотационный отчет / Надирадзе А. Б. – Москва : МАИ, 2005.

24 Отчет об опытно-конструкторской работе «Проведение работ по обеспечению стойкости космического аппарата к воздействию плазмы, генерируемой стационарными плазменными двигателями» (4 этап). – М.: МАИ, 2008. – 91 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

В.Е. Косенко
инициалы, фамилия

« 22 » 06 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУЙ
ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ
С КРУПНОГАБАРИТНЫМИ АНТЕННАМИ

ТСМА

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель


подпись, дата

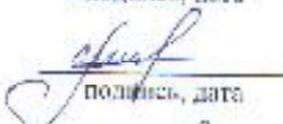
доцент МБК ПФКТ
канд. физ.-мат. наук

должность, ученая степень

А.А. Хвалько

инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

С.М. Бранцева

инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

Начальник отдела 250
АО «ИСС»

доктор техн. наук

должность, ученая степень

И.А. Максимов

инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата

Е.С. Сидорова

инициалы, фамилия

Красноярск 2018