



Госкорпорация «Росатом»  
Акционерное общество  
«Красная Звезда»  
(АО «Красная Звезда»)

Электролитный проезд, д.1А  
г. Москва, 115230  
тел: (499) 317-63-09,  
факс: (499) 613-34-88  
e-mail: [info@redstaratom.ru](mailto:info@redstaratom.ru)

ОГРН 1117746689675

ИНН/КПП 7726682003 / 772601001

19.11.2015 № 211-100-113-03/2009  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председателю диссертационного совета  
Московского авиационного института  
(Национального исследовательского  
университета) Д 212.125.08  
Профессору  
Ю.А. Равиковичу

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

Об отзыве ведущей  
организации на диссертацию

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляем Вам отзыв ведущей организации АО «Красная Звезда» на диссертацию аспиранта Московского авиационного института (Национального исследовательского университета) А.И. Могоулкина на тему «Механико-математическая модель деформаций профилированных электродов ионных двигателей», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

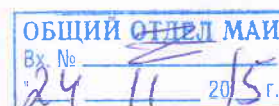
Одновременно возвращаем диссертацию и автореферат.

Приложение: 1. Отзыв ведущей организации на 5л. в 2 экз.  
2. Диссертация - 1 книга.  
3. Автореферат - 1 книга.

С уважением,  
Генеральный директор

В.А. Федосеев

Н.И. Ежов  
(499) 317-54-72



Госкорпорация «Росатом»  
Акционерное общество «Красная Звезда»  
Электролитный проезд, д.1А, г. Москва, 115230,  
тел: (499) 317-63-09, факс: (499) 613-34-88, e-mail: info@redstaratom.ru

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
АО «Красная Звезда»  
В.А. Федосеев  
18. 11. 2015 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации АО «Красная Звезда» на диссертационную работу Могоулкина Андрея Игоревича «Механико-математическая модель деформаций профилированных электродов ионных двигателей», представленную к защите 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 проблемой создания ионных двигателей (ИД) космических аппаратов.

При работе ИД наиболее нагруженным узлом является ионно-оптическая система (ИОС), в ней реализуется более 90% мощности, подведенной к двигателю.

Обеспечение нормальной работы двигателя определяется стабильностью рабочего зазора между профилированными электродами ИОС, что обеспечивается устойчивостью формы электродов при действии тепловых нагрузок работающего ИД.

Поэтому задача разработки механико-математической модели деформаций электродов является **важной и актуальной**.

В разработанной термомеханической модели электроды представлены как тонкостенные оболочки вращения, нагруженные радиальным градиентом

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. №  
24 11 2015

температур. Такая модель позволяет определить упругие деформации электродов при граничных условиях в форме свободного опирания по контуру пологого сферического сегмента.

**Научная новизна** работы заключается в том, что на основе решения системы дифференциальных уравнений разработана методика и алгоритм определения необходимой (из условия устойчивости формы) начальной величины подъема электрода (исходная форма), а также прогиба электрода, который возникает за счет градиента температур. Решение построено в виде нелинейного алгебраического уравнения третьей степени, позволяющего определить безразмерный начальный подъем сферической оболочки электрода и прогиб (перемещение), обеспечивающие изменение межэлектродного зазора в заданных пределах.

**Научная новизна и практическая значимость** представленной работы состоит также в том, что получены результаты численного моделирования деформаций для различных материалов и форм электродов. Учтены перепады температуры по радиусу электродов.

Предложенная методика позволяет прогнозировать изменения межэлектродного зазора при различных геометрических параметрах электрода и сократить время вариантных расчетов при проектировании ИД.

В процессе исследований выявлено изменение величины плотности ионного тока в зависимости от изменения межэлектродного зазора, а также определены диапазоны начальных подъёмов электродов, обеспечивающих необходимую плотность ионного тока.

**Практическая значимость работы** определяется тем, что в результате расчетно-теоретического исследования выработаны рекомендации по выбору параметров конструкции электродов и узла ИОС в целом.

Созданная методика применена при разработке промышленных образцов конструкций ИОС ИД, даны рекомендации для конструирования электродов ИОС ИД, разрабатываемых в НИИ ПМЭ МАИ. Результаты выполненных исследований и расчетов использованы при разработке

конструкции высокочастотных ИД ряда: 80, 100, 160, 450, 500 мм. Изготовлены и испытаны лабораторные модели ВЧИД-8 и ВЧИД-16.

**Достоверность** научных положений и полученных автором результатов подтверждается тем, что результаты расчетов по предложенной модели сопоставлены с экспериментальными данными, а также сопоставлены с результатами, полученными в программном комплексе ANSYS. Сопоставление результатов расчетно-теоретического исследования с результатами моделирования температурных деформаций электродов в программно-вычислительном комплексе ANSYS показало удовлетворительное согласование результатов.

При сравнении результатов вычисления прогибов электродов по разработанной диссертантом методике и результатов эксперимента на двигателе ПИД-200, полученным в НАУ им Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт" отмечено хорошее совпадение. Расхождение по межэлектродному зазору составило в центре 3,7%, на периферии –1,4%.

Результаты исследований, представленные в диссертации, изложены в семи отчетах, двух патентах, пяти изданиях, рекомендованных списком ВАК, в одном рецензируемом иностранном издании, а также докладывались на российских и международных конференциях.

Диссертационную работу А.И. Могулкина характеризует высокий научный уровень, актуальность тематики, практическая ценность и новизна.

Отметим следующие значимые результаты работы:

– решена задача обеспечения устойчивой работы узла ИОС ИД при температурном нагружении;

– выполнено расчетно-теоретическое исследование температурного деформирования электродов ИОС и выработаны рекомендации для проектирования электродов.

– с использованием полученных в диссертации результатов разработана техническая документация ИД, изготовлены опытные образцы двигателей ВЧИД-8 и ВЧИД-16, прошедшие исследовательские испытания.

Диссертационная работа А.И. Могулкина представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Материал изложен понятным языком и хорошо структурирован, обозначен личный вклад автора в результаты исследований.

**К недостаткам** работы можно отнести следующее.

К сожалению, в диссертации отсутствует сравнительный анализ величины прогибов, которые найдены на основе решения алгебраического уравнения, с теми же величинами, полученными в результате решения системы нелинейных уравнений, описывающей прогибы электродов как пологих сферических сегментов.

При сравнении результатов расчетно-теоретического исследования с экспериментальными данными следовало бы ограничиться экспериментом по деформированию электродов двигателя ПИД-200, другие данные имеют много неопределенностей, и их следовало бы рассматривать только в информационном плане.

Представляется неудачным выбор терминов "начальный" и "дополнительный прогиб".

Кроме того, диссертанту следовало бы не выходить за рамки рекомендованного объема квалификационной работы, а в разделе 3.3 избрать более наглядную форму представления числовых данных.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности представленной диссертации. Результаты диссертационной работы А.И. Могулкина могут быть применены при разработке ионных двигателей в НИИ ПМЭ МАИ, ФГУП ОКБ «Факел», КБ «Химв Автоматики» и других организациях, занимающихся проектированием и изготовлением ЭРД.

Работа в целом удовлетворяет требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Андрей Игоревич Могулкин заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции №1 Научно-технического совета АО «Красная Звезда» (Протокол №9/ 2015 от 17 ноября 2015 г.)

Главный конструктор  
АО «Красная Звезда»,  
Заслуженный конструктор  
Российской Федерации

  
П.В. Андреев

Начальник лаборатории прочности  
докт.техн.наук, профессор

  
В.В. Кашелкин

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории прочности  
канд. техн. наук

  
М.Ю. Федоров

Ученый секретарь секции №1 НТС  
АО «Красная Звезда»  
канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник

  
Н.И. Ежов