

## ОТЗЫВ

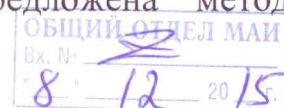
на автореферат диссертации Могулкина Андрея Игоревича  
«Механико-математическая модель деформаций профилированных электродов ионных двигателей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

### **Актуальность темы.**

Работы по проектированию, изготовлению и внедрению нового типа электроракетных двигателей (ЭРД), которые предназначены для решения широкого круга задач в области управления ориентацией и положением на орбите, проводятся в последние годы в рамках федеральных целевых программ. Одним из перспективных типов ЭРД являются ионные двигатели (ИД), которые обладают высоким удельным импульсом тяги и ресурса, что позволяет обеспечить значительный эффект по экономии массы рабочего тела как при решении маршевых задач, так и при использовании в системах коррекции орбиты космических аппаратов.

Ионно-оптическая система (ИОС) ИД, состоящая из ускоряющего, эмиссионного и замедляющего электрода, является сложнопрофильной и тонкостенной деталью, изготовление которой представляет собой сложную материаловедческую и технологическую задачу. Очевидно, что для оценки работоспособности ИОС необходимо применять математическое моделирование и осуществлять прогнозирование напряженно-деформированного состояния в процессе эксплуатации при неравномерном нагреве, который приводит к возникновению дополнительных прогибов электродов (подъем сферического сегмента электрода). Таким образом, актуальность темы диссертации Могулкина А.И. не вызывает сомнений.

**Научная новизна** диссертации заключается в разработке механико-математической модели деформирования профилированных электродов ИОС при тепловом нагружении, на базе которой предложена методика



определения деформаций профилированных электродов различной размерности при учете заданного начального прогиба для широкого круга перспективных материалов. Также научную новизну имеют данные по зависимости деформации электродов ИОС ИД.

Практической значимостью обладает алгоритм расчета безразмерного дополнительного прогиба электродов ИОС, позволяющий производить расчеты, обеспечивающие оценку необходимого начального и дополнительного прогибов в центре электродов при разработке конструкции узлов ИОС ИД различной размерности, представленных в виде густо перфорированных сегментов сферы.

В работе определены требования к узлам ИОС перспективных ИД различной размерности, разработана математическая модель процесса деформирования профилированных электродов ИОС при тепловом нагружении, характерном для их работы в составе ИД. Разработана методика и алгоритм расчетного обоснования процесса деформирования электродов ИОС и проведены расчетно-теоретические исследования. Проведена верификация механико-математической модели ИОС, а также методики и алгоритма расчета с использованием экспериментальных данных и программно-вычислительного комплекса ANSYS. Разработаны конструкции узлов ИОС с электродами разных типоразмеров, обеспечивающих выполнение требований к ним с учетом теплового нагружения при работе в составе ИД.

### **Замечания**

1. Как следует из автореферата, во второй главе диссертации выполнен анализ деформирования электродов ИОС, однако далее по тексту рассматривается только эмиссионный электрод и приведена математическая модель только данного объекта.

2. При составлении математической модели оценки напряженно-деформированного состояния эмиссионного электрода ИОС он считается модельной пластиной круговой формы, однако, известно, что данный

электрод не является плоским, а имеет кривизну, а также области перехода. Как влияет данное допущение о геометрической модели эмиссионного электрода на точность выполненных расчетов?

3. В третьей главе при выполнении численного моделирования проведены расчеты для углерод-углеродного композиционного материала, который относится к трансверсально-изотропному материалу, а модель построена для расчета деформаций изотропных материалов.

**Заключение.** В целом можно утверждать, что рассматриваемая диссертационная работа содержит новые и практически ценные результаты, соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Могулкин Андрей Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Первый заместитель генерального директора  
ОАО «Композит», доктор техн. наук



Тимофеев А.Н.

Начальник отделения керамоматричных  
композитов и окислительноустойчивых покрытий  
ОАО «Композит», канд. техн. наук

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Е.А. Богачев', is written over the text of the second official.

Богачев Е.А.

04.12.2015