

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы
Могоулкина 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»

Диссертационная работа Могоулкина А.И. посвящена исследованию термомеханических процессов, вызывающих деформации электродов в ионно-оптических системах ионных электроракетных двигателей, а также разработке и исследованию математических моделей таких процессов.

Ионные электростатические двигатели (ИД) превосходят все типы ракетных двигателей, из числа применяемых на данный момент на борту космических аппаратов (КА), по таким характеристикам как удельный импульс и ресурс работы. Благодаря таким положительным свойствам, расширение использования ИД является общемировой тенденцией. В Российской Федерации также проводится разработка ИД различной мощности. Ионно-оптическая система (ИОС) является одним из ключевых конструктивных узлов ИД, отвечающим за ускорение ионов и формирование пучка. При работе двигателя элементы ИОС подвержены нагреву и, как следствие, термомеханическим эффектам, которые способны привести к нештатным режимам или неисправностям. Развитие методов расчёта термоупругих деформаций ИОС ИД необходимо для выработки конструктивных решений, исключающих возникновение указанных негативных эффектов, следовательно, работа по данной тематике актуальна.

Основные разделы диссертации посвящены анализу современного состояния моделирования термомеханических эффектов в густо перфорированных упругих оболочках и анализу упругодеформированного состояния электродов ИОС с точки зрения теории упругости оболочек. Автором разработана математическая модель температурного деформирования электродов узла ИОС, которая была использована им для проведения численных расчётов. Была выполнена проверка результатов расчётов, полученных автором по собственной методике, путём сравнения с результатами численного решения идентичной задачи средствами программного пакета ANSYS. Показана высокая степень согласования результатов обоих расчётов. При этом методика автора оказалась более экономной по машинному времени. Также приводится сравнение результатов расчётов по



методике автора с экспериментальными данными, взятыми из литературы для трёх экспериментальных случаев.

Научная новизна работы состоит, прежде всего, в разработке методики и алгоритма решения задачи описания деформации электродов ИОС, основанной на использовании аппарата матричных краевых интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. При этом для первого приближения итерационного процесса получено решение в аналитическом виде.

Из числа практически значимых результатов работы необходимо отметить, во-первых, возможность применения разработанной расчётной методики для быстрого прогнозирования рационального начального прогиба и дополнительного прогиба профилированных электродов ИОС. Во-вторых, автором, на основе расчётно-теоретического исследования разработаны рекомендации для проектирования электродов и узлов ИОС перспективных ИД и составлены таблицы значений рекомендуемых начальных прогибов электродов размерного ряда (160-500) мм из материалов с различными физико-механическими свойствами.

Автореферат диссертации не лишён отдельных недостатков.

В тексте автореферата отсутствует сравнительный анализ результатов, полученных автором, и результатов зарубежных исследователей. Это относится к использованным теоретическим подходам. По экспериментальным данным такое сравнение присутствует, однако выбор публикаций представляется несколько фрагментарным. В одном из случаев сравнения корректность использованных экспериментальных методик подвергнута сомнению уже самими экспериментаторами, опубликовавшими свои результаты. Ещё в одном случае приведены результаты для штампованных электродов, которые, по предположению автора, недостаточно хорошо описываются существующими расчётными моделями. Сравнение результатов расчёта выполненного автором с опытными данными, достоверность которых ставится под сомнение, выглядит не вполне целесообразным.

Известно, что при моделировании густо перфорированных оболочек в виде, например, таких же оболочек, но из сплошного материала с эквивалентными свойствами, адекватный расчёт этих свойств становится одним из приоритетов. Тем не менее, в автореферате недостаточно подробно освещаются вопросы моделирования перфорации электродов. Это относится и к собственным расчётным моделям автора, и к моделям ANSYS, используемым для сравнения. Хотя в тексте упоминаются параметры «приведённый модуль упругости», «приведённый коэффициент Пуассона», «коэффициент ослабления жёсткости», остаётся только догадываться о том, как должны определяться их

значения. Возможно, автор считает используемые для этого методы общеизвестными. Тем не менее, целесообразно указать первоисточник (или первоисточники).

В заключении к автореферату упоминается, что выработанные автором рекомендации были использованы при разработке конструкций ИОС для различных моделей ВЧИД, в том числе для ВЧИД-8, оснащенной плоскими электродами. Однако, разработанная автором модель предназначена для расчета профилированных (сферических) электродов, и вопрос ее применимости для плоских электродов в автореферате не освещен.

Однако указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы А.И. Могулкина, которая выполнена на высоком научном уровне и безусловно соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Начальник отдела электрофизики,
кандидат физико-математических наук



30.11.2015

А.С. Ловцов

Ведущий инженер



В.А. Муравлёв

Ловцов Александр Сергеевич

кандидат физико-математических наук, начальник отдела электрофизики, Государственный научный центр Российской Федерации – федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»), 125438, г. Москва, ул. Онежская, д. 8; телефон: +7 (495) 456-64-65; e-mail: lovtsov@kerc.msk.ru.

Подписи А.С. Ловцова и В.А. Муравлёва удостоверяю

Ученый секретарь ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»

кандидат военных наук



Ю.Л. Смирнов