

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу «Влияние величины и топологии магнитного поля на интегральные характеристики стационарных плазменных двигателей» Митрофановой Ольги Александровны – аспиранта кафедры «Физика» Балтийского федерального университета им. И. Канта

За последние несколько десятков лет научные исследования и разработки холловских двигателей – стационарных плазменных двигателей (СПД) и двигателей с анодным слоем (ДАС) – фокусировались на ряде технических задач. Они включают в себя: квалификацию систем на базе холловских двигателей для удержания космического аппарата (КА) на орбите с мощностями от 1 до 10 кВт; разработку двигателей и систем, которые эффективно работают при удельных импульсах тяги, достаточных для удержания КА на орбите, и могут также обеспечить высокую тягу для выведения на орбиту низкоорбитальных и геостационарных КА; исследования маломощных двигателей для использования на малых КА с ограничением по мощности; исследования двигателей большой мощности для нового класса полетных задач, включая задачи космической транспортировки с низкой околоземной орбиты на геостационарную орбиту. По своей регулируемости, ресурсу и надежности электроракетные двигатели (ЭРД) превосходят классические реактивные системы малой мощности.

Двигательные установки, использующие плазменные двигатели с удельными импульсами тяги от 1500 с и выше, дают существенные преимущества КА. Они могут включать в себя либо снижение массы заправленного КА (часто позволяя снизить класс ракетоносителя), либо увеличение срока службы. Исследование характеристик двигателей и факторов, оказывающих на них определяющее влияние, требуют повышенного внимания к этим вопросам.

Новые задачи существенно усложняют разработку и создание эволюционных двигателей, что определяет необходимость еще на стадии проектирования более тщательного исследования характеристик, прежде всего, тяги, удельного импульса тяги и ресурса как существующих электроракетных двигателей (ЭРД), так и вновь создаваемых. Поэтому тема работы, посвященной исследованию влияния магнитной системы стационарного плазменного двигателя и величины и топологии создаваемого ею магнитного поля, оказывающих определяющее влияние на характеристики ЭРД типа стационарного плазменного двигателя (СПД), является, несомненно, актуальной и востребованной. Особое значение тематика этой работы имеет для ФГУП «ОКБ «Факел», являющегося основным разработчиком и производителем СПД в России.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней отработана методика расчета магнитного поля двумерной и, главное, трехмерной моделей магнитной системы двигателя. В силу конструктивных особенностей магнитной системы создаваемое ею

магнитное поле обладает азимутальной неоднородностью, которая принципиально не может быть учтена при расчетах двумерной модели, базирующейся на предположении осесимметричности магнитной системы, и, как следствие, осесимметричности и магнитного поля. Поэтому расчеты двумерных моделей магнитных систем могут рассматриваться лишь как оценочные. Для решения созданной расчетной математической модели при физически обоснованных упрощающих предложениях использован наиболее эффективный метод ее решения, а именно, метод конечных элементов, но в его вариационной формулировке, что создает дополнительные трудности, так как требует предварительного формирования функционала, достоверность которого не всегда очевидна. Именно этим следует объяснить осознанную автором необходимость сопоставления расчетов с результатами протокольных испытаний. Следует отметить особо, что автор успешно справился с основными трудностями при использовании метода конечных элементов независимо от его формулировки, а именно, процедурах дискретизации исследуемого объекта на совокупность конечных элементов, аппроксимирующих объект, задании граничных условий и физических свойств материалов и окружающей среды.

На основании результатов исследований, проведенных с использованием данной методики предложен способ прогнозирования геометрических характеристик зон эрозии разрядной камеры и, тем самым, прогнозирования ресурса двигателя, являющегося одним из его основных показателей. Применение методики еще на стадии проектирования изделия позволяет определить возможности повышения характеристик двигателя путем оптимизации параметров и конфигурации магнитного поля в зонах ионизации и ускорения, и на периферии СПД. Последнее особенно важно, ибо дает возможность оптимизировать характеристики катода-компенсатора, в том числе, и его ресурс, который, как известно, меньше ресурса двигателя. Поэтому предложенные способы повышения ресурса катода-компенсатора особенно востребованы.

Практическая ценность работы состоит в следующем: разработана методика, позволяющая на стадии проектирования оптимизировать конструкцию магнитной системы двигателя с целью повышения его основных характеристик, в том числе, понизить расходимость плазменной струи; впервые количественно показана связь величины и топологии магнитного поля и зон эрозии разрядной камеры; расчетно-экспериментальным методом определено оптимальное расположение катода-компенсатора, обеспечивающее эффективность его использования и повышенный ресурс; разработаны методики для практического использования при проектировании двигателей новых схем; непосредственном участии в работе по модернизации конструкций двигателей СПД-100В, СПД-100Д, СПД-140Д, разрабатываемых в настоящее время в ОКБ «Факел».

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается достаточно хорошим совпадением с результатами экспериментальных исследований, проведенных с участием автора на стендовой базе ОКБ «Факел» с использованием в процессе измерений аттестованных методик, средств измерений и диагностики.

Личный вклад аспиранта заключался в: отработке методики проведения трехмерных расчетов магнитного поля СПД при использовании пакета прикладных программ NISA; разработке расчетных моделей магнитных системы двигателей различных типоразмеров производства ОКБ «Факел»; проведении анализа зависимости тяговых и ресурсных характеристик СПД от параметров и топологии магнитного поля в ускорительном канале и в области катода при его боковом расположении; показе возможности повышения эффективности работы двигателя при доработке конструктивной схемы его магнитной системы и оптимизации положения катода; анализе результатов экспериментов и формулировании выводов на их основе; разработке методик для практического использования при проектировании двигателей новых схем; непосредственном участии в работе по модернизации конструкций двигателей СПД-100В, СПД-100Д, СПД-140Д, разрабатываемых в настоящее время в ОКБ «Факел».

Научная характеристика аспиранта. Митрофанова О.А. по окончании математического факультета университета поступила на работу в ОКБ «Факел» в качестве инженера-конструктора. С учетом уровня ее математической подготовки, ей было предложено разобраться с проблемами, возникшими при попытках использования пакета прикладных программ NISA для расчета магнитного поля двигателя даже в наиболее простой – двумерной модели магнитной системы. Работа программы оставляла желать лучшего: часто получались физически неверные результаты расчетов магнитной системы двигателя; в лучшем случае, расчеты проводились только для двумерных полей и т.д. Благодаря хорошей математической подготовке и владению навыками пользователя так называемыми «тяжелыми» программами типа «ANSYS», «NISA» и другими, позволило ей достаточно быстро и грамотно разобраться в изъянах используемой в ОКБ программы. Митрофанова О.А. освоила все особенности ее практического использования не только при двумерных расчетах, но, что может быть самое главное, и новое для ОКБ, – сумела создать трехмерную модель магнитной системы и рассчитать создаваемое ею магнитное поле и его конфигурацию, в том числе, и на периферии. В результате она уже через короткое время стала главным расчетчиком не только двумерных, но и, главное, трехмерных магнитных полей как разработанных, так и разрабатываемых эволюционных многорежимных СПД. Через год ее успешной работы в ОКБ она была рекомендована ведущими сотрудниками ОКБ в очную аспирантуру при кафедре. За время обучения в аспирантуре Митрофанова О.А. проявила стремление и способность к научно-исследовательской работе. В процессе

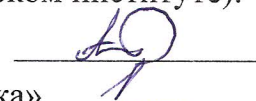
работы над диссертацией она показала себя как достаточно грамотный специалист, способный к самостоятельной как теоретической, так и к расчетно-вычислительной работе. Митрофанова О.А. обладает качеством, не так часто встречающимся у специалистов математического профиля, а именно, – к физически грамотной интерпретации экспериментальных результатов, полученных на стендовой базе ОКБ. В целом ее можно характеризовать как вполне сложившегося высококвалифицированного специалиста, способного к самостоятельной научно-исследовательской и инженерно-конструкторской работе на высоком профессиональном уровне.

Тема диссертационной работы утверждена на Ученом Совете физико-технического факультета университета (протокол № 2 от 10.11.09 г.). Диссертация Митрофановой Ольги Александровны представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой успешно решен целый ряд вопросов в области специальности, связанной с разработкой и совершенствованием электроракетных двигателей и исследованиями в целях оптимизации их параметров, изложенную ясно и логически последовательно, что характеризует автора как квалифицированного специалиста, способного самостоятельно решать инженерно-физические задачи. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Результаты работы прошли необходимую апробацию на семинарах и конференциях, представлены в 9-ти публикациях, среди которых имеются статьи в российских журналах из списка ВАК и в специальных изданиях – «Вестник МАИ» и «Труды МАИ», патент РФ на изобретение. Автор работы – Митрофанова Ольга Александровна – достойна присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

На основании изложенного выше считаю возможным рекомендовать диссертационную работу Митрофановой Ольги Александровны к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» в Специализированном Ученом Совете 212.125.08 по указанной специальности Московского Авиационного Института (национальном исследовательском институте).

Научный руководитель



(А.В. Румянцев)

к.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры «Физика»

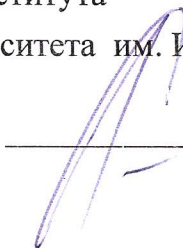
Физико-технического Института

Балтийского федерального университета им. И. Канта

Подпись А.В. Румянцева заверяю

Проректор по НР БФУ им. И. Канта

проф. А.В. Юров



12.05.2015 г.