

## ОТЗЫВ

научного руководителя, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» МАИ, Хартова Сергея Анатольевича на диссертационную работу Суворова Максима Олеговича «Тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Суворов М.О. окончил факультет «Двигатели летательных аппаратов» МАИ в 2012 году по специальности «Плазменные и энергетические установки». После окончания он проработал до 2014 года в ОАО «Красная звезда». В сентябре того же года поступил в очную аспирантуру МАИ и стал активно выполнять программу обучения, работать над выпускной квалификационной работой, выступать на различных конференциях и готовить публикации в научных изданиях.

Диссертация Суворова М.О. посвящена созданию тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя (ПВЭРД) для управления полетом низколетящих космических аппаратов (КА). Данный двигатель разрабатывается МАИ совместно с ФГУП «ЦАГИ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы: проект RFMEFI57714X0101 – «Разработка лабораторного образца электрического ракетного двигателя, использующего в качестве рабочего тела атмосферную среду, для низкоорбитальных космических аппаратов».

Создаваемый новый тип двигателя способствует повышению эффективности работы целевой аппаратуры картографических и метеорологических спутников дистанционного зондирования Земли за счет снижения высот их орбит с типовых 300...700 км до 180...250 км. На низких орбитах из-за торможения о верхние слои атмосферы срок активного существования (САС) неуправляемых космических аппаратов колеблется от нескольких дней до нескольких месяцев. Опыт применения для компенсации торможения распространенных в космической технике типов ЭРД не позволяет рассчитывать на значительное повышение САС в перспективе, поскольку определяющим времени полета остается запас рабочего тела двигателя.

Разрабатываемый ПВЭРД позволит повысить САС низкоорбитальных КА до нескольких лет за счет использования в качестве рабочего тела заборной атмосферы. В качестве тягового узла ПВЭРД рассматривается электростатический ускоритель ионов с высокочастотной (ВЧ) ионизацией рабочего тела.

В ходе выполнения диссертационной работы Суворовым М.О. были созданы ряд лабораторных моделей тягового модуля ПВЭРД на базе ВЧ разряда, проведена их экспериментальная отработка и достигнуты интегральные характеристики, подтверждающие возможность использования такого устройства для компенсации аэродинамического торможения КА с миделем  $1 \text{ м}^2$  на орбитах с высотами порядка 220 км. Аспирантом была показана возможность устойчивого горения ВЧ разряда на агрессивных молекулярных газах, подверженных диссоциации, при концентрациях, потенциально обеспечиваемых заборным устройством ПВЭРД на высотах порядка 200...250 км. Проанализированы преимущества и недостатки альтернативных схем размещения ВЧ индуктора в устройстве ионизации при различных компоновках тягового узла ПВЭРД. Предложена упрощенная балансовая модель оценки зависимости интегральных параметров ПВЭРД от концентраций рабочего тела на входе в тяговый узел

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что создан макет высокочастотного ионного двигателя – прототипа тягового узла ПВЭРД. Доказана возможность и выбраны режимы горения ВЧ разряда при концентрациях рабочего тела, ожидаемых к получению в устройстве забора газов на низких орбитах. Выбрана процедура устойчивого зажигания разряда в макете тягового узла ПВЭРД без использования добавок инертных газов. Продемонстрирована стабильная работа двигателя на атмосферной смеси с концентрациями компонентов, соответствующими условиям полета КА на высоте орбиты ~220 км. Разработана упрощенная балансовая модель, связывающая концентрацию рабочего тела, поступающего в двигатель с интегральными характеристиками тягового узла, позволяющая оценить изменение интегральных характеристик ПВЭРД в зависимости от формы и сечения заборного устройства.

В рамках педагогической практики в процессе обучения в аспирантуре Суворов М.О. участвовал в методической работе по подготовке и выполнению



