

Основные результаты работ по этапу №3 Соглашения №14.577.21.0101 от 16.09.2014

- Проведены экспериментальные исследования работы лабораторного образца ЭРД на разных рабочих телах. Выбраны элементы согласующего устройства в цепи генератор – индуктор, позволяющие осуществлять устойчивый запуск двигателя. Полученные характеристики лабораторной модели ЭРД при работе на ксеноне удовлетворительно согласуются с данными ВЧ технологического источника ионов RIM15 аналогичной конструктивной схемы и размеров. При работе на азоте и кислороде достигнута устойчивая работа и повторяемость характеристик.

- Выполненный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований УЗАГ и ЭРД продемонстрировал возможность достижения параметров технического задания по параметрам ЭРД АтмС и УЗАГ. Предварительные испытания лабораторных образцов УЗАГ продемонстрировали правильность выбранной процедуры испытаний и обработки результатов измерений. Подтверждена возможность выполнения УЗАГ с заборными каналами прямоугольной формы.

- Разработаны рекомендации по доработке лабораторного образца ЭРД. Предложено снабдить двигатель камерой термализации, отделенной от основной ГРК сетчатым электродом, и увеличить число витков индуктора. Помимо этого, запатентовано техническое решение, позволяющее путем размещения на снаружи индуктора магнитной системы повысить эффективность ввода ВЧ мощности в ГРК. Рассмотрен вопрос о повышении извлечения ионов и увеличения ресурса ИОС при переходе к четырехэлектродной схеме. Подготовлена диссертационная работа, посвященная разработке механико-математической модели и методики расчета деформаций профилированных густо перфорированных электродов ИОС, позволяющей рассчитать дополнительный прогиб электродов при их тепловом нагружении и определить начальный прогиб, при котором дополнительный прогиб находится в заданных пределах в ходе эксплуатации. Разработана и опробована методика оценки ресурса ИОС по деформации многослойного тонкопленочного покрытия, наносимого на ускоряющий электрод.

- Проведены работы по модернизации испытательного стенда МАИ для экспериментальных исследований работы ЭРД (этап 3): приобретено средство высоковакуумной откачки – турбомолекулярный насос, позволяющий обеспечить производительность откачки 4 400 л/с (суммарно будет достигнута скорость откачки 8 800 л/с); собрана окончательно вакуумная камера и система форвакуумной откачки.

- Разработано и испытано устройство моделирования набегающего потока газов атмосферы для обеспечения модельных испытаний УЗАГ. Испытания данного устройства продемонстрировало в условиях испытательных стендов МАИ скорость потока азота при пересчете из тягового усилия до 4100 м/с.

- Проведены экспериментальные исследования разрушения конструкционных материалов ЭРД АтмС в предполагаемых условиях эксплуатации. Обоснована возможность использование магнетронных распылительных систем в качестве модели воздействия ионов атмосферных газов на конструкционные материалы электрических ракетных двигателей. Было показано, что средняя энергия ионов слабо зависит от рода плазмообразующего газа, величины индукции магнитного поля и материала мишени и прямо-пропорциональна напряжению разряда: $E_{\text{ср}} = 0,8 \cdot eU_p$. Экспериментально определены эффективные коэффициенты распыления исследуемых материалов: титана, нитрида титана и молибдена – ионами азота, аргона и смеси кислорода и азота в диапазоне средних энергий ионов от 300 до 600 эВ. Показано, что коэффициент распыления Ti , TiN и Mo реактивными газами атмосферы значительно ниже коэффициентов распыления инертными газами. При этом коэффициент распыления Ti и TiN в среде реактивных газов близки, поэтому при использовании титана для изготовления элементов ионно-оптической системы ЭРД отсутствует необходимость нанесения на рабочие поверхности антидинаatronного покрытия.

Индустриальным партнером (АО КБХА) проведены расчеты теплового состояния ионно-оптической системы (ИОС) лабораторного образца ЭРД. Полученные результаты продемонст-

рировали незначительные поводки электродов и отсутствие «закоротки» межэлектродного зазора, что и было подтверждено при экспериментальных исследованиях лабораторного образца ЭРД.

1. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Подана заявка на полезную модель «Ионно-плазменный двигатель» и получено положительное решение о выдаче патента.

2. Назначение и область применения результатов проекта

4.1. Космические системы.

4.2. Разработка проекта позволит конкретизировать ТЗ на составные части и ЭРДУ в целом, сократить сроки создания экспериментальных образцов КА и наземного экспериментального оборудования, уточнить сроки и затраты на проведение в перспективе ОКР, создать существенный задел для дальнейшей разработки унифицированных ЭРДУ на качественно новом уровне для КА ДЗЗ.

4.3. Внедрение ЭРДУ с использованием в качестве РТ атмосферных газов на низкоорбитальных аппаратах нового поколения позволит уменьшить высоту целевых орбит, повысить точность поддержания целевых орбит КА ДЗЗ при длительных сроках их активного существования, обеспечив тем самым широкое продвижение указанных аппаратов на рынок космических услуг.

3. Эффекты от внедрения результатов проекта

В результате реализации проекта будут разработаны физико-технические основы проектирования ЭРД АтмС для низкоорбитальных КА ДЗЗ с повышенным сроком активного существования (САС). В итоге будут сформированы предложения по развитию семейства КА с повышенным САС, разрабатываемых в ОАО НПК «Космические системы мониторинга, Информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна, ЦСКБ «Прогресс», ОАО «ИСС имени академика М.Ф. Решетнева» и других организациях.

4. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

На базе созданного лабораторного образца ЭРД АтмС и УЗАГ в рамках кооперации с Индустриальным партнером будет проведен комплекс работ по уточнению тактико-технических параметров отдельных элементов и разработан проект ТЗ на ОКР. При этом должны быть решены вопросы привязки работ по ЭРДУ к планам по созданию конкретных КА российскими предприятиями. Будут рассмотрены вопросы применения результатов ПНИ для использования на низкоорбитальных малых КА. Данные мероприятия будут проводиться с привлечением консультационных услуг потенциальных потребителей - производителей НО КА ДЗЗ, выступивших в качестве организаций, финансирующих проект.

5. Наличие соисполнителей

7.1 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский Государственный Технический Университет имени Н. Э. Баумана» (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Договор №034-1-1767-14 от 31 октября 2014 года. Этап № 2 2015 год.

7.2 Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП ЦАГИ). Договор №4359 от 21 ноября 2014 года. Этап № 3 2015 год.

Руководитель работ по проекту
Директор НИИ ПМЭ МАИ



Г.А. Попов