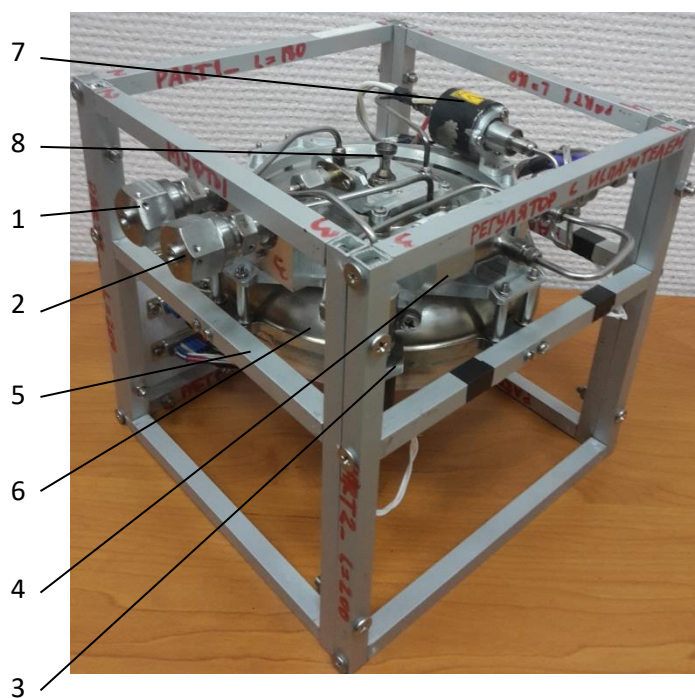
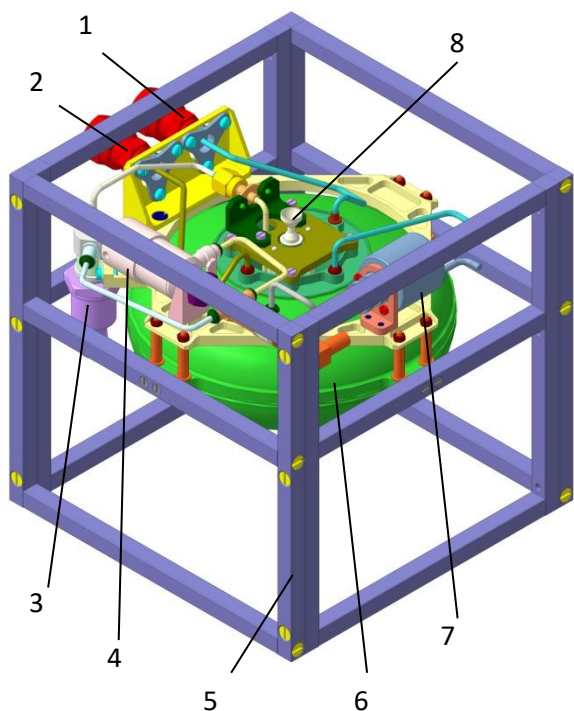


В ходе выполнения ПНИ по Соглашению о предоставлении субсидии от "8" сентября 2014 г. № 14.574.21.0104 с Министерством образования и науки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 5 в период с 01.07.2016 г. по 31.12.2016 г. были выполнены следующие работы:

1. Изготовлен экспериментальный образец аммиачной корректирующей двигательной установки для наноспутниковой платформы.



1 – бортовая дренажная полумуфта; 2 – бортовая заправочная полумуфта; 3 – датчик давления; 4 – регулятор давления; 5 – рама; 6 – топливный бак; 7 - электроклапан

2. Разработаны программы и методики исследовательских испытаний экспериментального образца аммиачной КДУ для наноспутниковой платформы.

3. Проведены исследовательские испытания экспериментального образца аммиачной корректирующей двигательной установки для наноспутниковой платформы с использованием имеющейся стендовой базы.

4. Проведена технико-экономическая оценка полученных результатов.

5. Разработаны рекомендации и предложения по использованию полученных результатов промышленным партнером, а также в дальнейших исследованиях и разработках.

6. Проведен сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований создаваемых многоцелевых аммиачных корректирующих двигательных установок с электротермическими микродвигателями.

7. Проведены обобщения полученных результатов, оценка полноты выполнения работ и достижения поставленных целей ПНИ.

8. Проведён аналитический обзор конструктивных особенностей спутниковых платформ, аппаратного построения, решаемых задач МКА массой 120-400 кг.

В ходе выполнения итогового отчета выполнен следующий объем работ:

- изготовлен экспериментальный образец аммиачной КДУ для наноспутниковой платформы;
- разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментального образца аммиачной КДУ для наноспутниковой платформы;
- проведены исследовательские испытания экспериментального образца аммиачной КДУ для наноспутниковой платформы с использованием имеющейся стендовой базы;
- разработан аналитический обзор конструктивных особенностей спутниковых платформ, аппаратного построения, решаемых задач МКА массой 120-400 кг;
- проведена технико-экономическая оценка полученных результатов;
- разработаны рекомендации и предложения по использованию полученных результатов индустриальным партнером, а также в дальнейших исследованиях и разработках;
- проведен сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований создаваемых многоцелевых аммиачных КДУ с ЭТМД;
- проведены обобщения полученных результатов, оценка полноты выполнения работ и достижения поставленных целей ПНИ.

Изготовленный экспериментальный образец аммиачной КДУ для наноспутниковой платформы соответствует разработанной эскизной конструкторской документации на предыдущем этапе ПНИ.

Разработанная программа и методика исследовательских испытаний изготовленного экспериментального образца КДУ основана на опыте создания аналогичных документов для проведения НЭО КДУ для МКА «Орбкомм», МКА «Угатусат», МКА «Канопус-СТ».

Результаты проведенных ПНИ характеризуются следующим:

- актуальность решаемой научно-технической проблемы обусловлена многими факторами, среди которых: создание МСП и средств их адаптации к ракетным средствам выведения при реализации групповых и попутных запусков является новой инновационной стратегией создания маневрирующих МКА для выполнения задач, имеющих общенациональное значение, обеспечивающей укрепление позиций нашей страны на новых зарубежных рынках по созданию МКА и их запуску на орбиты функционирования групповым и попутным способом;
- достигнута поставленная цель по разработке и исследованиям принципов построения и методов проектирования МСП с аммиачными КДУ

в целях создания маневрирующих МКА военного, социально-экономического и научного назначения в области разработки космических систем на базе малоразмерных космических аппаратов и разработки технологий, обеспечивающих их оперативный запуск на целевые орбиты;

- создана новая инновационная стратегия проектирования маневрирующих МКА для выполнения задач, имеющих общенациональное значение, обеспечивающей укрепление позиций нашей страны на новых зарубежных рынках по созданию МКА;

- результаты ПНИ являются качественно новыми по постановке задачи и основаны на применении оригинальных многоцелевых и многокритериальных методов исследования, натурных и полунатурных испытаний;

- результаты исследования открывают новое направление в области создания МКА – маневрирующих МКА с аммиачными КДУ, не имеющих аналогов среди зарубежных разработчиков;

- получены принципиально новые данные по созданию аммиачных КДУ, ЭТМД, средств адаптации КДУ в МКА, получены принципиально новые закономерности, подтвержденные экспериментально, разработана новая теория проектирования маневрирующих МКА, в том числе на стадии принятия проектных решений;

- созданы принципиально новые конструкции ЭТМД и КДУ;

- по уровню теоретической проработки результаты ПНИ относятся к промежуточному показателю: между разработкой теории и глубокой разработкой проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснения, научной систематизации с построением комплексного прогноза;

- полученные научно-технические результаты ПНИ являются базой для проведения дальнейших исследований и разработок.

Анализ рынка в области МКА с КДУ показал:

- на мировом рынке космических услуг не сформировались стабильные цены на коммерческие запуски МКА, что обусловлено рядом факторов, среди которых необходимо выделить выход на рынок космических услуг средств выведения России, Украины и Китая, имеющих сравнительно низкую себестоимость пуска;

- анализ стоимости программ по созданию МКА свидетельствует об их разбросе с одной стороны, и высокой стоимости с другой;

- анализ рынка показывает, что наименьшими барьерами для входа и наилучшими перспективами роста обладают рынки космических услуг по созданию МКА, но именно по этой причине там трудно удержать свои позиции; ключевым конкурентным преимуществом остается уровень технологий не только производителей, но и потребителей услуг; рынки в части МКА характеризуются увеличением количества как продавцов, так и покупателей; барьеры входа на рынок в целом преодолимы.

Анализ зарубежных разработок показал:

- в качестве анализируемого зарубежного образца КДУ, характеризующего современный уровень аналогичных разработок, взяты аммиачные КДУ с тягой 50 мН, созданные в Украине для МКА «СИЧ – 2М» (2011-2012 г.) и МКА «Микросат»;

- созданные в Украине аммиачные КДУ разработаны либо чисто по методу «гарантированного» результата (неизменное количество однотипных топливных баков), либо с возможностью изменения запаса топлива выбором количества однотипных топливных баков; данный теоретический подход ведет к структурной и параметрической избыточности КДУ в составе МКА

при решении целевых задач, отличных от наиболее «тяжелой»; это ведет к снижению конструктивного совершенства МКА в целом;

- квазиоптимальные решения по КДУ получаются при использовании предложенного при проведении ПНИ метода структурного проектирования, предусматривающего формирование состава КДУ как в сторону наращивания, так и в сторону сокращения относительно некоторой базовой структуры, используемой для всех целевых функций; отличительной особенностью разработанных в рамках ПНИ многоцелевых КДУ является отнесение топливных отсеков с элементами конструкции к комплектующим системам, что позволяет получать квазиоптимальные решения и выигрывать в массе и габаритах КДУ и средств ее адаптации в МКА.

По результатам ПНИ рекомендованы к внедрению:

- многоцелевой метод структурной оптимизации МСП, КДУ, адаптеров для группового и попутного запуска МКА;

- методы и методики выбора проектных параметров МКА с аммиачной КДУ;

- методика выбора принципиальной конструкции МКА с аммиачными КДУ и проведения параметрического анализа для ранних этапов проектирования с использованием разработанной математической модели МКА, базы данных опорных альтернатив, сценариев оценивания альтернативных вариантов, многокритериального метода аналитической иерархии, разработанного программного комплекса;

- математические модели определения проектно-конструктивного облика МКА с аммиачной КДУ;

- результаты численных исследований проектно-конструктивного облика МКА с аммиачной КДУ;

- результаты численных исследований требуемых запасов характеристической скорости для МКА, реализующих разные задачи орбитального маневрирования, для заданного диапазона масс МКА и параметров рабочих орбит функционирования;

- результаты численных исследований требуемых параметров средств адаптации КДУ в МКА;

- разработанные новые конструктивные схемы КДУ и ЭТМД;

- результаты экспериментальных исследований новых конструктивных схем ЭТМД и КДУ;

- результаты параметрического 3-D моделирования МКА с аммиачной КДУ;

- эскизная конструкторская документация на ЭТМД различной конструкции и на экспериментальный образец аммиачной КДУ для наноспутниковой платформы;

- проект технического задания на проведение ОКР по теме «Разработка аммиачной корректирующей двигательной установки с электротермическими микродвигателями для малого космического аппарата»;

- многокритериальная методика выбора оптимальной конструкции МКА на ранних этапах проектирования, когда принимаемые принципиальные проектно-конструктивные решения в дальнейшем определяют эффективность МКА. В многокритериальной постановке задача выбора принципиальной конструкции МКА решена многокритериальным методом аналитической иерархии;

- в рамках ПНИ разработан проектно-конструктивный облик КДУ, рекомендуемых к использованию;

- для наноспутниковой платформы разработана 3-D модель КДУ, в соответствии с которой изготовлена материальная часть и проведены исследовательские испытания; данная КДУ рекомендована к использованию в составе наноспутников;

- среди ЭТМД, разработанных в рамках ПНИ и исследованных экспериментально, могут быть рекомендованы к использованию в конкретных разработках следующие:

- ЭТМД с трубчатым нагревательным элементом с коническим или профилированным соплом, с открытым корпусом токовыводов (длинный и короткий газовод);

- ЭТМД с автономным нагревательным элементом с коническим или профилированным соплом;

- ЭТМД с автономным нагревательным элементом с коническим или профилированным соплом с совмещенной с испарителем схемой;

- ЭТМД с любым нагревательным элементом с завихрителем в виде термопары;

- электродуговой ЭТМД, разработанный при выполнении ПНИ и показавший хорошие результаты в ходе экспериментов, требует дальнейших исследований для доведения его для промышленного использования;

- при выполнении ПНИ разработан проект ТЗ на проведение ОКР по теме «Разработка аммиачной КДУ с ЭТМД для МКА».

Данный проект ТЗ разработан с использованием опыта разработки летных аммиачных КДУ, содержит все необходимые компоненты, отвечает требованиям действующей нормативно-технической документации и рекомендован в качестве основы для создания ТЗ на проведение конкретной ОКР по созданию аммиачной КДУ для МКА.

По результатам ПНИ эффективность и значимость выполненного проекта определена следующим образом:

- создан научно-технический задел для разработки высокоэффективных перспективных маневрирующих МКА для решения прикладных, научных и образовательных задач с высокими тактико-техническими характеристиками, не уступающих общемировому уровню и конкурентоспособных на мировом рынке, на основе разработки методов проектирования МСП с аммиачными КДУ, методов проектирования и результатов экспериментальных исследований многоцелевых аммиачных КДУ с ЭТМД повышенной эффективностью;

- общий экономический эффект для 7 МКА массой 150 кг от использования метода структурной оптимизации составил  $\approx 69$  млн. рублей;

- суммарный массовый эффект от использования метода структурного проектирования для 7-ми МКА массой 150 кг для центральной перемещаемой схемы адаптации КДУ в МКА при реализации характеристических скоростей 40,60,80,100,120,140,160 м/с составил 48,1 кг;

- разработанные в рамках ПНИ КДУ обладают меньшим энергопотреблением и в составе МКА обеспечивают сокращение массы на 7% например, по сравнению с КДУ разработки Украины, за счет более легкой СЭС;

- результаты экспериментальных исследований, проведенных в рамках ПНИ, свидетельствуют о возможности достижения удельного импульса тяги аммиачной КДУ с ЭТМД на стационарном режиме до 240 с, что с учетом низкого энергопотребления является конкурентным показателем конструктивного совершенства созданных в рамках ПНИ КДУ.

Прогноз развития МКА с аммиачными КДУ основан на следующем:

- в России разработки МСП с аммиачными КДУ и ЭТМД являются перспективными и востребованными разработками;

- в России с участием ряда авторов ПНИ созданы:

а) аммиачная КДУ для отечественного МКА «Угатусат»;

б) спутниковые платформы с аммиачными КДУ для зарубежного МКА «Орбкомм-Демонстратор», шести МКА «Орбкомм»;

- аммиачная КДУ для МКА ПО «Полет» - филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (2015 г.);

- научно-технический уровень полученных результатов ПНИ соответствует лучшим мировым достижениям, что подтверждается разработкой в рамках ПНИ запланированных РИД;

- результаты ПНИ открывают новое направление в области создания МКА – маневрирующие МКА с аммиачными КДУ, по достигнутым характеристикам не имеющие аналогов среди зарубежных разработчиков (известные аммиачные КДУ Украины и Китая уступают по характеристикам разработанным аммиачным КДУ в рамках ПНИ);

- созданием МКА занимаются многие страны, в т.ч. Норвегия, США, Израиль, Канада, Япония, Германия, Индия, Саудовская Аравия, Великобритания, Китай, Сингапур, Иран, Пакистан, Франция, Швейцария, Италия, Чили, Австралия, Тайвань, Южная Корея, Индонезия, Аргентина, Марокко, Чехия, Испания, Словения, Португалия, Бразилия, ЮАР,

Малайзия, Тайланд, Люксембург, Украина, Россия, Чехословакия, Молдавия; среди стран – изготовителей МКА лидерами являются США и Великобритания (фирма SSTL);

- в России намечается рост создания МКА, в т.ч. с привлечением ВУЗов;

- МКА создаются промышленными предприятиями при участии ВУЗов страны;

- в создании отечественных МКА следует отметить роль МГУ (НИИЯФ МГУ), ВКА им. А.Ф Можайского, Самарский и Красноярский университеты;

- в ОмГТУ (Омск) создана и успешно функционирует лаборатория по созданию аммиачных КДУ;

- Роскосмос поддерживает ВУЗы в стремлении создавать современные МКА и готов оказывать помощь в их запусках.