

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 № 3 в период с 01.07.2015 г. по 31.12.2015 г. были выполнены следующие работы:

Разработаны программы и методики исследовательских испытаний экспериментальных электротермических микродвигателей с энергопотреблением до 60 Вт различной конструкции:

- с трубчатым нагревательным элементом;
- с автономным нагревательным элементом;
- с совмещенной с испарителем схемой;
- электродуговой.

Изготовлены экспериментальные электротермические микродвигатели с энергопотреблением до 60 Вт различной конструкции (рис. 1-7).

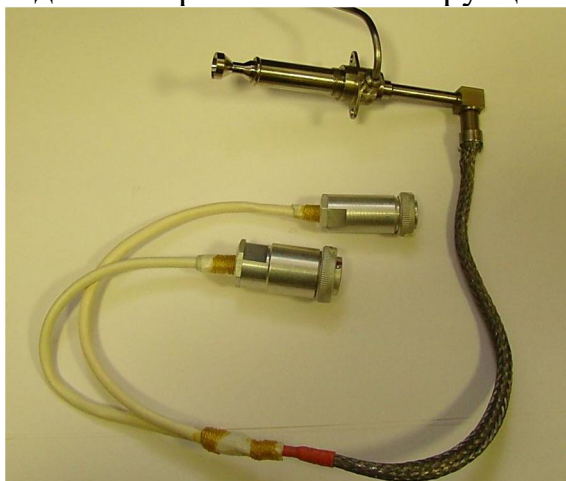


Рисунок 1 – Общий вид ЭТМД с автономным нагревательным элементом по чертежу 14.574.21.0104. МД 1000-000 ВО



Рисунок 2 – Общий вид ЭТМД с трубчатым нагревательным элементом по чертежу 14.574.21.0104. МД 3000-000 ВО с длиной газоведа 29 мм

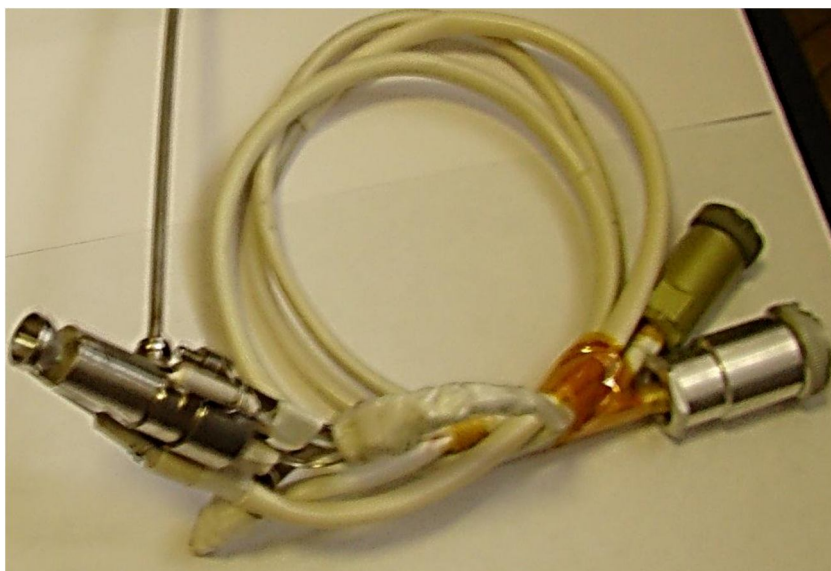


Рисунок 3 – Общий вид ЭТМД с трубчатым нагревательным элементом по чертежу 14.574.21.0104. МД 4000-000 ВО с длиной газовада менее 29 мм



Рисунок 4 – Общий вид ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой по чертежу 14.574.21.0104. МД 5000-000 ВО



Рисунок 5 – Общий вид ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой по чертежу 14.574.21.0104. МД 6000-000 ВО

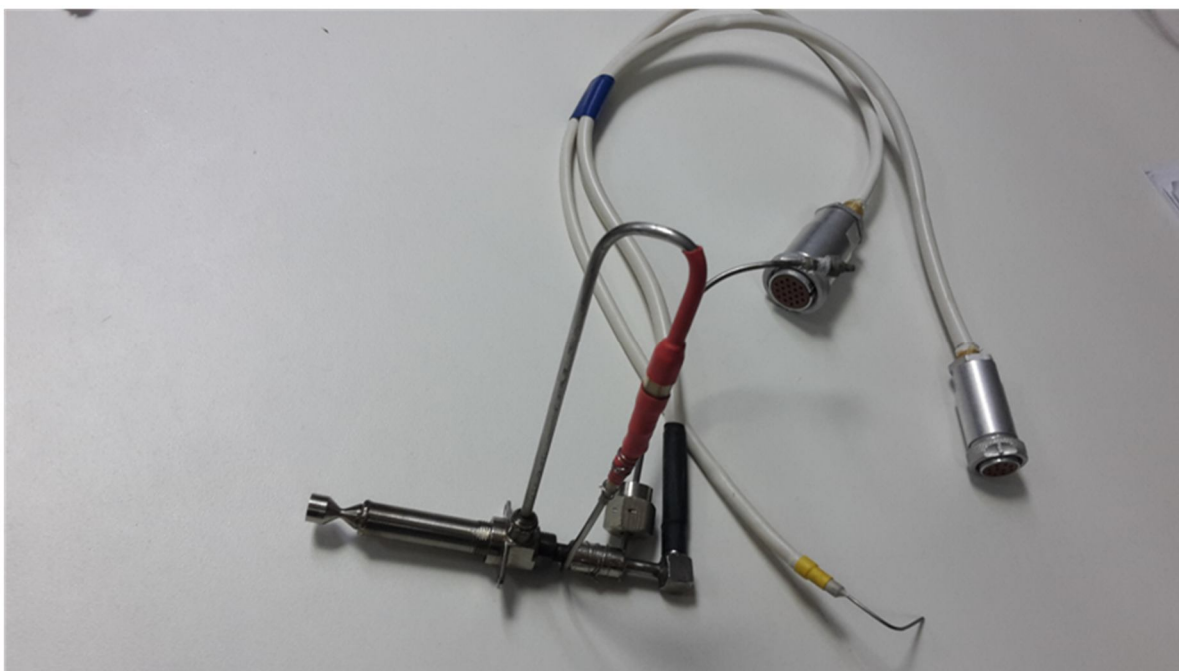


Рисунок 6 – Общий вид ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой по чертежу 14.574.21.0104. МД 7000-000 ВО



Рисунок 7 – Общий вид электродугового ЭТМД по чертежу 14.574.21.0104. МД 8000-000 ВО

Проведены исследовательские испытания электротермических микродвигателей различной конструкции. Более наглядными явились испытания изделия по чертежу 14.574.21.0104. МД 8000-000 ВО (рис. 8)

Проведены патентные исследования по ГОСТ 15.011-96 в части электротермических микродвигателей.

Проведён аналитический обзор конструктивных особенностей спутниковых платформ, аппаратного построения, решаемых задач МКА массой 70-120 кг.

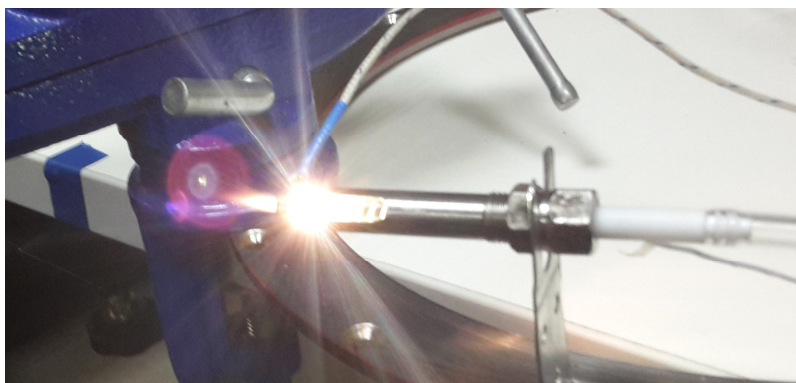


Рисунок 8 – Испытания электродугового ЭТМД по чертежу 14.574.21.0104. МД 8000-000 ВО

В ходе выполнения работ:

- разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментальных ЭТМД с энергопотреблением до 60 Вт различной конструкции;
- изготовлены экспериментальные ЭТМД с энергопотреблением до 60 Вт различной конструкции: с трубчатым нагревательным элементом; с автономным нагревательным элементом; с совмещенной с испарителем схемой; электродуговой;
- проведены исследовательские испытания ЭТМД различной конструкции;
- проведены патентные исследования в части ЭТМД;
- проведен аналитический обзор конструктивных особенностей спутниковых платформ, аппаратному построению, решаемым задачам МКА массой 70-120 кг.

Применительно к выполненной работе:

- объектами исследовательских испытаний по разработанной программе и методике являлись следующие ЭТМД:
- с трубчатым нагревательным элементом (2 шт.);
- с автономным нагревательным элементом (1 шт.);
- с совмещенной с испарителем схемой (3 шт.);
- электродуговой (1 шт.);
- по конструкции, внешнему виду ЭТМД соответствуют разработанной эскизной конструкторской документации:
- ЭТМД с трубчатым нагревательным элементом 14.574.21.0104. МД 3000-000 ВО;
- ЭТМД с трубчатым нагревательным элементом 14.574.21.0104. МД 4000-000 ВО;
- ЭТМД с автономным нагревательным элементом 14.574.21.0104. МД 1000-000 ВО;
- ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой 14.574.21.0104. МД 5000-000 ВО;
- ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой 14.574.21.0104. МД 6000-000 ВО;



- ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой 14.574.21.0104. МД 7000-000 ВО;
- ЭТМД электродуговой 14.574.21.0104. МД 8000-000 ВО;
- по разработанной эскизной конструкторской документации на экспериментальные ЭТМД с энергопотреблением до 60 Вт различной конструкции и 3D моделям ЭТМД изготовлены комплектующие ЭТМД и осуществлена их сборка; ЭТМД были подготовлены к исследовательским испытаниям;
- с использованием разработанной программы и методики исследовательских испытаний проведены исследовательские испытания ЭТМД различной конструкции с энергопотреблением до 60 Вт;
- исследовательские испытания ЭТМД показали их работоспособность в диапазоне мощностей до 60 Вт с обеспечением высоких температурных характеристик рабочего тела, обеспечивающих высокие значения удельного импульса тяги, а также:
- холодный способ запуска ЭТМД гарантирует сохранение целостности нагревательных элементов и по результатам испытаний принят основным способом запуска для ЭТМД с трубчатыми нагревательными элементами;
- в качестве достоинств ЭТМД с трубчатым нагревательным элементом следует отметить возможность резервирования нагревательных элементов и термопар;
- ЭТМД с автономным нагревательным элементом, ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой допускают использование энергетически более выгодного горячего способа запуска;
- электродуговой ЭТМД в виду достигнутого малого времени выхода на режим может запускаться холодным способом;
- тяговые характеристики ЭТМД в диапазоне от 10 мН до 50 мН обеспечиваются выбором давления на входе в критическое сечение сопла и размером критического сечения сопла;
- давление на входе в критическое сечение сопла обеспечивается параметрами регулятора давления КДУ; в проведенных исследованиях обеспечивались давления  $0.02 \text{ кг/см}^2$  и  $0.05 \text{ кг/см}^2$ ;
- метод структурного проектирования ЭТМД позволяет использовать сменные сопловые вставки, обеспечивая реализацию заданной в ТЗ тяги;
- исследованные ЭТМД обеспечивают заданное время функционирования; ограничения по времени функционирования обусловлены не особенностями ЭТМД, а возможностью перегрева электрических клапанов самой КДУ; в этой связи, исследовалось время выхода ЭТМД на режим, что необходимо для определения удельного импульса тяги при выходе ЭТМД на режим, и после выхода ЭТМД на режим;
- для ЭТМД с трубчатым нагревательным элементом из нихромовой проволоки диаметром 0.36 мм с точки зрения ресурсных характеристик оптимальной стационарной температурой аммиака является  $700-750 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; данная температура обеспечивается регулированием ЭТМД по мощности блоком управления КДУ;

- для ЭТМД с автономным нагревательным элементом оптимальной стационарной температурой аммиака может являться более высокая температура 800 0С;
- ЭТМД с совмещенной с испарителем схемой на основе малогабаритных нагревательных элементов со встроенным дросселем и ЭТМД с подключением внешних устройств целесообразно использовать для КДУ с ограничением потребляемой ЭТМД мощности; поэтому, для этих ЭТМД исследования проведены для 10 Вт, 20 Вт, 30 Вт и 40 Вт;
- электродуговой ЭТМД обладает низким временем выхода на режим (56 с), при этом достигнута температура газа  $\sim 1100$  0С, что при потреблении 60 Вт является хорошим показателем;
- проведенные с использованием ЦКП и УНУ исследования показали, что ресурсные характеристики электродугового ЭТМД, а также стабильность дуги зависят от степени износа электродов. Исследования в этой части следует продолжить на следующем этапе ПНИ;
- результаты выполненных патентных исследований свидетельствуют о научной значимости и прикладной перспективности выполняемых ПНИ и разработок по проекту;
- в ходе выполнения патентных исследований не выявлены охранные и иные документы, которые будут препятствовать применению результатов ПНИ в РФ;
- проведенный аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической, патентной литературы в области конструктивных особенностей спутниковых платформ, аппаратного построения, решаемых задач МКА массой 70-120 кг показал, что новым направлением создания МКА массой 70-120 кг является создание маневрирующих МКА с КДУ и ЭТМД, решающих самые разнообразные и актуальные задачи орбитального маневрирования;
- при создании маневрирующих МКА наблюдается тенденция к росту запасов характеристической скорости, реализуемой КДУ в составе МКА при решении широкого круга задач орбитального маневрирования и ограничении потребляемой мощности КДУ;
- конструктивное построение используемых служебных платформ характеризуется своим многообразием, сложностью технических решений, функциональных и конструктивных схем; для класса МКА массой 70-120 кг все чаще используются многоцелевые методы проектирования; в результате создаются спутниковые платформы для создания других МКА;
- наиболее перспективным многоцелевым методом создания МКА является метод структурного проектирования, при этом для отдельных компонентов спутниковых платформ используются метод прототипа, метод гарантированного результата и прямой метод;
- базовую комплектующую спутниковых платформ составляют бортовые приборы; при использовании многоцелевых методов проектирования конструкция спутниковой платформы может относиться к комплектующей структуре;

- 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).

Работы третьего этапа выполнены полностью. Все поставленные задачи этапа решены в полном объеме.