

Бюджетное образовательное учреждение «Лицей № 25»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Омский государственный технический университет»
НИЛ «Двигательные установки микротяги МКА»

**Создание и экспериментальные исследования
электротермической двигательной установки на воде
с использованием аддитивных технологий
для маневрирующих нано и микроспутников**

Этап №1

**Изготовление топливного бака и предварительные исследования
эластичной вытеснительной системы подачи топлива в
микродвигатель**

Выполнил:

учащийся 10 класса

БОУ г.Омска "Лицей №25"

Вишневский Арсений

Научный руководитель:

учитель физики

БОУ г.Омска "Лицей №25"

Вишневская Татьяна Алексеевна

Омск 2020

Содержание

1. Введение.....	3
2. Основное содержание работы.....	7
3. Заключение.....	11
4. Списокиспользуемойлитературыииисточников.....	11

1. Введение

Современный этап освоения космического пространства характеризуется широкомасштабным созданием и применением маневрирующих малых космических аппаратов (МКА) с различной массой, в т.ч. наноспутников (массой до 10 кг) и микроспутников (массой до 100 кг) [1].

Современные маневрирующие нано и микроспутники с электротермическими двигательными установками (ДУ) решают широкий круг задач орбитального маневрирования: ликвидация ошибок выведения ракетными средствами выведения, поддержание орбитальных параметров, межорбитальное маневрирование, построение орбитальных группировок МКА, увод МКА на орбиту утилизации, инспектирование других МКА и орбитальных объектов, наблюдение за околоземным космическим пространством и др. [1-3]. Данные ДУ содержат электротермический микродвигатель (ЭТМД), автоматику и топливный бак с системой подачи топлива (СПТ) в ЭТМД [1 - 3]. Тип СПТ зависит от выбранного топлива ДУ.

В практике создания ДУ с ЭТМД применяются различные топлива: аммиак, бутан, пропан, вода, отличающиеся величиной реализуемого удельного импульса тяги ДУ в составе нано и микроспутников (рисунок 1).

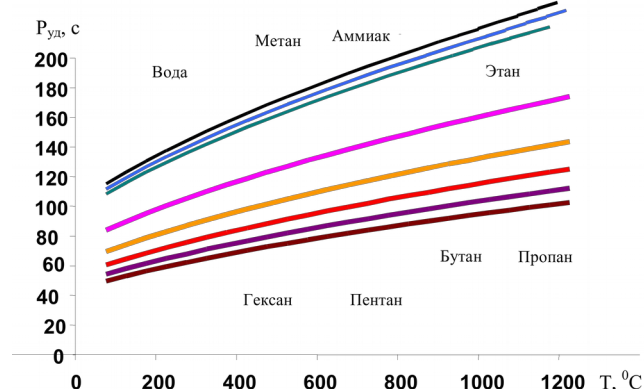


Рисунок 1 – Теоретический удельный импульс тяги различных топлив ДУ

В нашей стране и за рубежом в последнее время ведутся разработки по созданию ДУ с ЭТМД на воде.

Среди иностранных фирм изготовителей ДУ с ЭТМД для МКА самого широкого массового ряда следует выделить фирму SSTL (Великобритания). Фирмой SSTL разработаны ЭТМД на бутане, ЭТМД на ксеноне и азоте, паровой ЭТМД.

Разработчик ЭТМД фирма SSTL считает, что в сравнении с ЭТМД, использующими в качестве рабочего тела азот, ЭТМД на водяном паре имеют более высокий удельный импульс тяги и лучшие массовые характеристики. Кроме того, вода является экологически безвредным топливом и не требует повышенных мер безопасности при подготовке МКА к пуску.

В нашей стране в Самарском национальном исследовательском университете разработана летная ДУ на воде (рисунок 2). Аналогичные разработки ведутся в ОмГТУ[2].

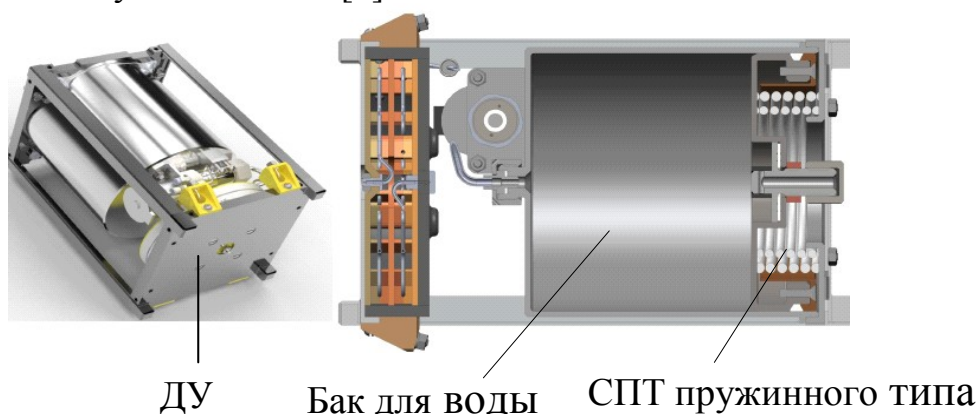


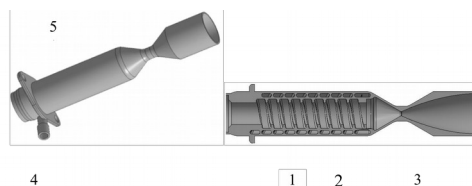
Рисунок 2 – Электротермическая ДУ на воде с СПТ пружинного типа
Использование СПТ пружинного типа увеличивает габариты и массу ДУ, что является существенным недостатком.

Альтернативным вариантом СПТ, позволяющим улучшить габаритно-массовые характеристики ДУ, является СПТ с оболочковым эластичным вытеснителем топлива заданного начального давления вытеснения.

Традиционный подход к созданию ДУ с ЭТМД (СПТ, ЭТМД) заключается в изготовлении фрезерованием и точением отдельных ее деталей с формированием различных полостей и газопроводов. Герметизация деталей после сборки корпуса осуществляется сваркой. В качестве конструкционного материала используется нержавеющая сталь типа 12Х18Н10Т.

Все это приводит к появлению дополнительных фланцевых соединений, утолщению стенок корпуса топливного бака и ЭТМД из-за технологических особенностей и ограничений используемого оборудования. Существующие технологические ограничения не позволяют изготавливать требуемые для оптимального функционирования ДУ газовые полости и выступы как внутри топливного бака, так и внутри ЭТМД [1111].

В этой связи ОмГТУ ведутся разработки по созданию стального ЭТМД с использованием аддитивной технологии на основе метода прямого лазерного спекания (DMLS, DirectMetalLaserSintering)(рисунки 3-5) [1111].



1 - завихритель; 2 - газопроводы; 3 - сопло; 4 - штуцер подвода топлива; 5 - узел крепления.

Рисунок 3 - 3D модель корпуса ЭТМД



а - корпус ЭТМД в разрезе; б - корпус ЭТМД и АНЭ; в - корпус ЭТМД в сборе с АНЭ

Рисунок 4 - Экспериментальный образец ЭТМД, изготовленный по аддитивной технологии



Рисунок 5 - Экспериментальные образцы ЭТМД, изготовленные по аддитивной технологии

При создании корпуса ЭТМД использован метод прямого лазерного спекания (DMLS, DirectMetalLaserSintering) – распространённый метод для 3D печати металлических изделий. DMLS – это аддитивный процесс, при котором корпус ЭТМД и испарителя изготавливаются последовательным наплавлением слоёв.

3D модель ЭТМД построена таким образом, чтобы сопло, корпус внешний, корпус внутренний с газовадами в виде двухзаходной резьбы, формирователь газового потока, узел крепления микродвигателя были сформированы в одном корпусе (рис. 8,9).

Преимущества использования аддитивной технологии показаны в таблице 1.

Данный подход к созданию ДУ с использованием 3D печати металлических элементов оправдан только в случае, когда уже определен проектный облик создаваемых элементов. На стадии поиска оптимальных проектных решений на основе экспериментальных исследований более предпочтительным является подход, основанный на создании экспериментальных образцов путем 3D печати неметаллических элементов ДУ, в частности, топливного бака для СПД.

Таблица 1

№	Характеристика	Технология изготовления корпуса ЭТМД	
		Точение, фрезерование	Аддитивная, DMLS
1	Количество деталей в корпусе ЭТМД	 5	 1
2	Обеспечение герметизации газопроводов, сопряжений, стыков	Возможно перетекание газа между полостями	Обеспечивается
3	Возможность изготовления любых внутренних полостей, выступов	Не обеспечивается	Обеспечивается
4	Возможность изготовления тонкостенных оболочек	Имеются технологические ограничения	Технологические ограничения минимальны
6	Возможность механической обработки внутренних полостей	Имеется	Отсутствует, кроме сопловой части
7	Достигнутая масса корпуса ЭТМД	25	22
8	Возможность снижения массы корпуса ЭТМД	Имеются технологические ограничения	Технологические ограничения минимальны

Таким образом, в проекте (этап №1) решается актуальная задача создания экспериментального образца топливного бака ДУ с ЭТМД с СПТ на основе эластичного вытеснителя с использованием 3D печати неметаллических элементов.

Работы по проекту проведены в СПТ

2. Основное содержание работы

В ходе проекта (этап №1) решены задачи:

- разработка 3D модели топливного бака и его компонентов;
- отработка технологии 3D печати;
- изготовление топливного бака методом 3D печати неметаллических элементов;
- разработка пневмогидравлической схемы (ПГС) экспериментальной ДУ;
- разработка схемы проведения эксперимента;
- сборка экспериментального топливного бака с СПТ на основе эластичного вытеснителя;
- сборка экспериментальной ДУ с ЭТМД;
- проведение предварительных экспериментальных исследований ДУ на функционирование в атмосферных условиях и в вакуумной камере.

3D модели топливного бака и необходимых компонентов разработаны с использованием программных продуктов NX и «Компас» (рисунки 6,7).

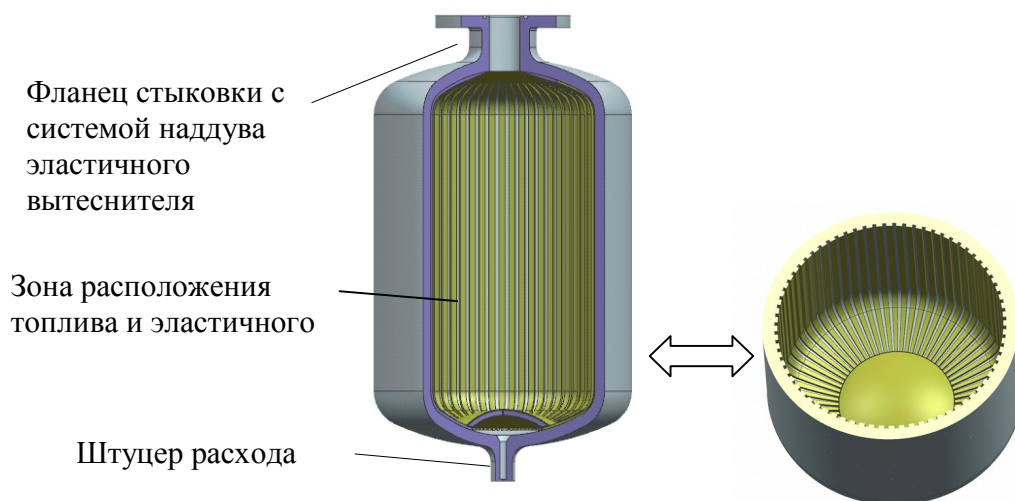


Рисунок 6 - 3D модель топливного бака

Особенностью конструкции топливного бака является наличие на его внутренней поверхности ребрения, обеспечивающей подачу топлива в ЭТМД при любом расположении эластичного вытеснителя в конце функционирования ДУ (момент окончания выработки топлива).

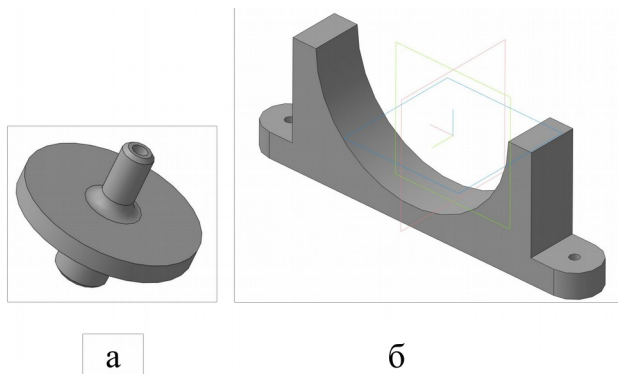


Рисунок 7 - 3D модели штуцера наддува (а) и ложемент бака (б)

Изготовление топливного бака методом 3D печати неметаллических элементов проводилась на 3D принтере «Picasodesignerpro 250» из ABS пластика (рисунок 8).



Рисунок 8 – Изготовленные на 3D принтере «Picasodesignerpro 250» из ABS пластика компоненты ДУ

При изготовлении дна бака как отдельного компонента была отработана технология 3D печати.

Разработанная ПГС экспериментальной ДУ приведена на рисунке 9.

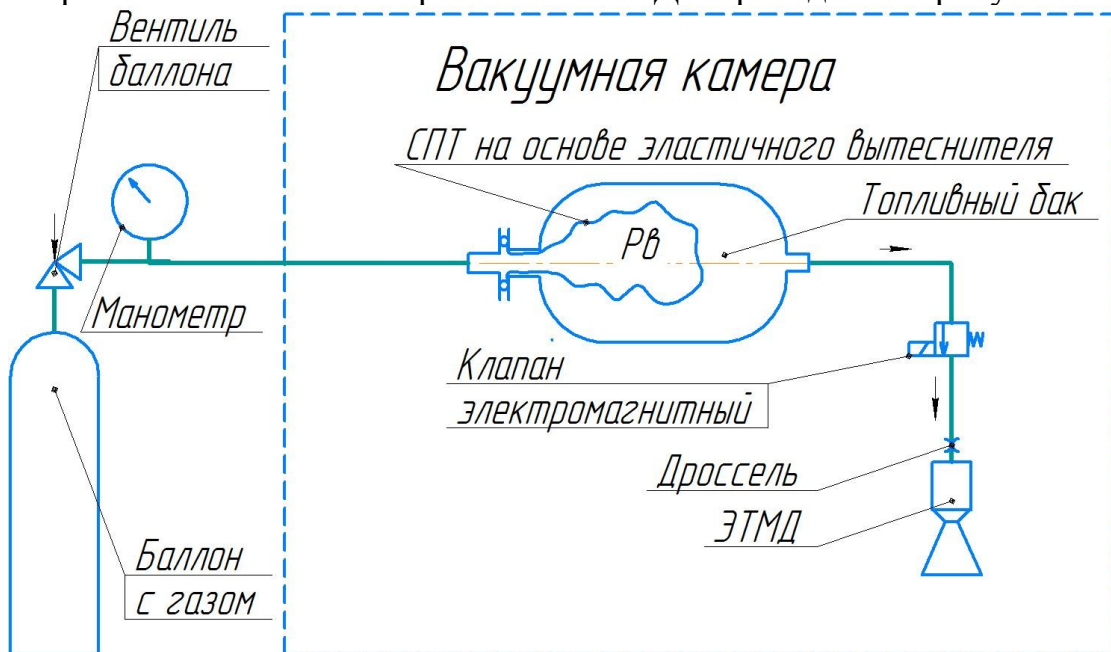


Рисунок 9 – ПГС экспериментальной ДУ

Особенностью данной ПГС является возможность изменения давления вытеснения топлива в ЭТМД (Рв) при проведении экспериментальных исследований.

В соответствии с рисунком 10 показан собранный в соответствии с ПГС топливный бак с СПТ на основе эластичного вытеснителя при проведении испытаний СПТ на функционирование в атмосферных условиях.

Проведенные испытания СПТ на функционирование в атмосферных условиях подтвердили работоспособность ДУ.



Источник питания

Компрессор

Топливный бак с эластичным вытеснителем



Измеритель температуры на срезе сопла

ЭТМД

Термопара

Рисунок 10 - Проведение испытаний топливного бака с СПТ на основе эластичного вытеснителя на функционирование в атмосферных условиях

Проведение испытаний топливного бака с СПТ на основе эластичного вытеснителя на функционирование в вакуумной камере показано в соответствии с рисунками 11-13.

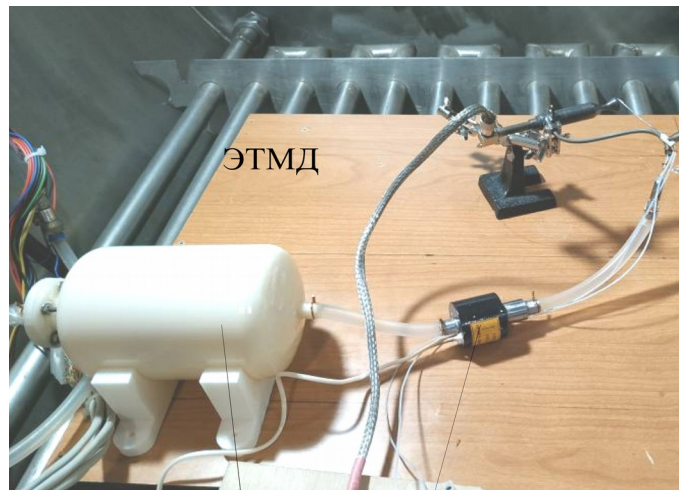
В качестве ЭТМД использовался ЭТМД с автономным нагревательным элементом в соответствии с рисунком 14.



ДУ с ЭТМД

Вакуумная камера

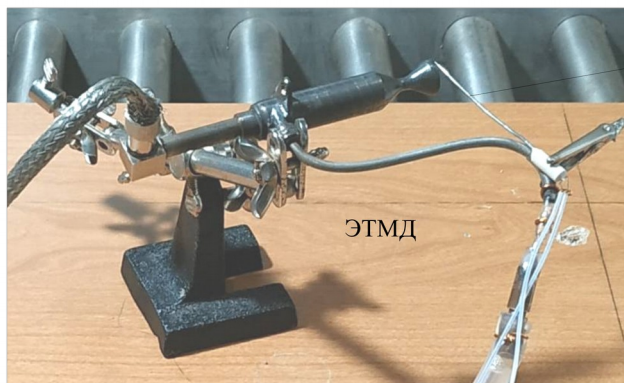
Рисунок 11 –Общий вид вакуумной камеры с экспериментальной ДУ



Топливный бак

Электроклапан

Рисунок 12–Общий вид ДУ с ЭТМД в вакуумной камере



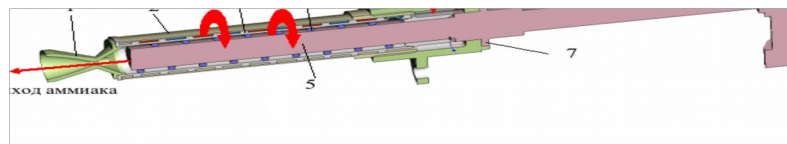
ЭТМД

Термопара

Дроссель



Рисунок 13–Общий вид ЭТМД в вакуумной камере



- 1 – сопло профилированное; 2 – корпус; 3 – корпус внутренний с газоидами;
 4 – формирователь газового потока; 5 – нагреватель; 6 – узел крепления
 микродвигателя; 7 – фланец нагревателя

Рисунок 14–Общий вид ЭТМД с автономным нагревательным элементом
 Функционирование экспериментальной ДУ осуществлялось по «Горячей» схеме с предварительным прогревом ЭТМД мощностью (36 – 49) Вт. Давление в эластичном вытеснителе изменялось в пределах (0.015-0.05) МПа. Расход топлива ограничивался нерегулируемым дросселем.

Результаты исследований экспериментальной ДУ с ЭТМД на функционирование, изготовленной с применением аддитивной технологии, с применением воды в качестве топлива, показаны на рисунке 15.

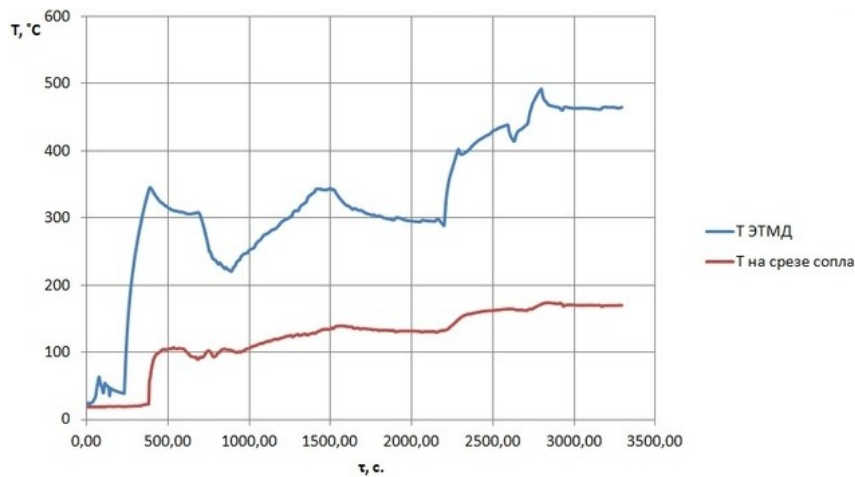


Рисунок 15 – Изменение температуры нагревательного элемента ЭТМД и температуры пара на срезе сопла ЭТМД с изменением давления вытеснения в процессе испытаний

Проведенные испытания ДУ с ЭТМД на функционирование в вакууме с использованием СПТ на основе эластичного вытеснителя и воды в качестве топлива подтвердили работоспособность ДУ.

3. Заключение

- В ходе проекта (этап №1) получены следующие результаты:
 - разработана конструкция топливного бака с внутренним ребрением для использования с СПТ на основе эластичного вытеснителя;
 - отработана технологии 3D печати топливного бака на 3D принтере «Picasodesignerpro 250» из ABS пластика;
 - изготовлен топливный бак на 3D принтере «Picasodesignerpro 250» из ABS пластика и необходимы компоненты;
 - в соответствии с разработанной пневмогидравлической схемой собран экспериментальный образец ДУ с ЭТМД с СПТ на основе эластичного вытеснителя;
 - проведены предварительные экспериментальные исследования ДУ на функционирование в атмосферных условиях и в вакуумной камере.
- Проведенные исследования показали полную работоспособность ДУ, изготовленную с использованием аддитивной технологии и воды в качестве топлива. СПТ на основе эластичного вытеснителя обеспечивает подачу топлива в ЭТМД.
- Максимальная достигнутая температура пара на срезе сопла ЭТМД при мощности ЭТМД (36 – 49) Вт составила 170 °C.
- Для проведения дальнейших параметрических исследований созданная конструкция экспериментальной ДУ с ЭТМД должна быть доработана в части введения устройства регулирования расхода топлива в ЭТМД.

4. Список используемой литературы и источников

1. Study of power-to-weight ratio of electrothermal propulsion system of nanosatellite maneuvering satellite platform/V. N. Blinov[At all] // Journal of Physics: Conference Series. - AMSD – 2018. Vol. 944. - P.P. 012020-1 -012020-14. DOI : 10.1088/1742-6596/944/1/012020.

2. Исследования электротермических микродвигателей корректирующих двигательных установок маневрирующих малых космических аппаратов : монография /В.Н. Блинов, [и др.] – Омск, 2014. – 264 с.

3. Малые космические аппараты. Пикоспутники. Наноспутники : справоч. пособие. В 3 – х кн. Кн. 1. / В. Н. Блинов [и др]. – Омск. : Изд-во ОмГТУ, 2010. – 212 с.

4. Степень П.В., Лукьянчик А.И. Обзор двигательных установок на воде и продуктах ее электролиза для малых космических аппаратов / П.В. Степень, А.И.. Лукьянчик // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической и авиационной техники : материалы XII регион.науч. конф., посвященной памяти главного конструктора ПО «Полет» А. С. Клинышкова. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – С. 98-104.