

# Применение аддитивных технологий термостойких пластиков в аэрокосмической отрасли

Побемянский А.В.

Мустейкис А.И.

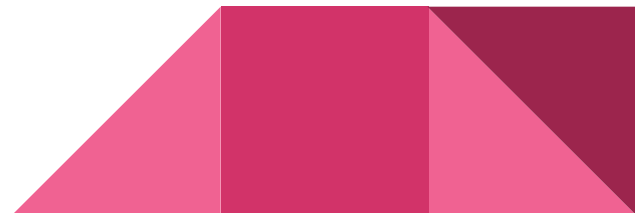
Галаджун А.А.

«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Санкт-Петербург

В сотрудничестве с ООО “Современное оборудование”  
(Группа компаний Солвер)

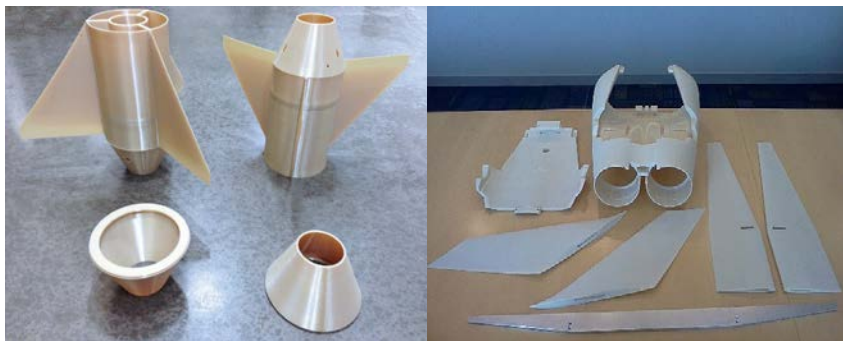
## Цель проекта

Исследование возможности изготовления и функционального применения деталей аэрокосмической отрасли, полученных методами аддитивных технологий из термостойких пластиков.



# Применение термостойких пластиков в аэрокосмической отрасли

Отдельные детали модельных ЛА



Источник:

[www.stratasysdirect.com](http://www.stratasysdirect.com)

Отдельные детали ракет-носителей



Источник:

[blog.stratasys.com](http://blog.stratasys.com)

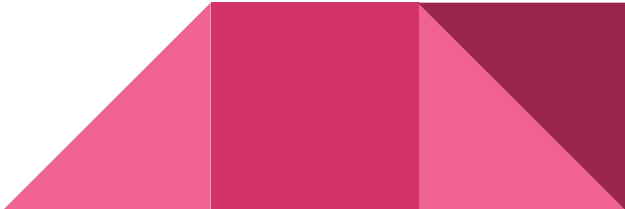
Модельные ЛА в сборе



Источник:

[www.aurora.aero](http://www.aurora.aero)

## Преимущества 3D-печати термостойкими пластиками

1. Повышение гибкости проектирования
  2. Уменьшение сроков изготовления функциональных прототипов, переход к прямому цифровому производству
  3. Снижение массы деталей на 40-50%
- 

# Объект исследования: малоразмерный ГТД (МГТД) для БПЛА

## Параметры МГТД:

Тяга – **10** кгс;

Температура газов перед  
турбиной - **650-700** °С;

Диаметр миделя – **110** мм;

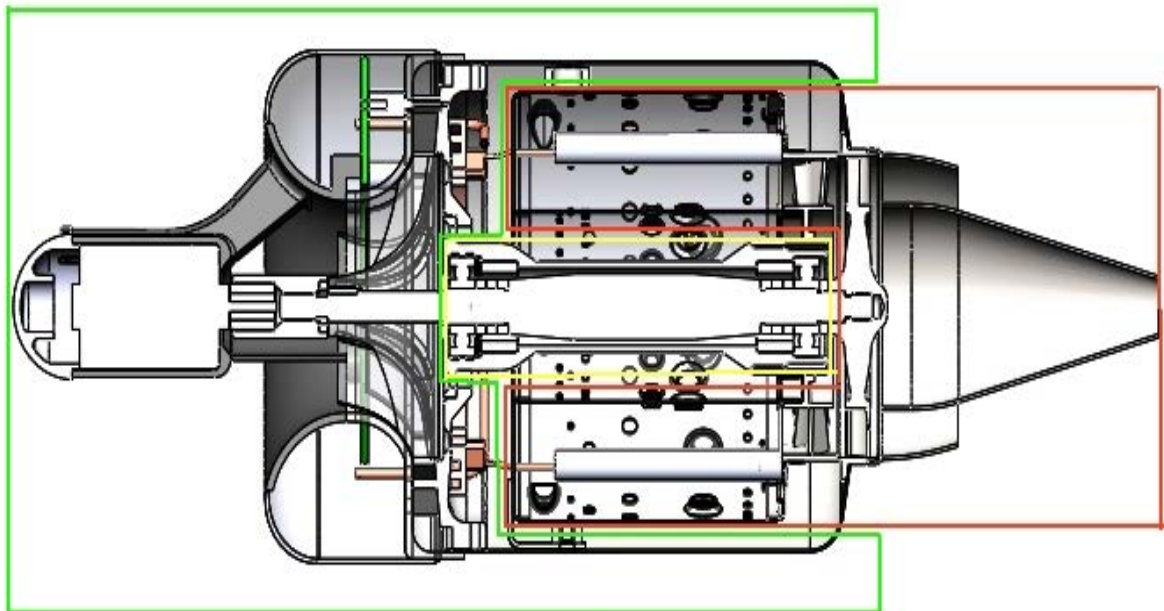
Длина – **150** мм.



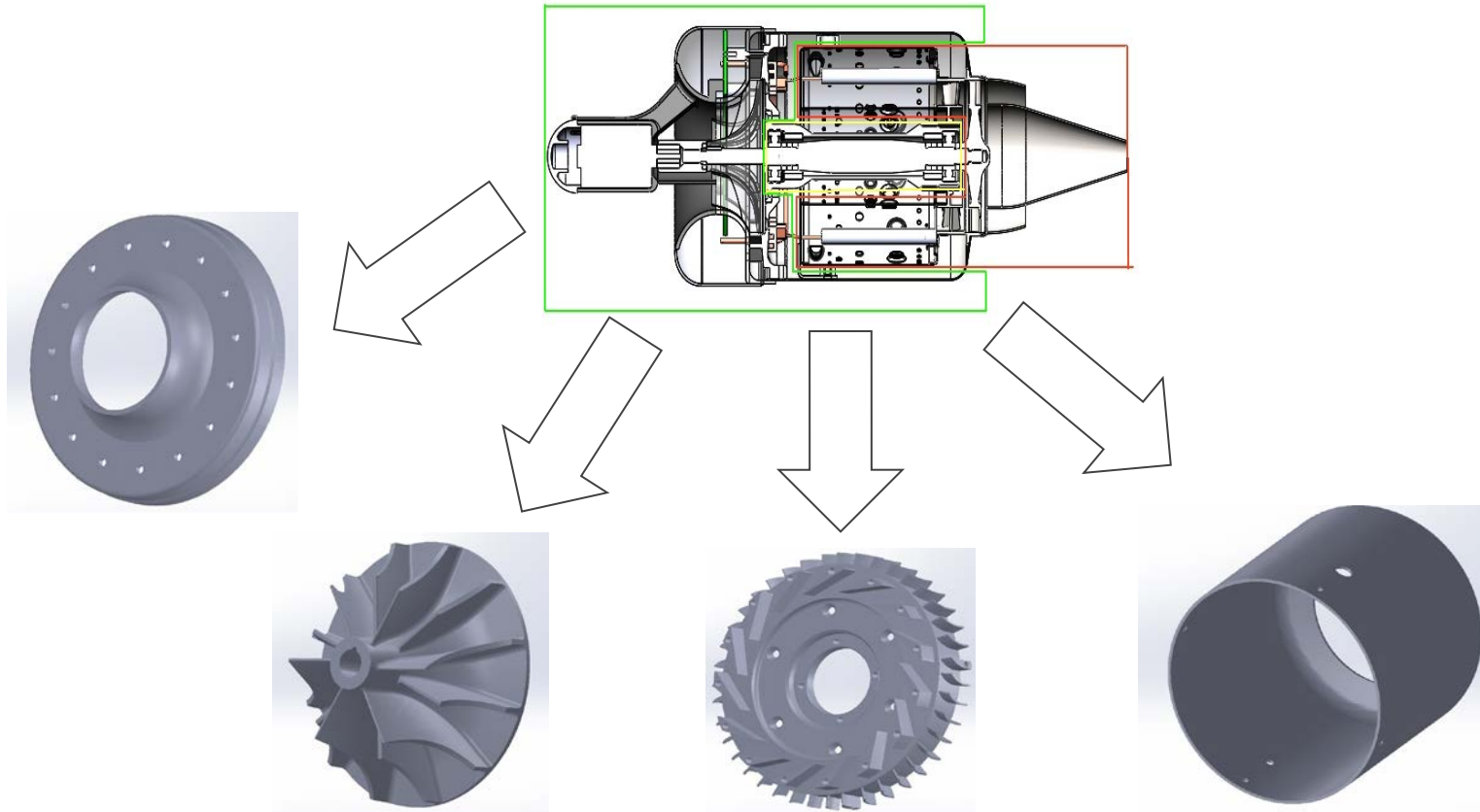
# Объект исследования: МГТД для БПЛА

Три категории деталей по температуре эксплуатации:

- низкотемпературные  
(зеленая область)  
(150-220 °C);
- среднетемпературные  
(желтая область)  
(300-400 °C);
- высокотемпературные  
(красная область)  
(выше 500 °C).



# Выбор деталей МГТД для печати

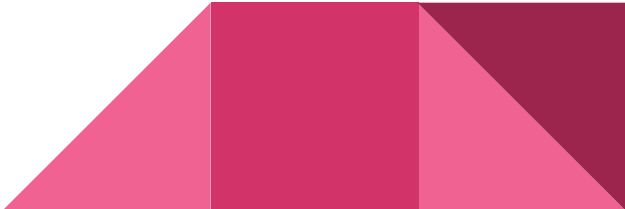


# Сравнительная характеристика термостойких пластиков

Материал	Температура тепловой деформации (1,82 МПа), °C	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление разрыву, МПа	Линейный коэффициент термического удлинения, 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>
PPSF	189	1280	55	55
ULTEM 1010	213	1270	37-81	47
ULTEM 9085	153	1340	42-69	65
Дюраль Д16	Рекомендуемая Т экпл. не более 230 °C	2800	460	22



# Задачи проекта

1. Проведение предварительных расчетов теплового состояния деталей в составе МГТД;
  2. Печать деталей, оценка точности изготовления, качества поверхности;
  3. Проведение испытаний деталей в составе МГТД;
  4. Съём деталей и проведение дефектации;
  5. Анализ полученных данных, выводы и рекомендации по применению аддитивных технологий термостойких пластиков в авиакосмической отрасли.
- 

# Предварительные расчеты МГТД

Исходные данные для расчета:

Режим работы - МАХ

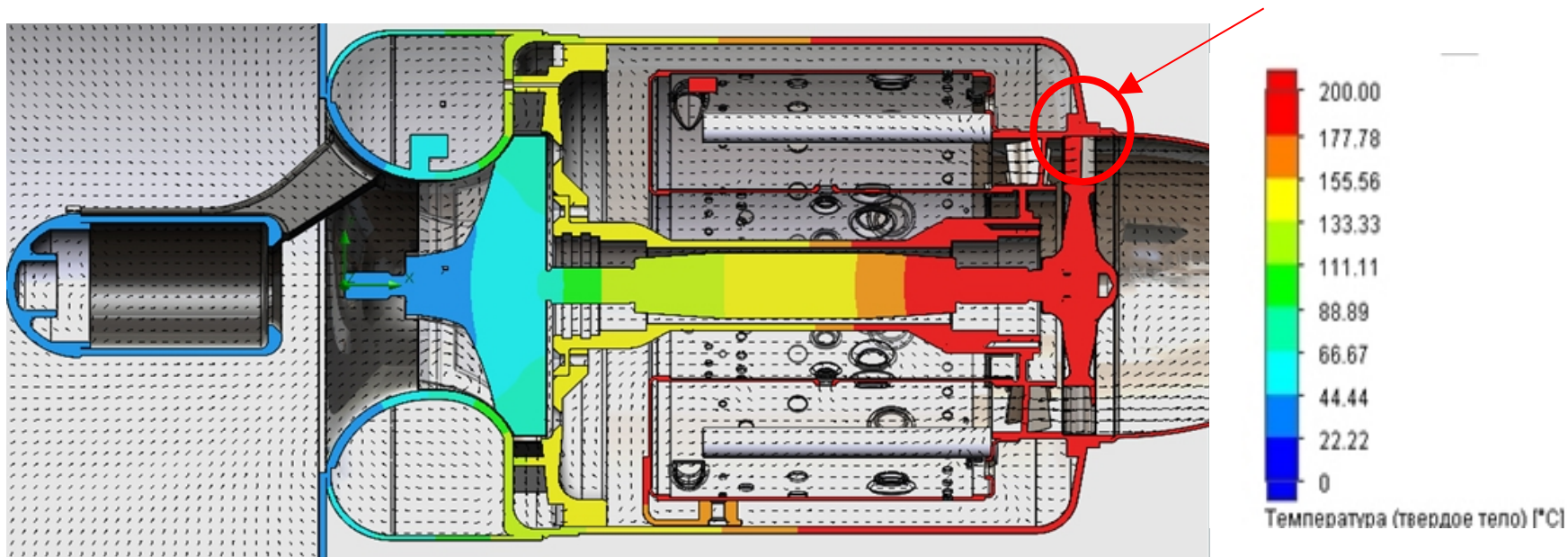
Частота вращения вала МГТД: **110000** об/мин

Расход воздуха: **0,22** кг/с

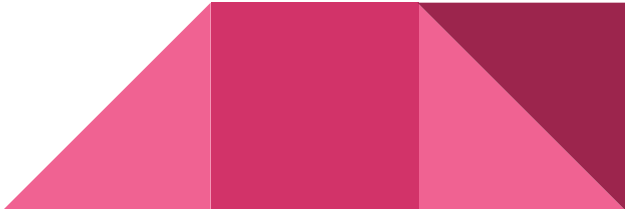
Расход топлива: **0,004** кг/с

Толщина стенок деталей для печати была изменена с **0,5-0,8** мм до **1,5** мм

# Результаты расчетов: Распределение температуры по сечению МГТД



## Выводы по результатам расчетов

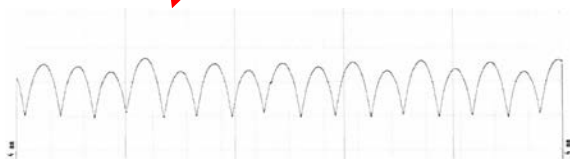
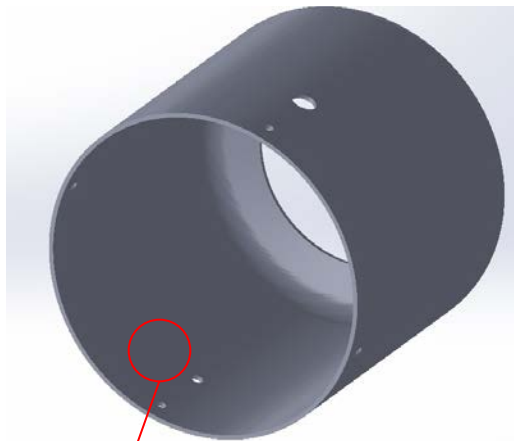
1. Печать деталей возможна только с использованием пластика ULTEM 1010;
  2. Модели деталей требуют конструктивной доработки для возможности обеспечения теплозащиты в месте контакта с высокотемпературными металлическими поверхностями.
- 

## Внешний вид деталей после удаления поддержек

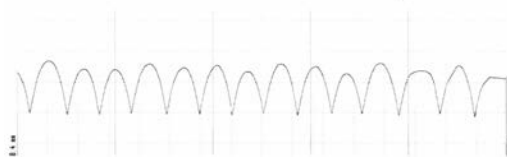


3D-принтер: **Stratasys Fortus 900 mc**

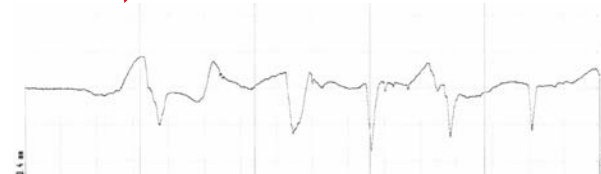
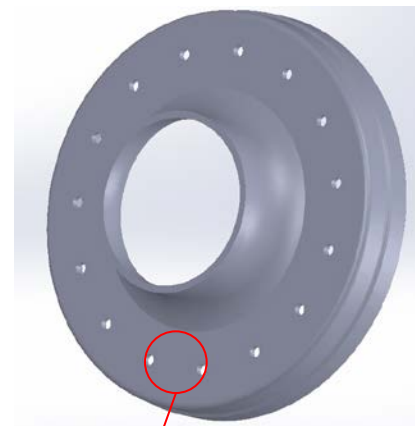
# Оценка качества поверхностей



$Ra_{\text{измер.}} = 19,7$   $Ra_{\text{треб.}} = 2,5$



$Ra_{\text{измер.}} = 21,9$   $Ra_{\text{треб.}} = 3,2$

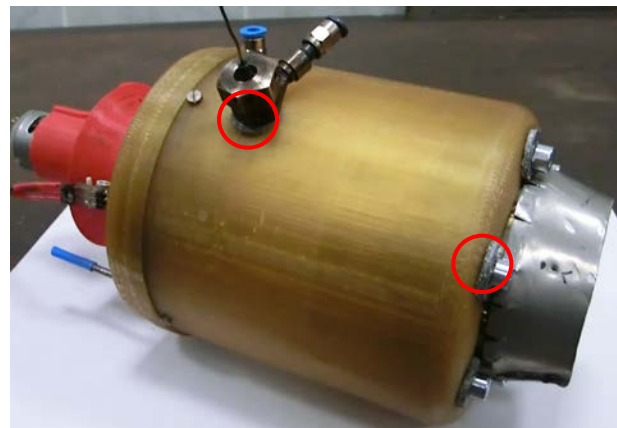


$Ra_{\text{измер.}} = 5,0$

## Оценка точности изготовления

<b>Деталь</b>	<b>Среднее отклонение, %</b>	<b>МАХ отклонение, %</b>	<b>Квалитет</b>
Крышка компрессора	4,8	9,4	15
Колесо компрессора	2,2	8,3	15
Диффузор	2,4	8,0	14
Корпус камеры сгорания	4,1	9,7	14

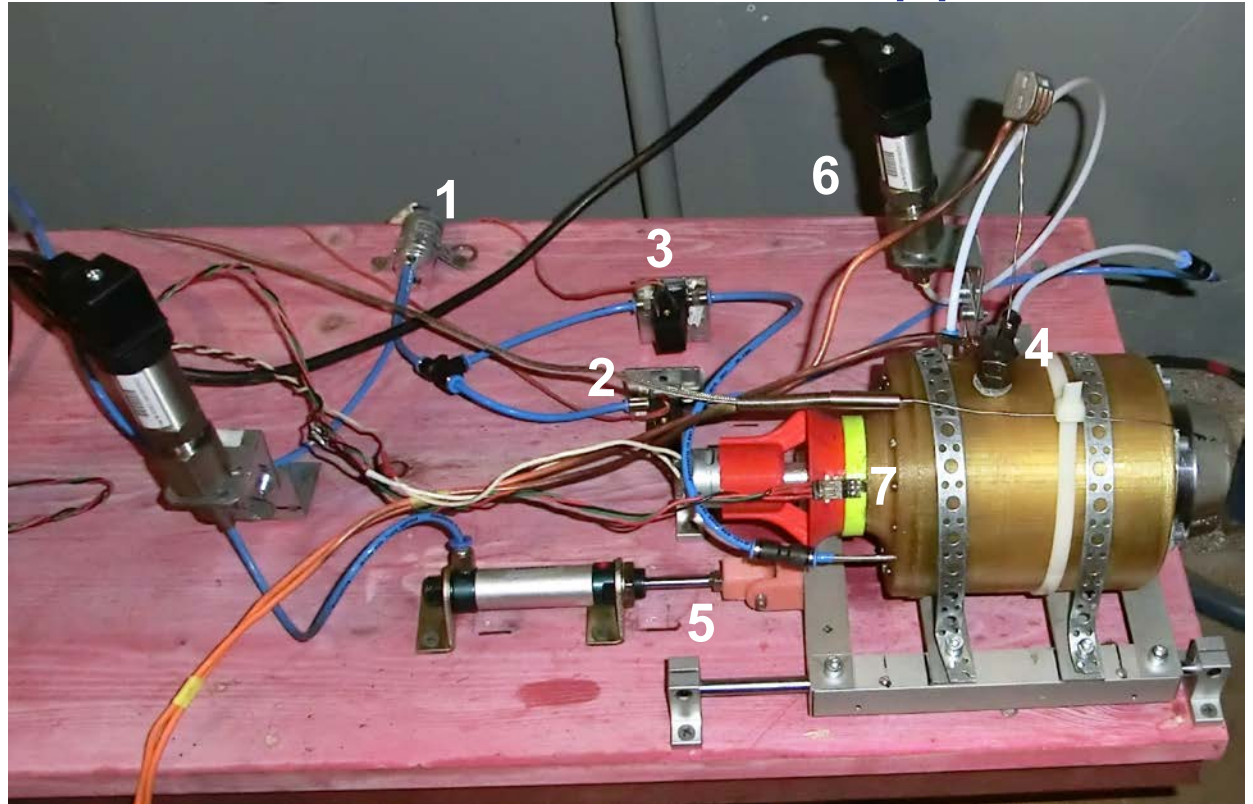
# Сборка МГТД

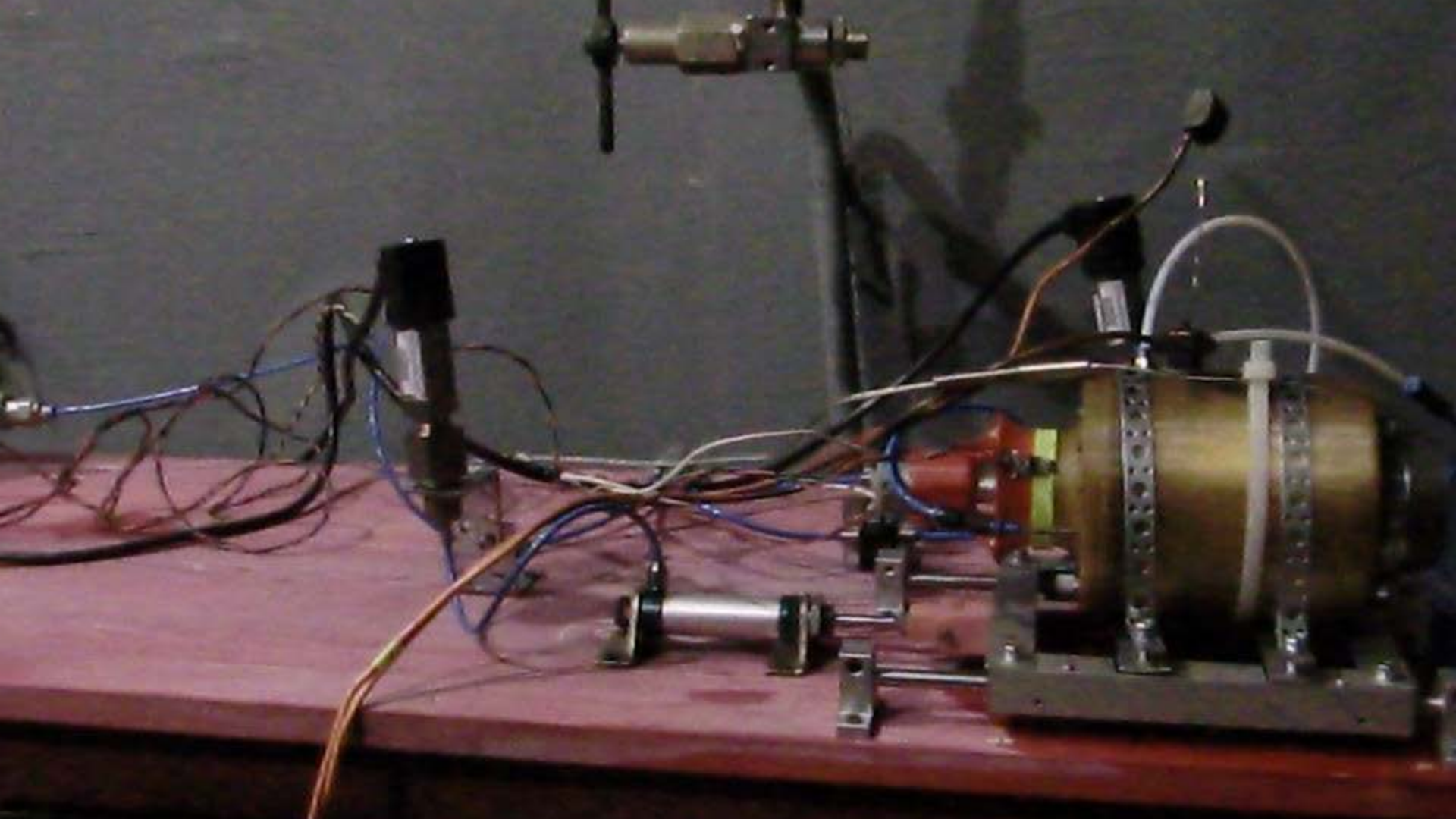




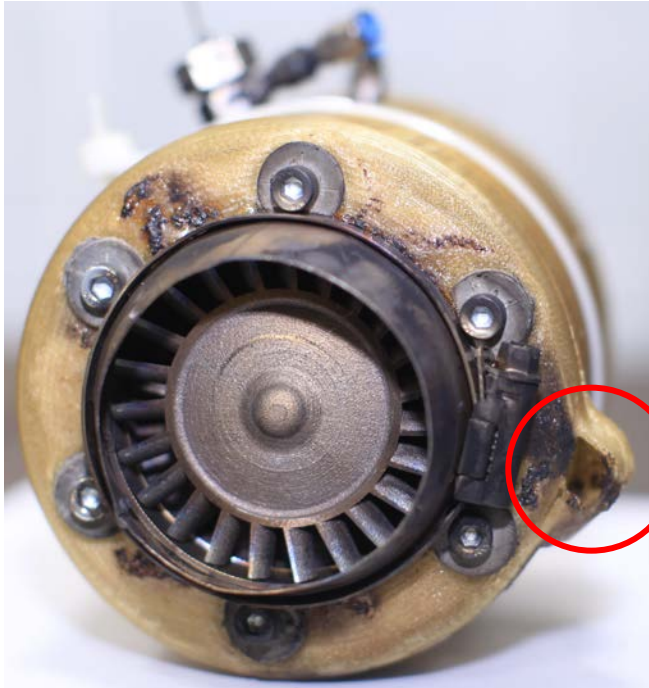
# Испытания деталей в составе МГТД

- 1 - топливный насос
- 2 - клапан запального топлива
- 3 - клапан основного топлива
- 4 - запальное устройство
- 5 - тягоизмерительная система
- 6 - датчик давления в КС
- 7 - датчик числа оборотов ротора

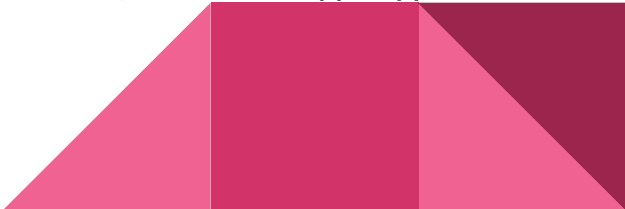




## Результаты испытаний деталей в составе МГТД



# Выводы

1. Детали, изготовленные из термостойких пластиков методами аддитивных технологий, пригодны для использования в качестве испытательных макетов МГТД с незначительными доработками (увеличение толщины стенок, использование теплоизоляции при сборке).
  2. Требуются дополнительные испытания для подтверждения возможности использования подобных деталей в качестве полнофункциональных изделий.
  3. Современный уровень 3D-печати методом FDM не позволяет изначально достичь качества поверхности и точности размеров деталей, потребного для аэрокосмической отрасли. Требуется дополнительная механическая постобработка.
  4. Желательно разрабатывать немеханические методы постобработки, особенно для деталей сложных форм.
- 

**Спасибо за внимание!**