



Выпускная работа бакалавра  
на тему:  
**«Топологическая оптимизация изделий,  
изготавливаемых методом литья»**

Студент: Голубков Н.А.

Группа: 43602/3

Руководитель: Ховайко М.В.

Санкт-Петербург

2016г

# Цели и задачи

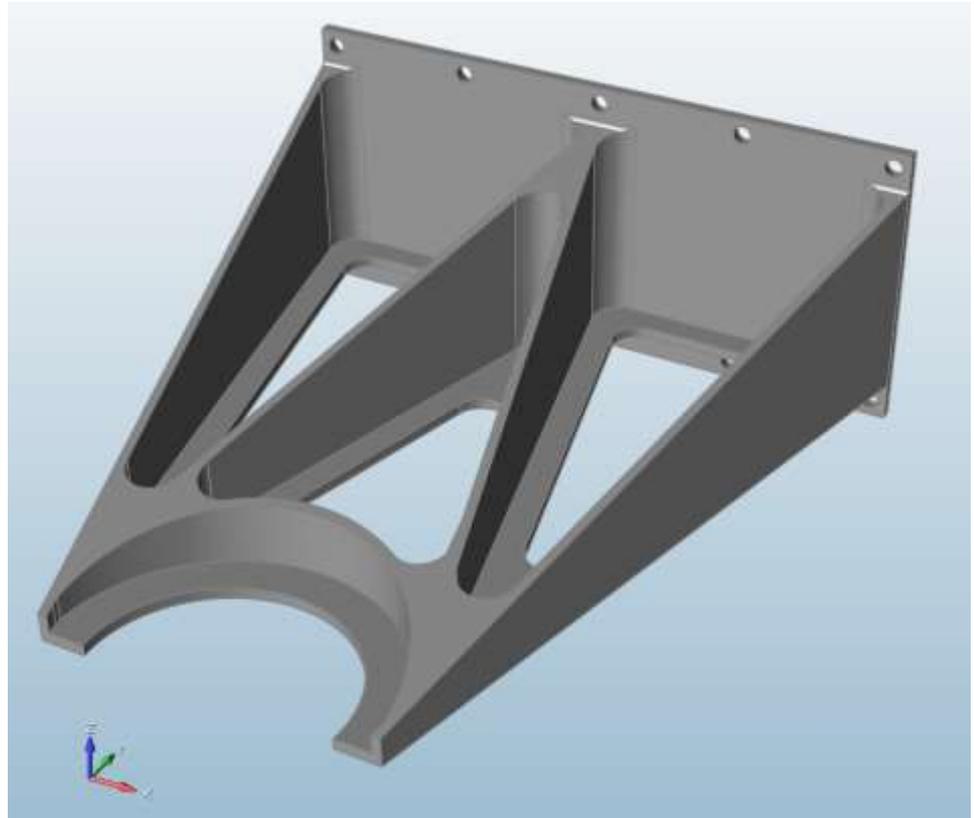
## Оптимизация конструкции опоры антенны:

Целевая функция –  
Податливость конструкции.

Цель – минимизации целевой  
функции.

Ограничение на массу – не более  
исходной.

Пригодность полученной формы  
к изготовлению методом литья

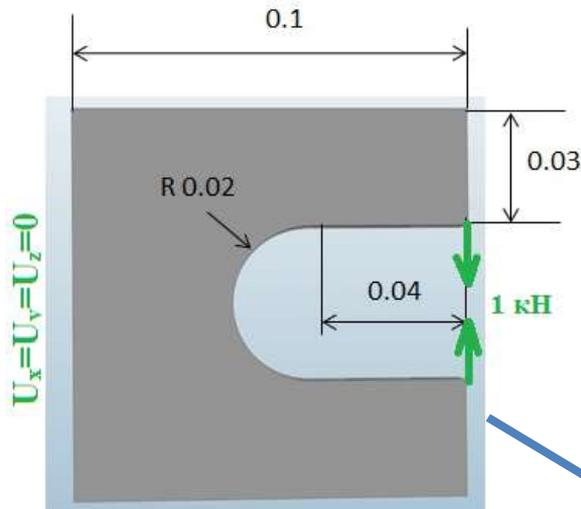


# Модельная задача

SolidThinking Inspire

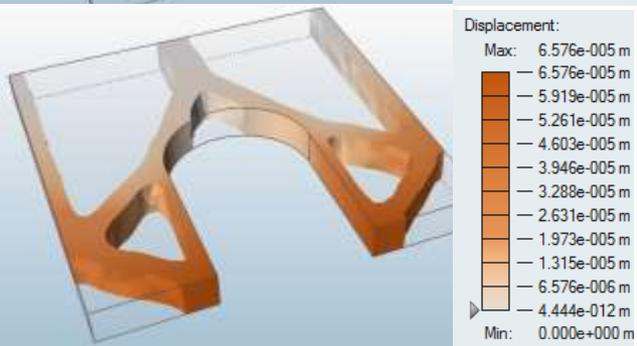
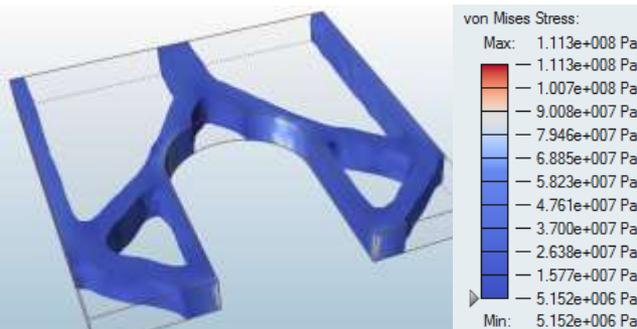
- Минимизация целевой функции податливости
- Уменьшение массы
- Контроль формы

Материал:  
steel AISI 304  
Предел текучести:  
230 МПа



- Масса: 0.62 кг
- Запас прочности: 2.07
- Максимальное перемещение: 0.03 мм

- Ограничение на форму: Extrusion
  - Ограничения по массе: 30 %



- Масса: 0.19 кг
- Запас прочности: 2.05
- Максимальное перемещение: 0.06 мм

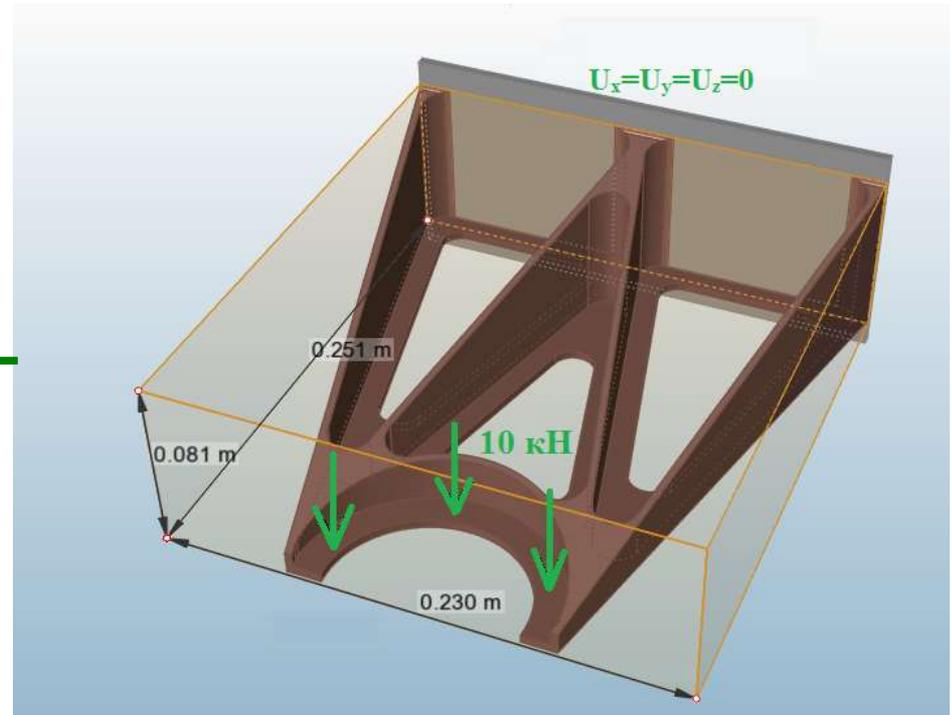
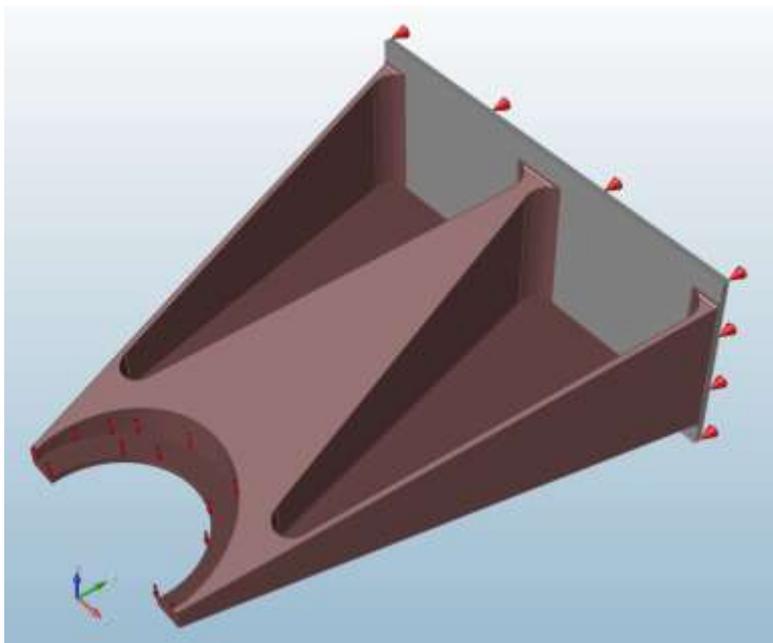




# Постановка задачи

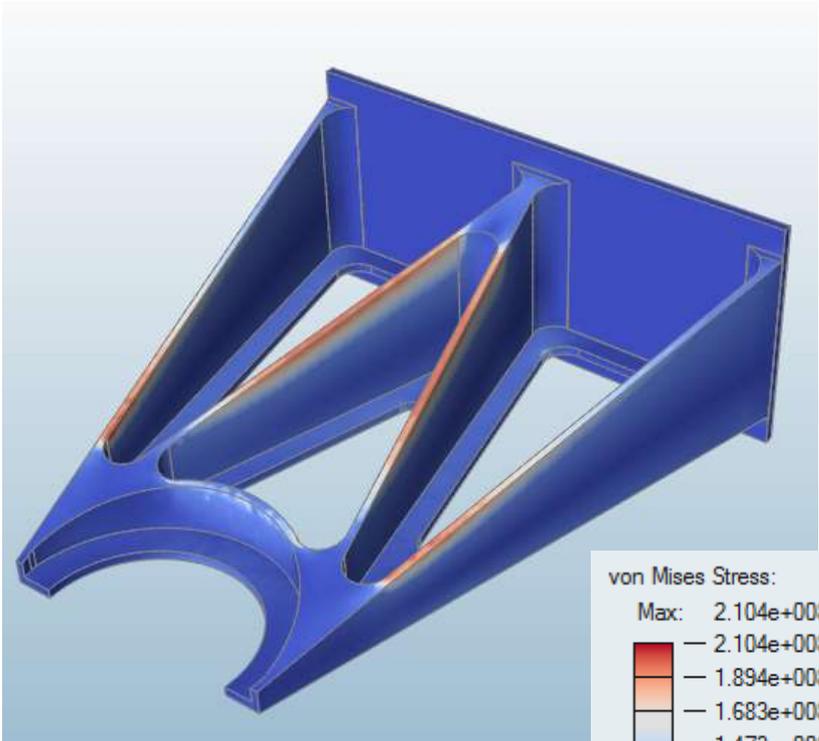
SolidThinking INSPIRE

- Максимизация целевой функции жесткости
  - Уменьшение массы
- (Масса исходного кронштейна: 2.87 кг)
- Ограничение на перемещение: 1 мм
  - Материал: steel AISI 304  
(предел текучести: 230 МПа)
  - Контроль формы



*Увеличение пространства  
оптимизации*

# Анализ исходной конструкции



von Mises Stress:

Max: 2.104e+008 Pa

— 2.104e+008 Pa

— 1.894e+008 Pa

— 1.683e+008 Pa

— 1.473e+008 Pa

— 1.263e+008 Pa

— 1.052e+008 Pa

— 8.417e+007 Pa

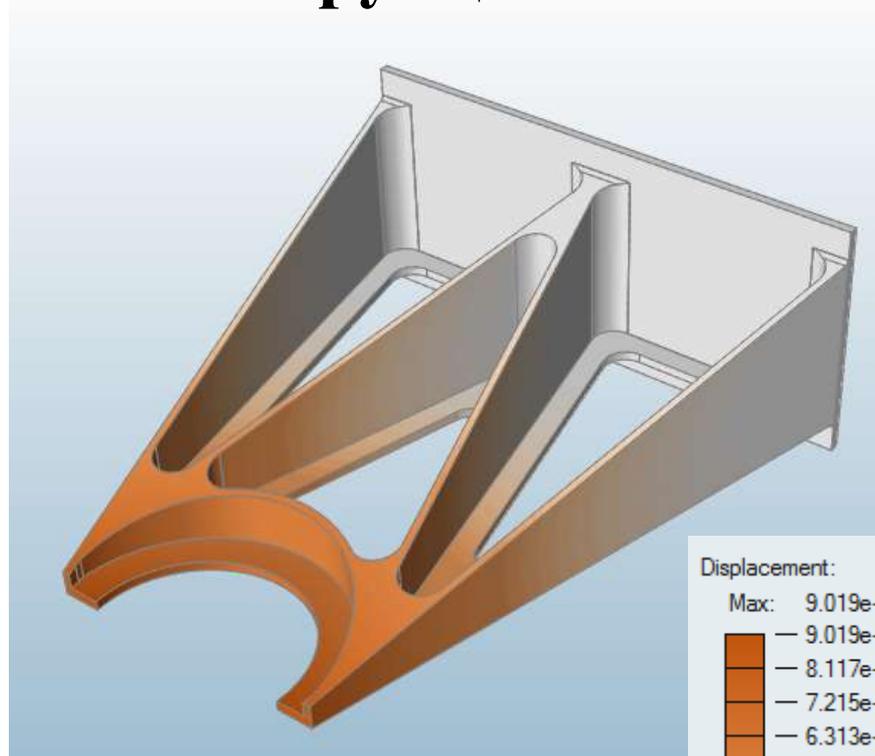
— 6.313e+007 Pa

— 4.209e+007 Pa

— 2.104e+007 Pa

— 2.573e+002 Pa

Min: 2.573e+002 Pa



Displacement:

Max: 9.019e-004 m

— 9.019e-004 m

— 8.117e-004 m

— 7.215e-004 m

— 6.313e-004 m

— 5.411e-004 m

— 4.509e-004 m

— 3.607e-004 m

— 2.706e-004 m

— 1.804e-004 m

— 9.019e-005 m

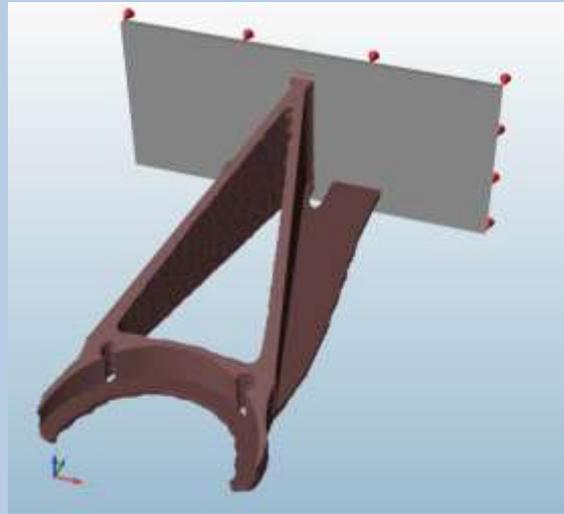
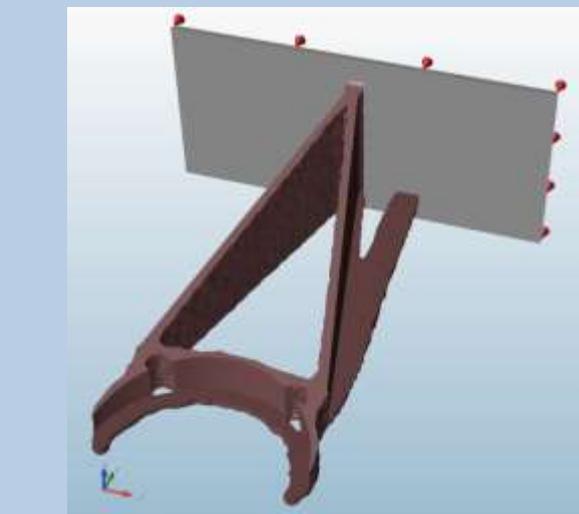
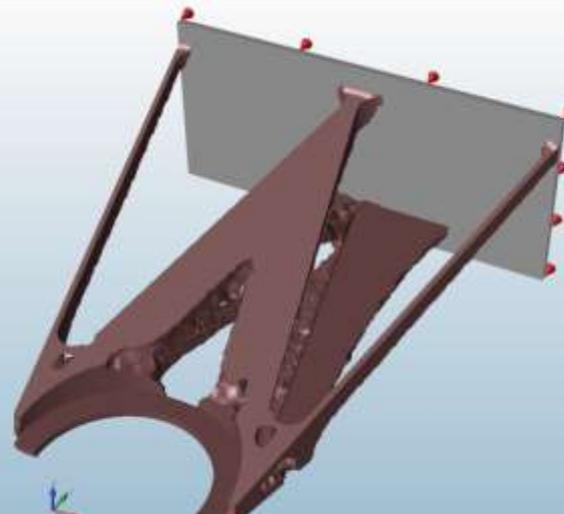
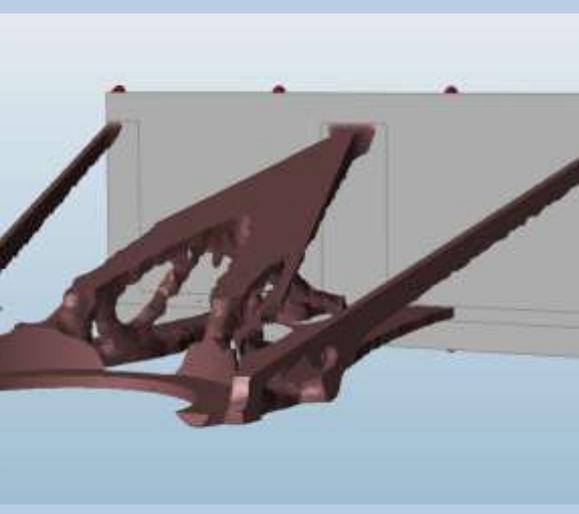
— 4.208e-017 m

Min: 0.000e+000 m

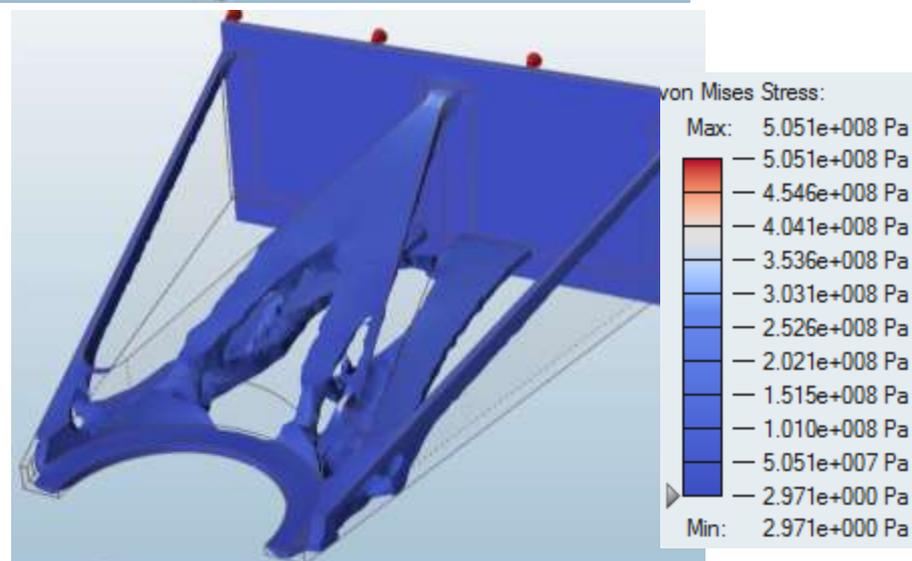
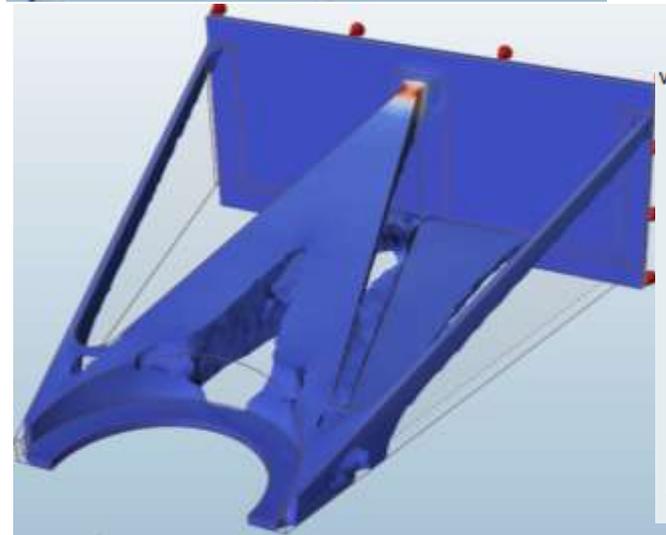
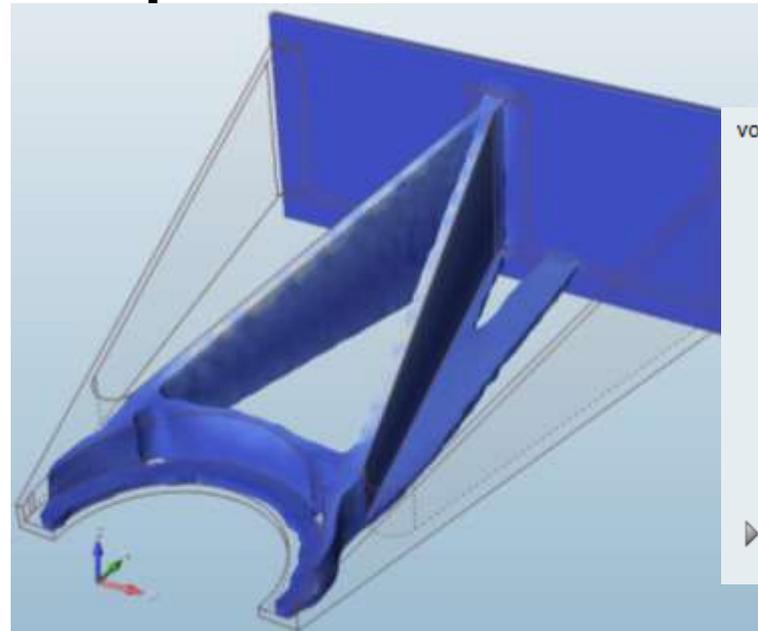
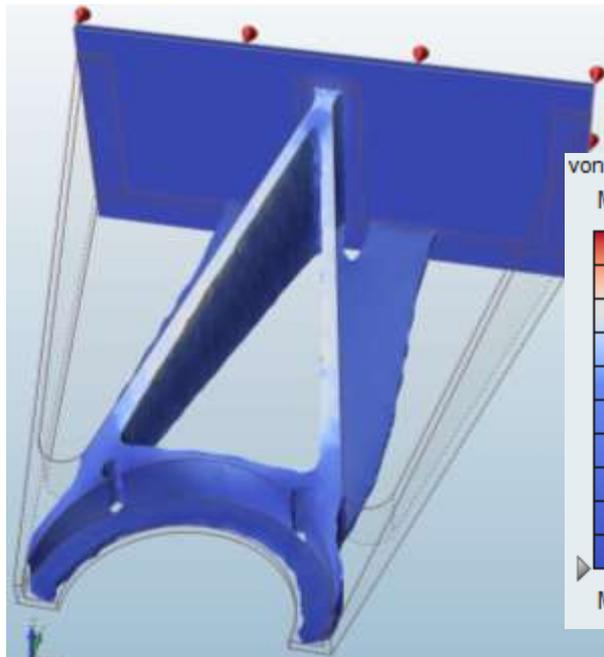
Запас прочности: 1.09

Максимальное перемещение: 0.9 мм

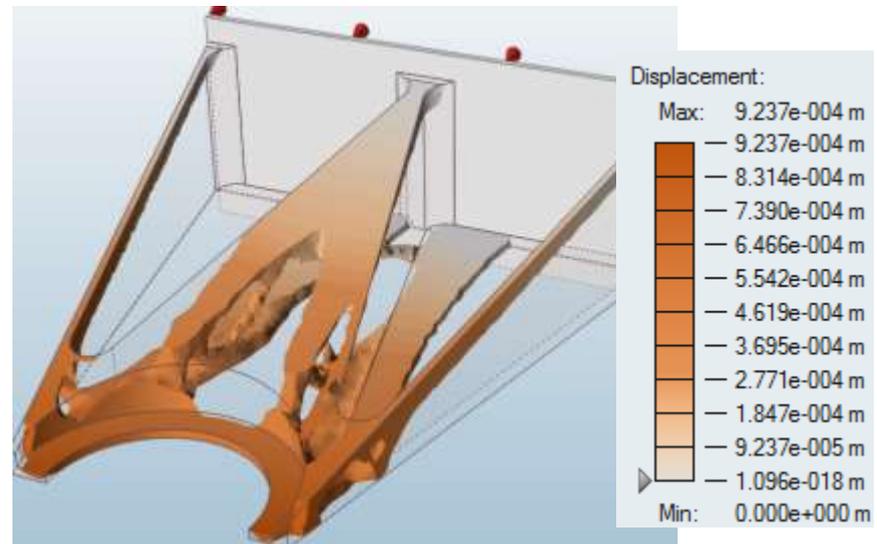
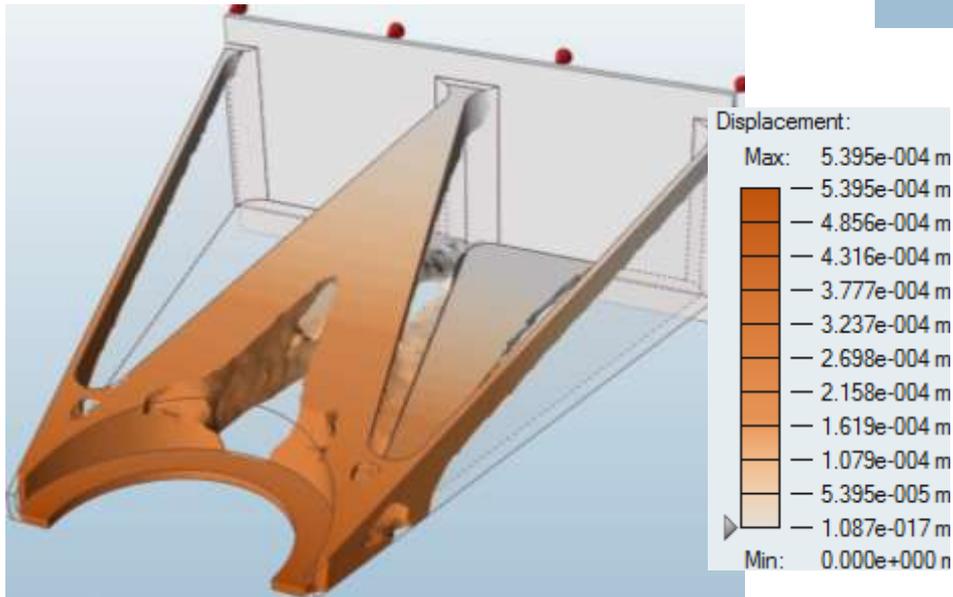
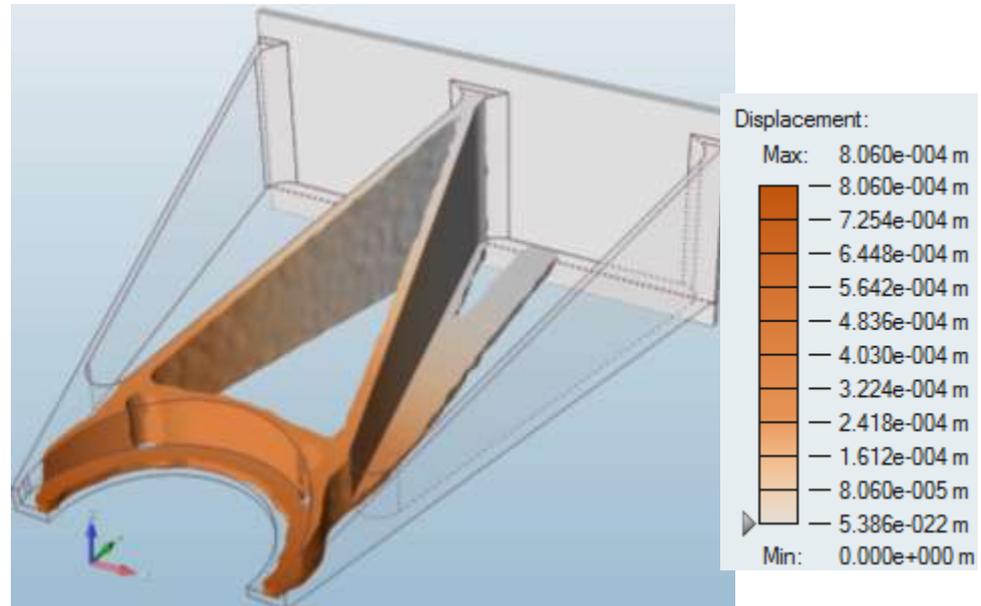
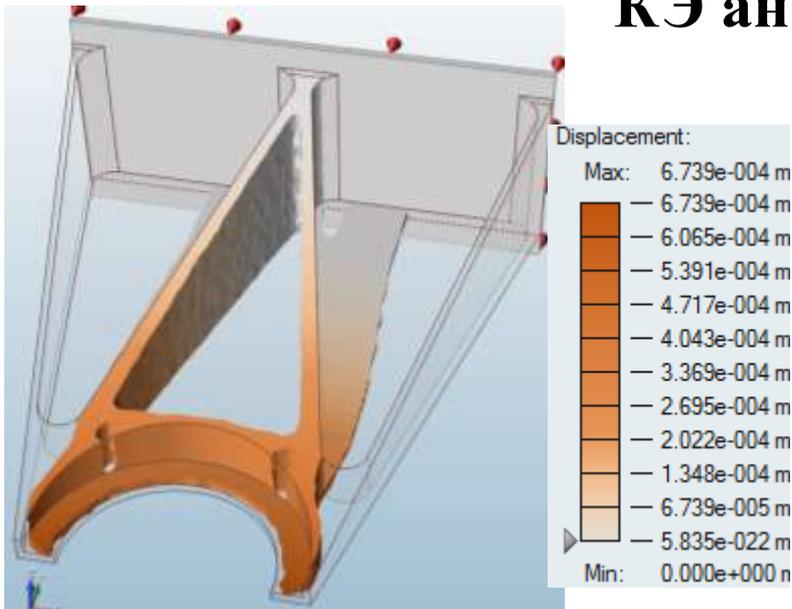
## Результаты топологической оптимизации

Форма \ Масса	30 %	20 %
Extrusion		
Split Draw		

## КЭ анализ напряжений



## КЭ анализ перемещений

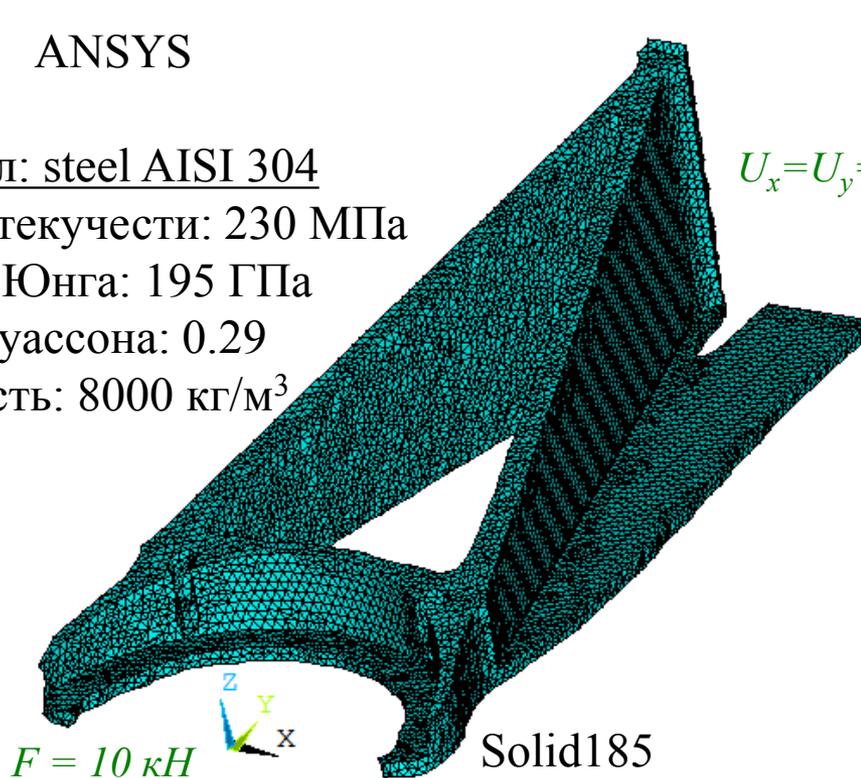


# КЭ постановка задачи анализа напряженно-деформированного состояния

ANSYS

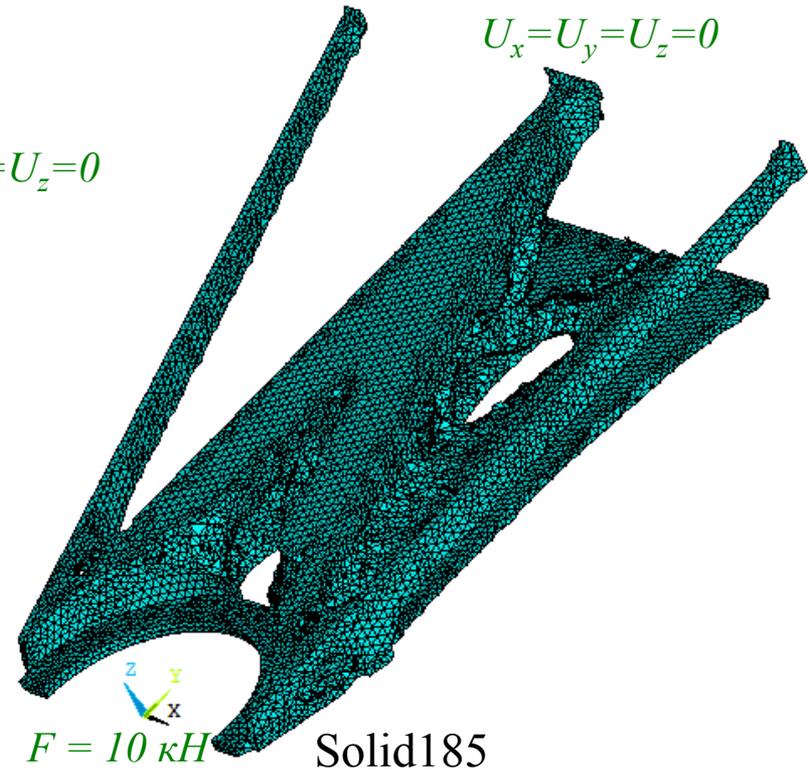
Материал: steel AISI 304

- Предел текучести: 230 МПа
- Модуль Юнга: 195 ГПа
- Коэф. Пуассона: 0.29
- Плотность: 8000 кг/м<sup>3</sup>



$$U_x = U_y = U_z = 0$$

Solid185  
NNOD = 21768  
NDOF = 65304

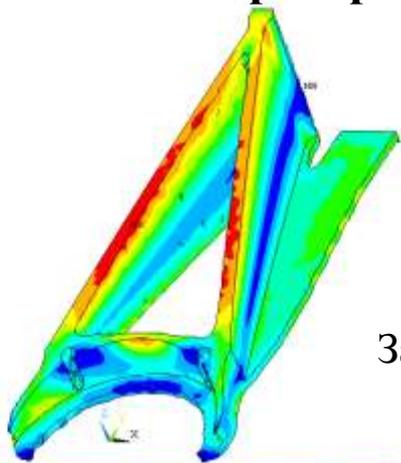


$$U_x = U_y = U_z = 0$$

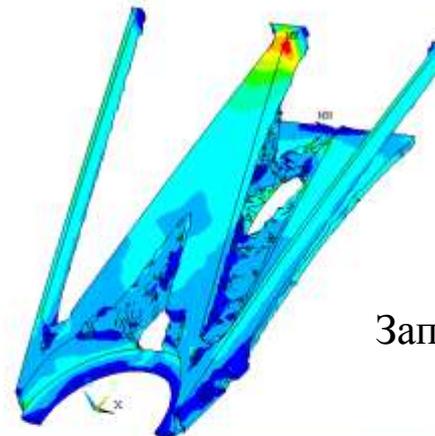
Solid185  
NNOD = 21763  
NDOF = 65289

## Результаты КЭ анализа

Поле распределения эквивалентных напряжений по Мизесу:



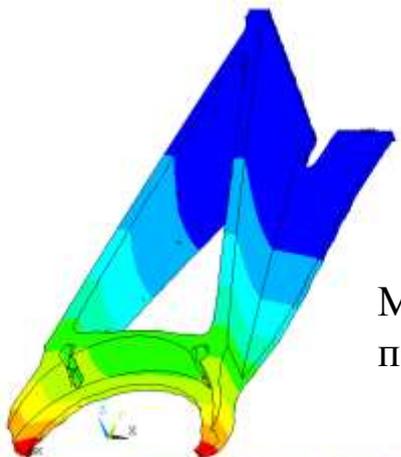
Запас прочности: 1.24



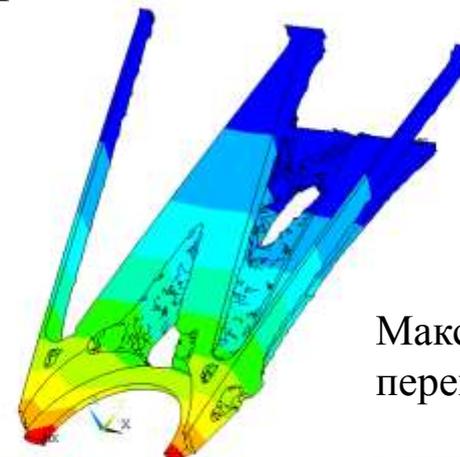
Запас прочности: 0.98



Поле распределений перемещений:



Максимальное перемещение: 0.92 мм



Максимальное перемещение: 0.55 мм





## КЭ постановка задачи литья

SolidThinking Click2Cast

- Размер элемента: 2 мм
- $T_1 = 1600$  °C – температура стали
- $T_2 = 150$  °C – температура формы
- $T_k = 1400$  °C – температура кристаллизации
- Источник: плоскость заделки
- Литье под действием силы тяжести
- Время полного заполнения формы:  
0.7 sec и 3 sec

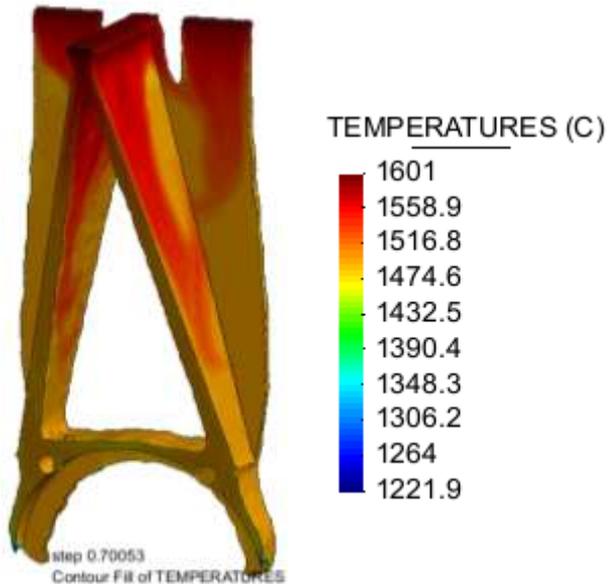




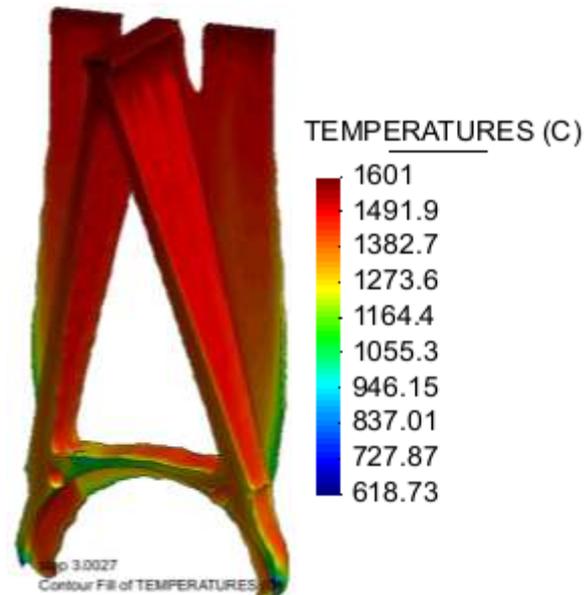
## Анализ процесса изготовления

Поле распределения температур в конечный момент времени:

0.7 sec

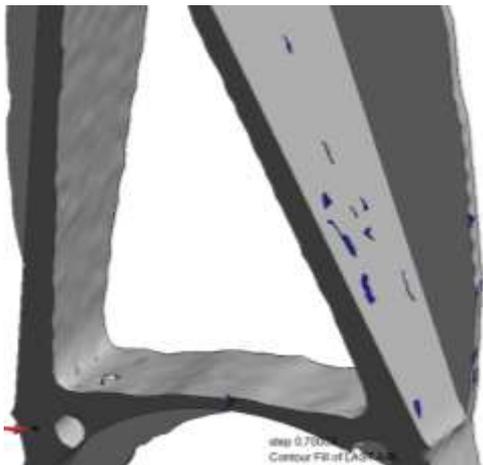


3 sec

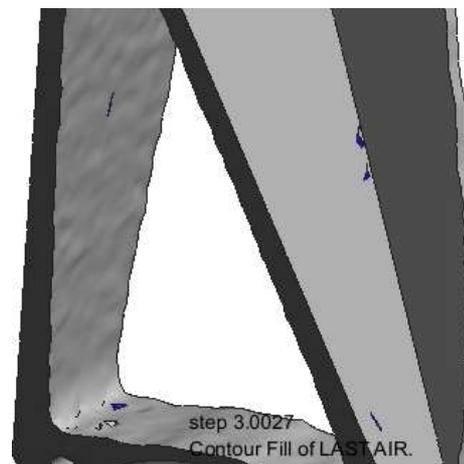


Воздушные полости в готовом изделии:

0.7 sec



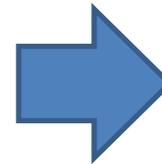
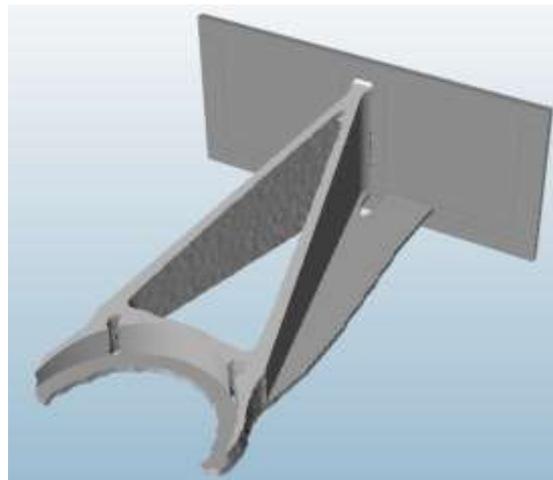
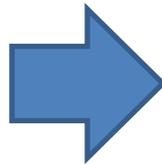
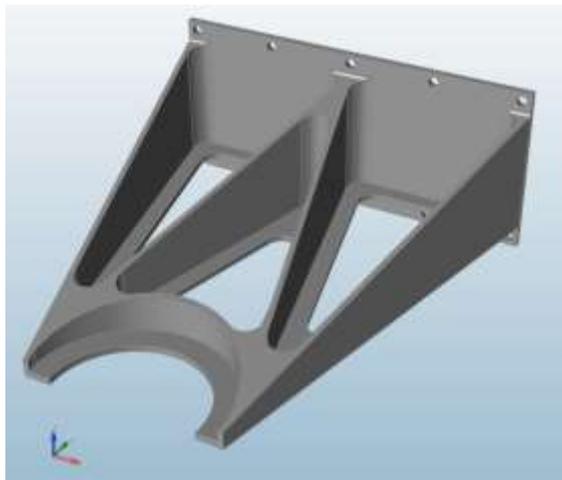
3 sec



## Заключение

Найдена оптимальная форма опоры антенны.

- Уменьшение массы на 18%
- Увеличение запаса прочности на 0.15
- Максимальные перемещения в конструкции не превышают 1 мм
- Кронштейн пригоден к производству методом литья





**Спасибо за внимание.**