

**Выпускная квалификационная работа на  
тему:  
«ИССЛЕДОВАНИЕ  
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
КРОНШТЕЙНА СТАБИЛИЗАТОРА  
ОПЕРЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО  
САМОЛЕТА»**

Выполнил: студент гр. 4-33

Жеглова А.Р.

Научный руководитель: *д.ф-м.н., доц.*

Маслов Л.Б.

## Слайд 2. Цель и задача

### **Цель работы:**

Исследование напряженно-деформированного состояния кронштейна крепления стабилизатора к килю транспортного самолета.

### **Задачи работы:**

- создание трехмерной конечно-элементной модели;
- моделирование болтов и задание контактов между болтовыми соединениями и моделью кронштейна;
- проведение расчетов на прочность кронштейна при действующих нагрузках, а также затяжки болтов;
- оптимизация плоской модели кронштейна;
- анализ полученных значений.

## Слайд 3. Описание объекта

Деталь расположена на переднем лонжероне центроплана стабилизатора и связана с силовой конструкцией киля посредством гидроцилиндра.

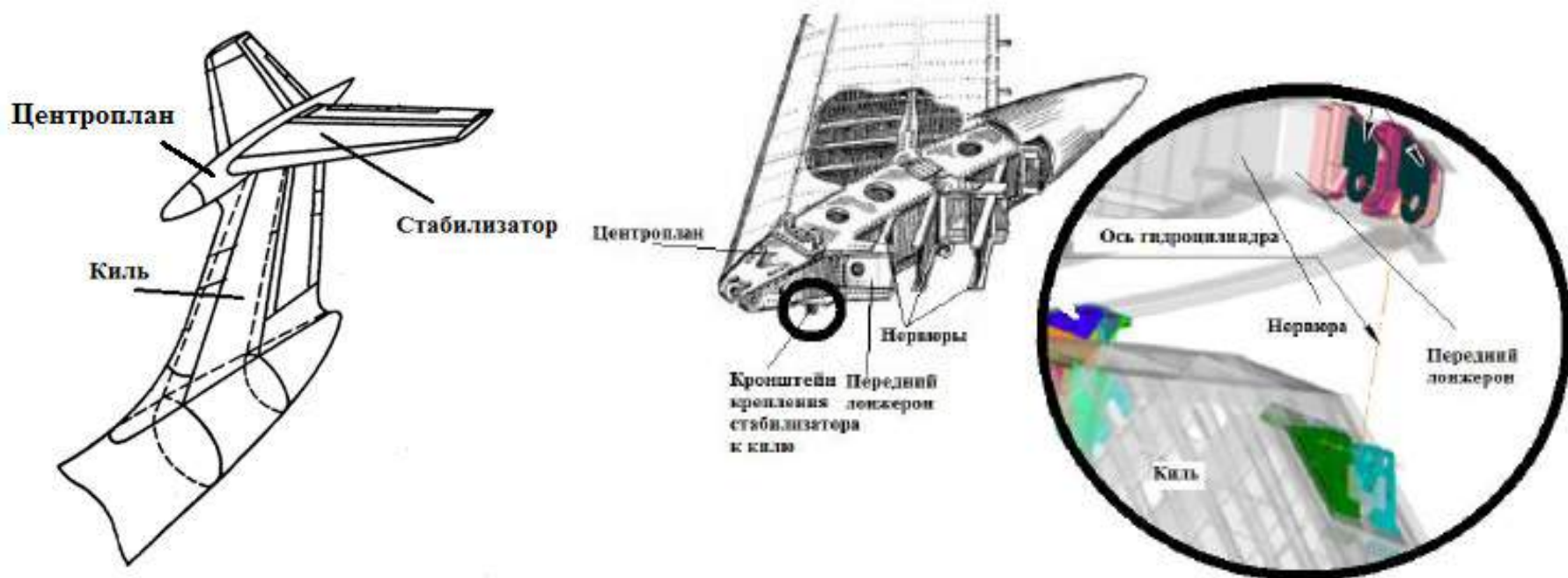


Рис.1. Схема Т-образного оперения самолета

# Слайд 4. Постановка задачи

1) Уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y = 0,$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z = 0.$$

2) Уравнения деформаций

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y},$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}.$$

3) Закон Гука

$$\sigma_x = \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_x, \quad \tau_{xy} = \mu \gamma_{xy},$$

$$\sigma_y = \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_y, \quad \tau_{yz} = \mu \gamma_{yz},$$

$$\sigma_z = \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_z, \quad \tau_{zx} = \mu \gamma_{zx};$$

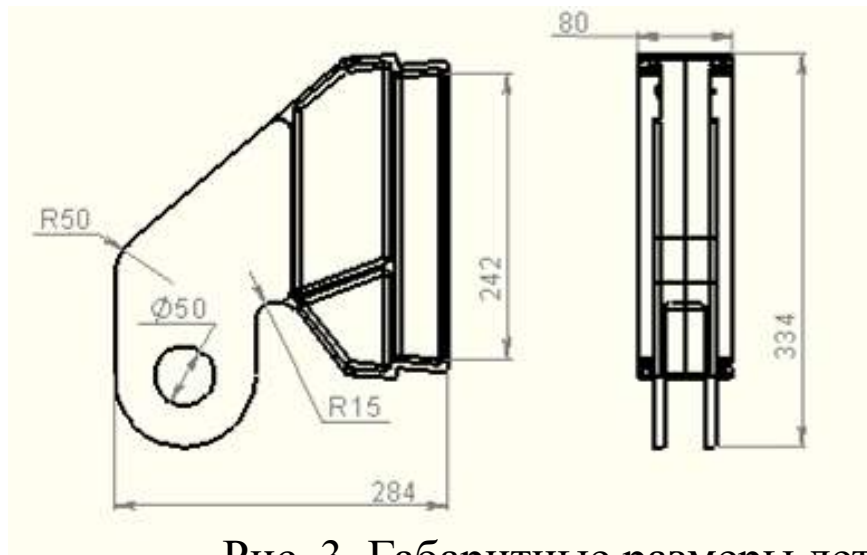


Рис. 3. Габаритные размеры детали

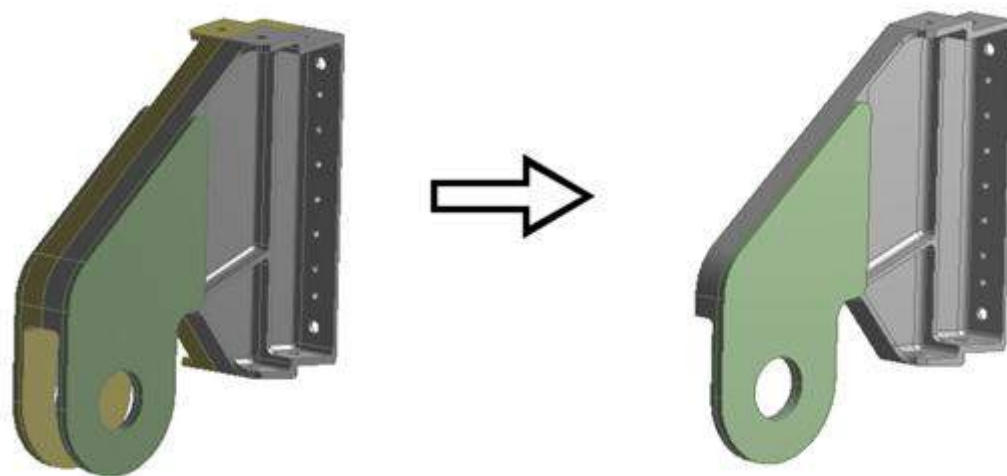


Рис.4. Переход к симметричной задаче

# Слайд 5. Граничные условия

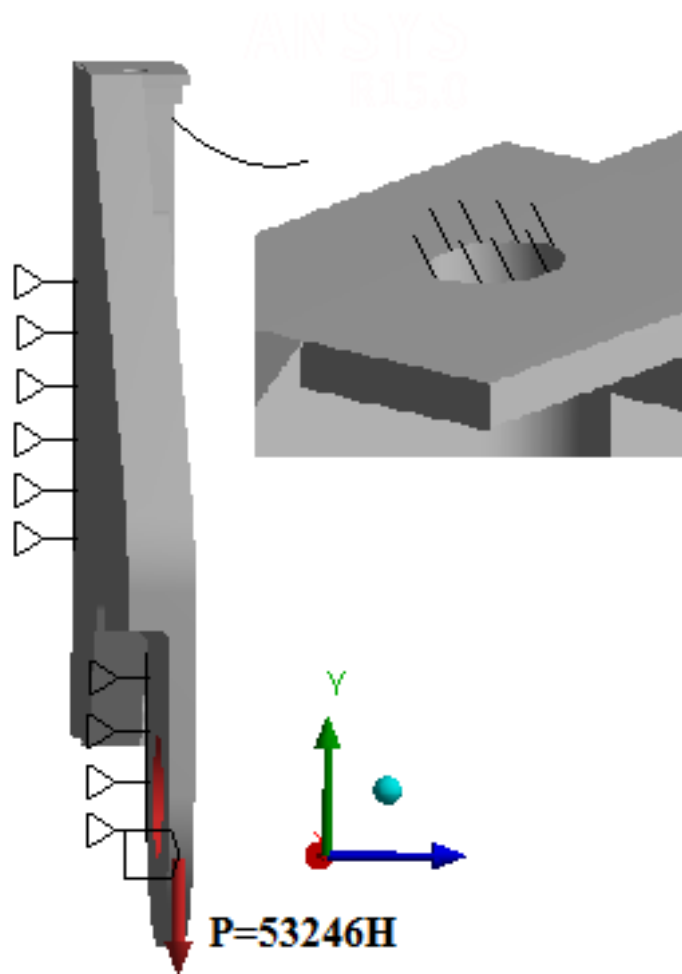


Рис.5. Граничные условия

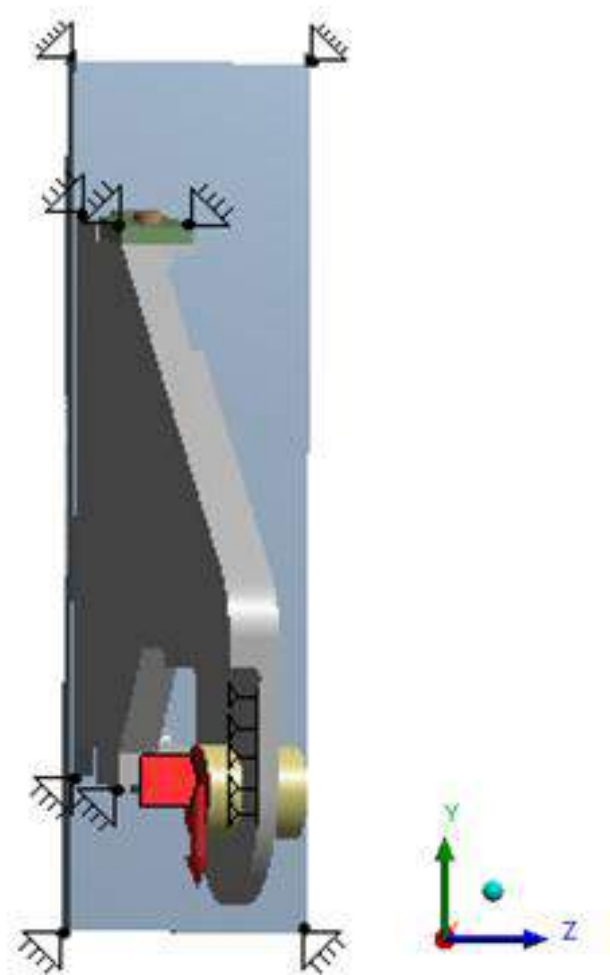


Рис.6. Граничные условия при моделировании болтовых соединений

# Слайд 6. Физико-механические свойства материала

Кронштейн изготовленного из алюминиевого сплава Поковка  
АкбТ1, болты крепления сделаны из сплава марки 30ХГСА:

ОСТ1 90073-85					
Марка сплава	Состояние испытываемых образцов	Предел прочности (МПа)	Предел текучести (МПа)	Модуль Юнга E (МПа)	Коэффициент Пуассона
Акб	Закаленные и искусственно состаренные (Т1)	365	275	69290	0.3

ГОСТ 4543-71				
Марка сплава	Предел прочности (МПа)	Предел текучести (МПа)	Модуль Юнга E (МПа)	Коэффициент Пуассона
30ХГСА	1080	830	215000	0.3

# Слайд 7. Конечно-элементная модель кронштейна

Размер конечных элементов в среднем равен 2-4 мм. Сетка разбита на 42736 элемент и 76538 узла.

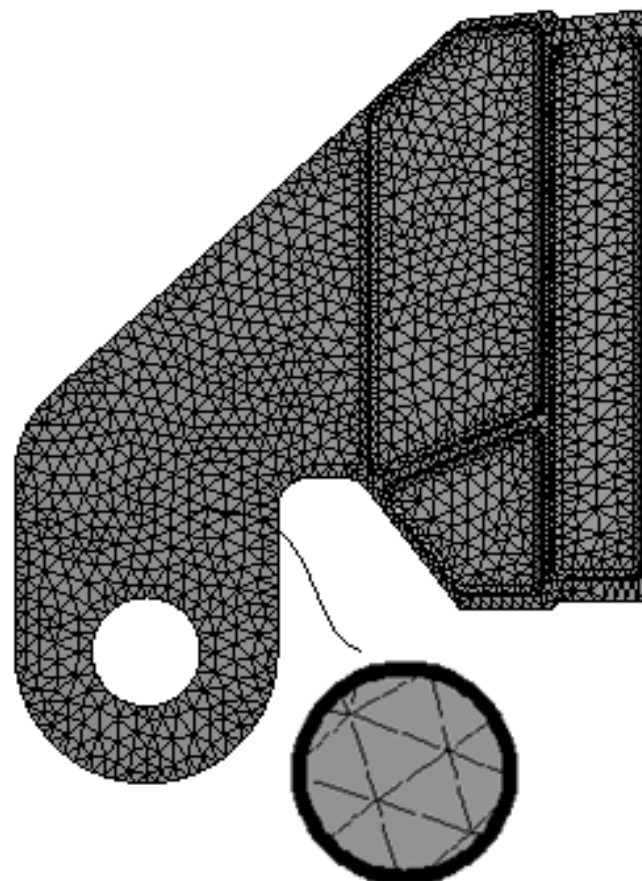
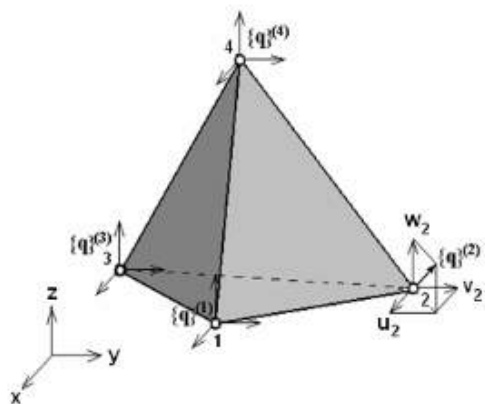


Рис. 7. КЭ-сетка модели

# Слайд 8. Конечно-элементная модель болтового соединения

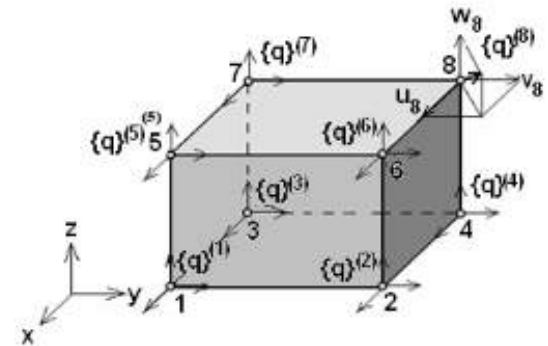
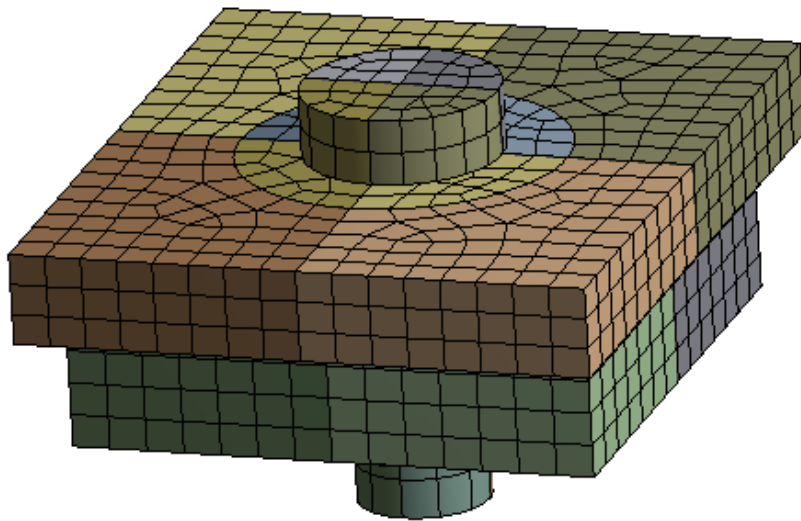


Рис.8. КЭ-сетка болтового соединения



# Слайд 9. Верификация сетки разбиения

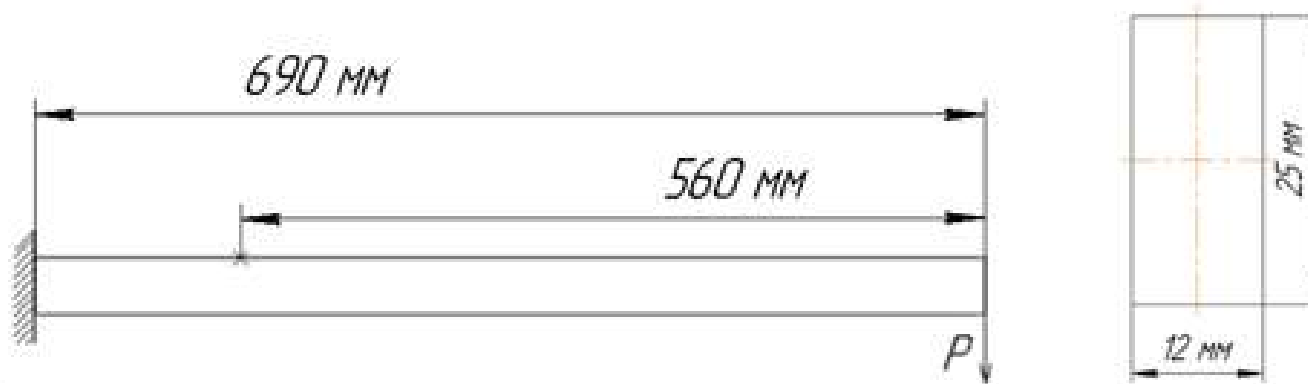


Рис.9. Расчетная схема балки

$$\sigma = \frac{M_z}{J_z} y,$$

$$M_z = P * l = 10 * 560 = 5600 \text{ Н} * \text{мм}$$

$$J_z = \frac{b * h^3}{12} = \frac{12 * 25^3}{12} = 15625 \text{ мм}^4$$

$$\sigma_{\text{к.т.}} = \frac{M_z}{J_z} y = \frac{5600}{15625} * \frac{h}{2} = 4,8 \text{ МПа}$$

# Слайд 10. Сравнение численных расчетов аналитического расчета

На графике сходимости видно, что наиболее достоверным размером элемента является значение 3 мм:

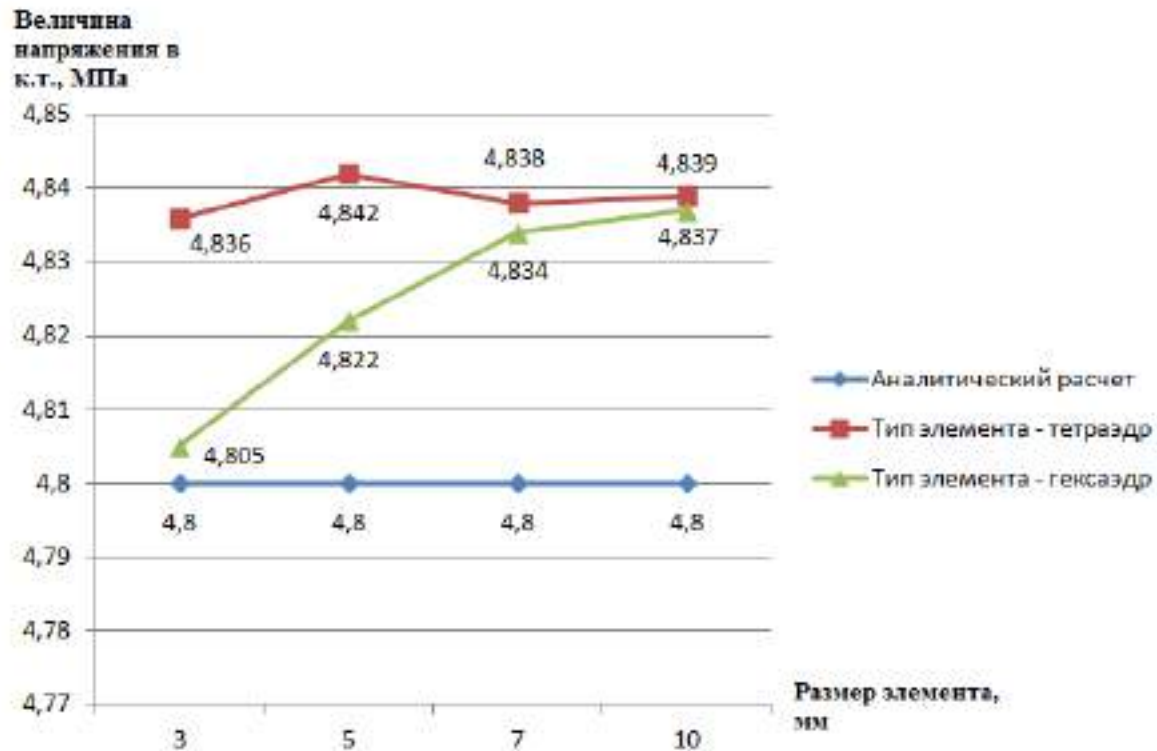


Рис. 10. График сходимости результатов

# Слайд 11. Расчет напряженно состояния кронштейна в ANSYS

A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

22.06.2021 16:26

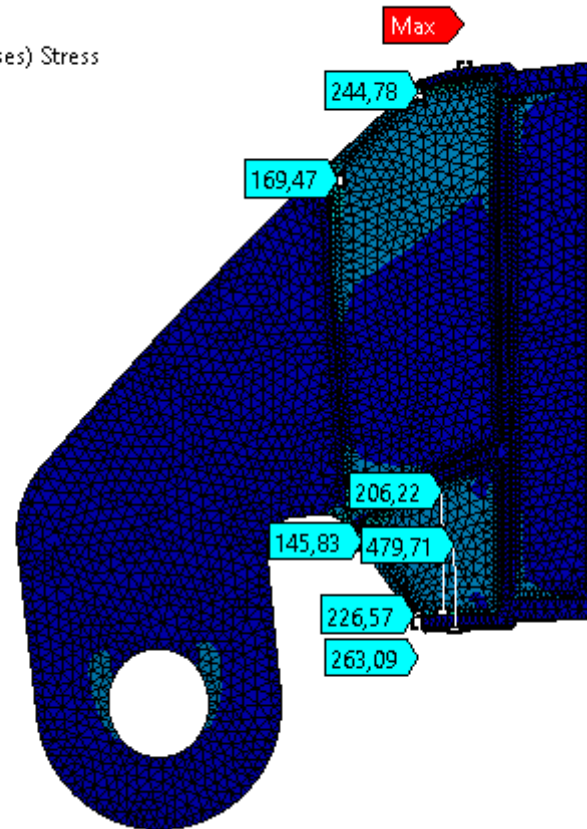
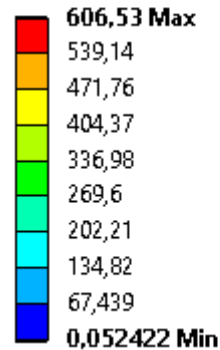
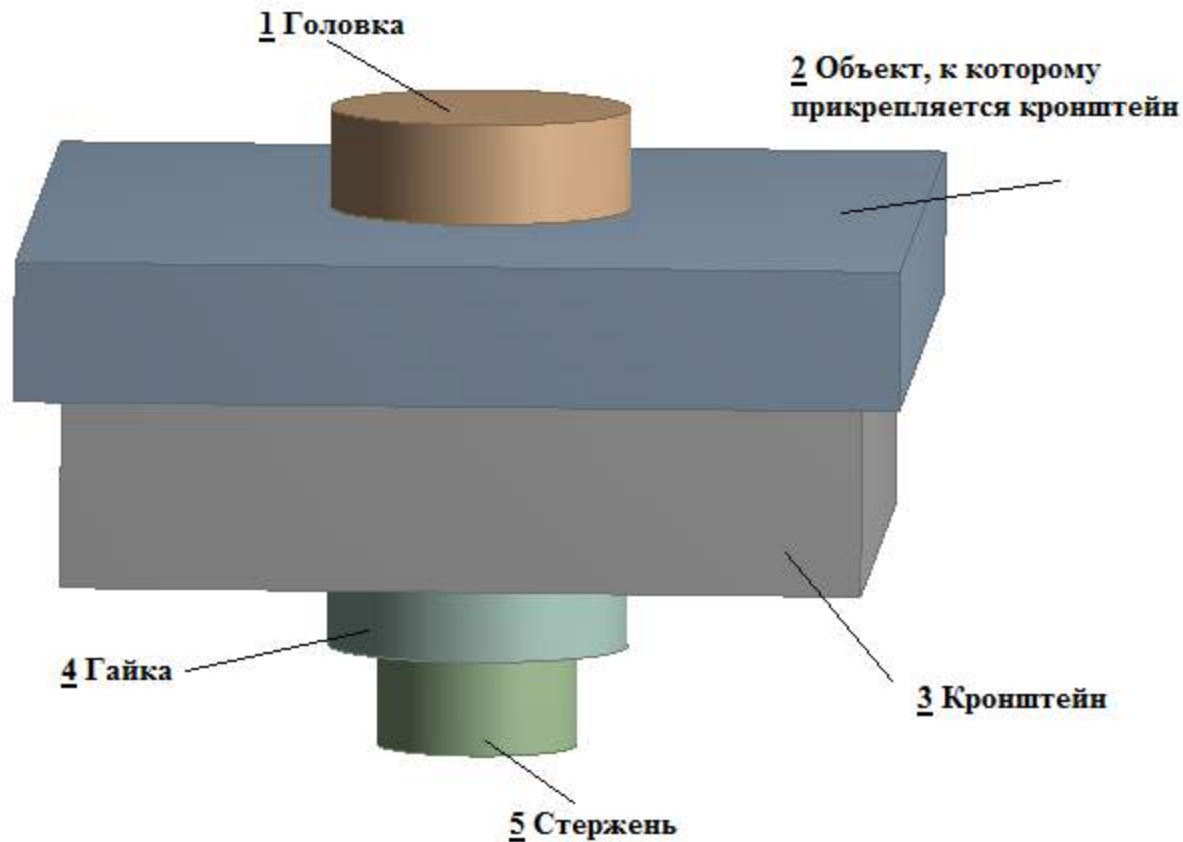


Рис.11. Напряженное состояние кронштейна

# Слайд 12. Контактные пары



2-3; 3-5; 3-4; 2-5; 1-2 - Frictional с коэффициентом 0,17  
1-5; 4-5 - Bonded

# Слайд 13. Преднатяжение болтового соединения

Болт  $\varnothing 5$  мм. Сила 3160 Н.  
Максимальное напряжение,  
возникающее в болтовом  
соединении, равно 251,39 МПа.

Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 3  
22.06.2021 11:33

251,39 Max  
223,45  
191,52  
167,59  
139,66  
111,73  
83,797  
55,866  
27,915  
0,0033894 Min

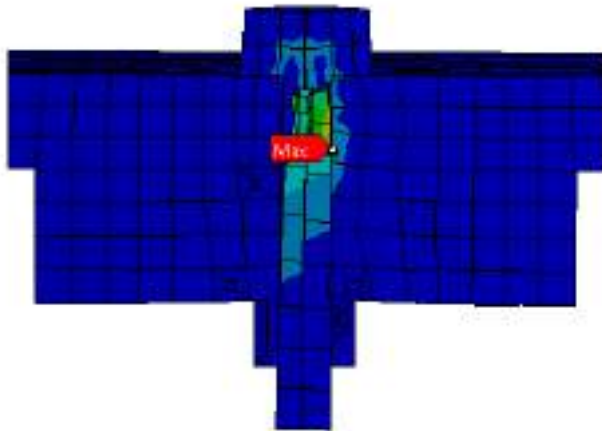


Рис.12. Напряжение в болте

Болт  $\varnothing 10$  мм. Сила 12740Н.  
Максимальное напряжение,  
возникающее в болтовом  
соединении, равно 327,98 МПа.

Time: 2  
22.06.2021 11:41

327,98 Max  
291,54  
255,1  
218,67  
182,23  
145,79  
109,35  
72,916  
36,478  
0,040541 Min

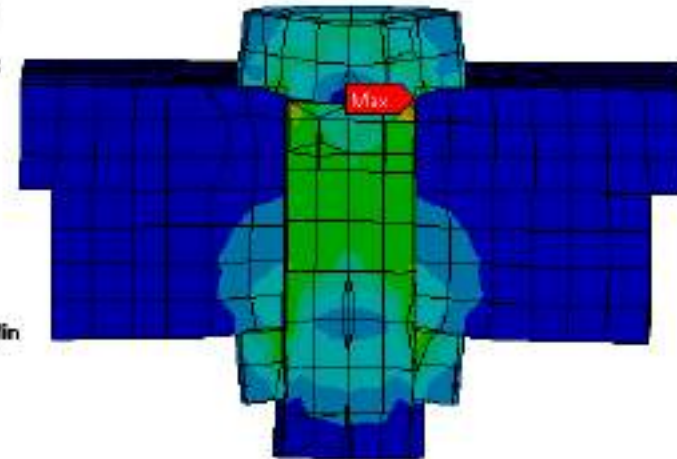


Рис.13. Напряжение в болте

# Слайд 14. Исследование НДС детали

Максимальное напряжение возникает в верхнем болтовом соединении, величина 755,01 Мпа.

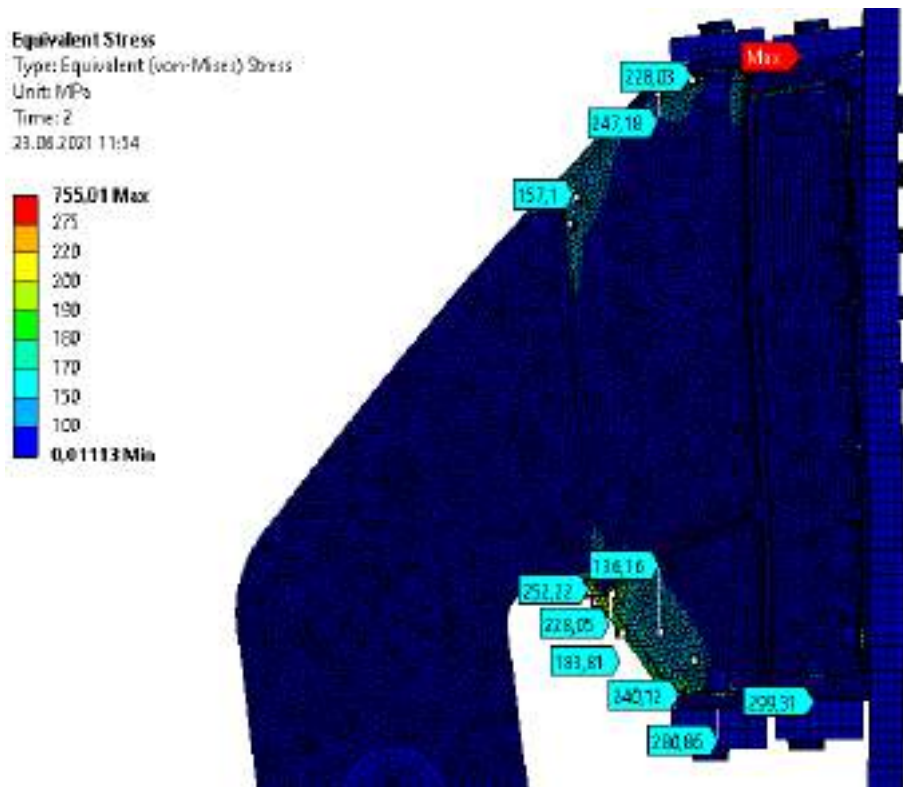


Рис. 14. Напряжение

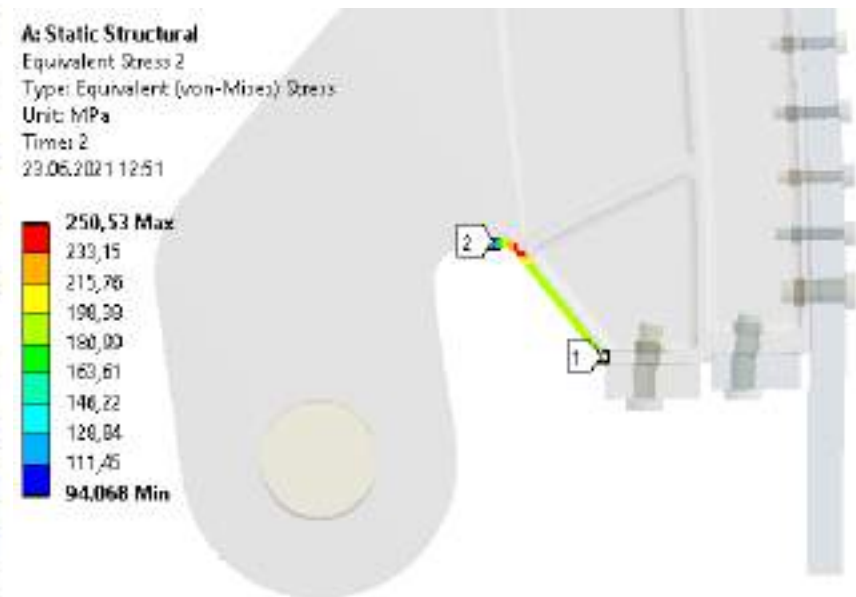


Рис.15. Путь распределения напряжений

# Слайд 15. Распределение напряжений детали при разных постановках задачи (п.з.)

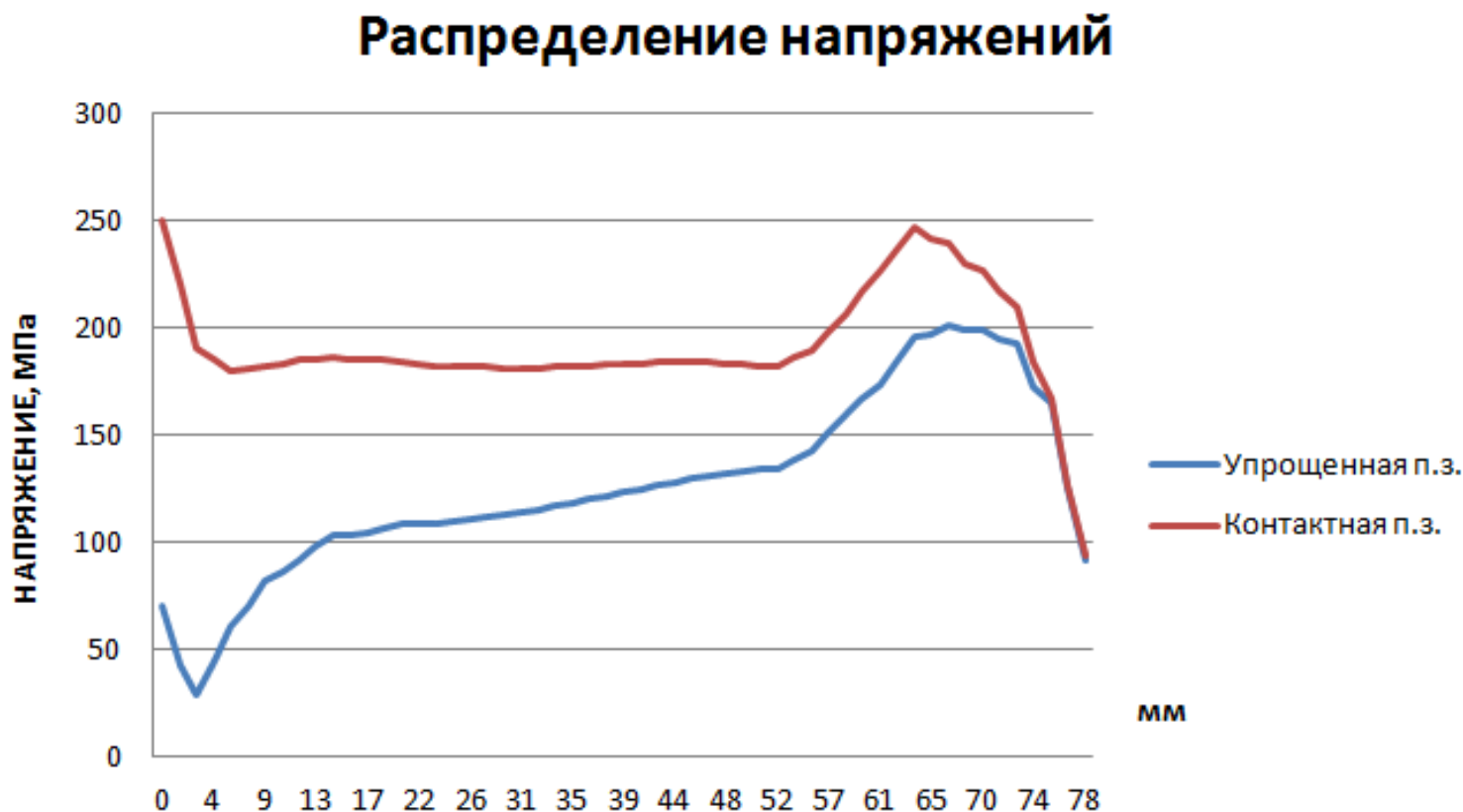


Рис. 16. Распределения напряжений при разных постановках задачи

# Слайд 16. Оптимизация конструкции кронштейна в плоской постановке задачи

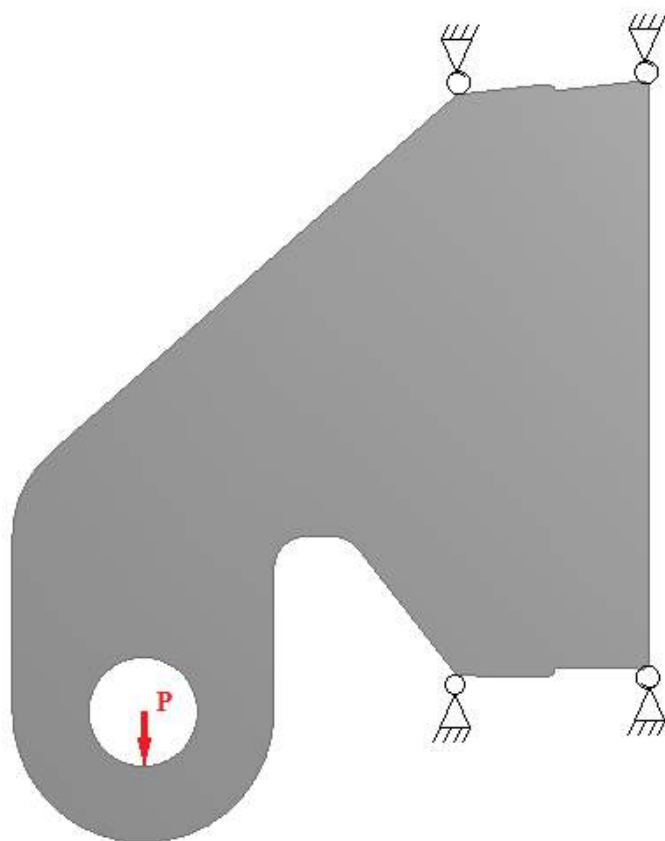


Рис.17. Граничные условия

**A: Static Structural**  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
24.06.2021 16:45

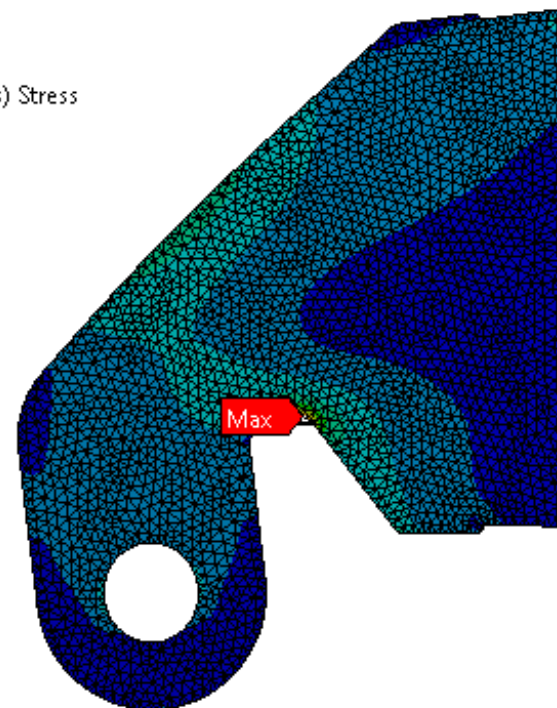
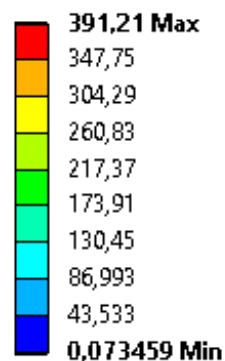


Рис.18. Напряженное состояние пластины



# Слайд 17. Параметризация и оптимизация модели









	A	B	C	D
1	ID	Parameter Name	Value	Unit
2	[-] Input Parameters			
3	[-]  Static Structural (A1)			
4	 P3	radius	15	mm ▾
5	 P4	Extrude5.FD1	10	mm ▾
*	 New input parameter	New name	New expression	
7	[-] Output Parameters			
8	[-]  Static Structural (A1)			
9	 P2	Equivalent Stress Maximum	391,21	MPa
*	 New output parameter		New expression	
11	[-] Charts			
12	 Parameter Parallel Chart 0			

Рис.19. Параметризация модели




[-] Candidate Points			
	Candidate Point 1	Candidate Point 2	Candidate Point 3
P3 - radius (mm)	15,5	11,5	13,1
P4 - Extrude5.FD1 (mm)	13,538	13,85	14,475
P2 - Equivalent Stress Maximum (MPa)	 273,5	 271,97	 265,14

Рис.20. Оптимизация модели

# Слайд 18. НДС оптимизированной пластины

A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

28.06.2021 11:13

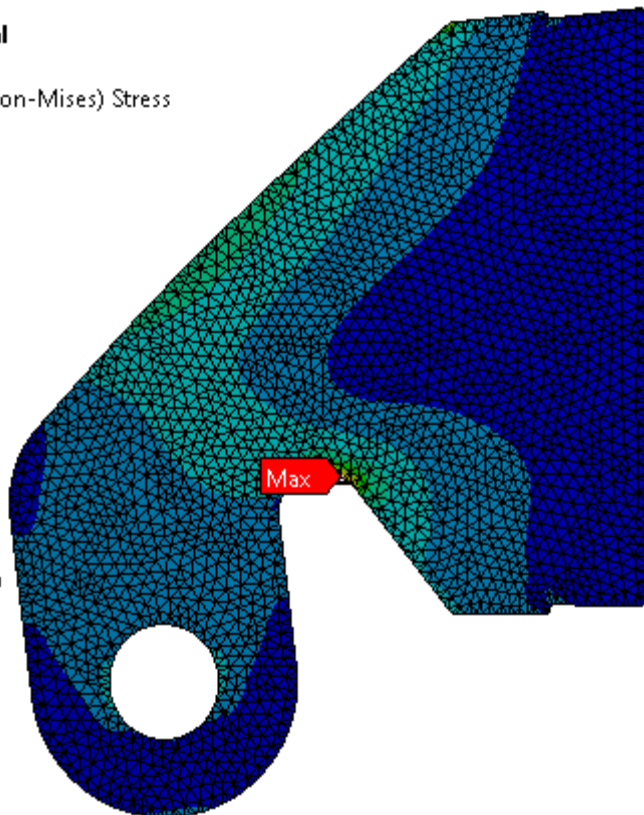
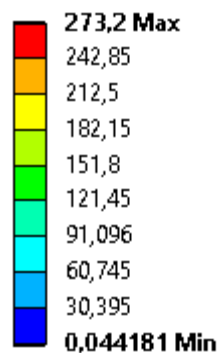


Рис.21. НДС кронштейна после ОПТИМИЗАЦИИ

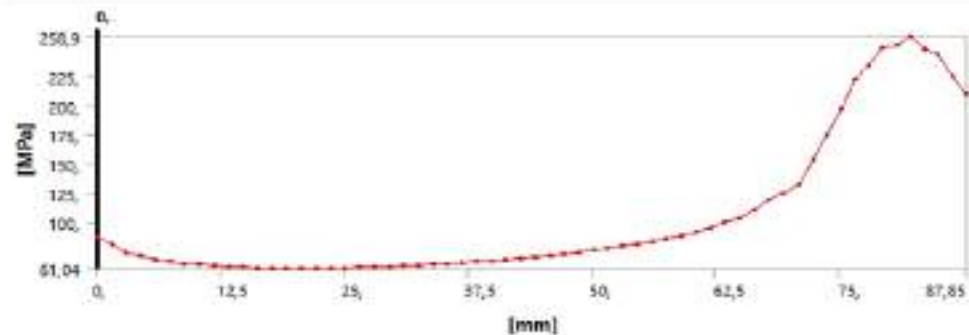
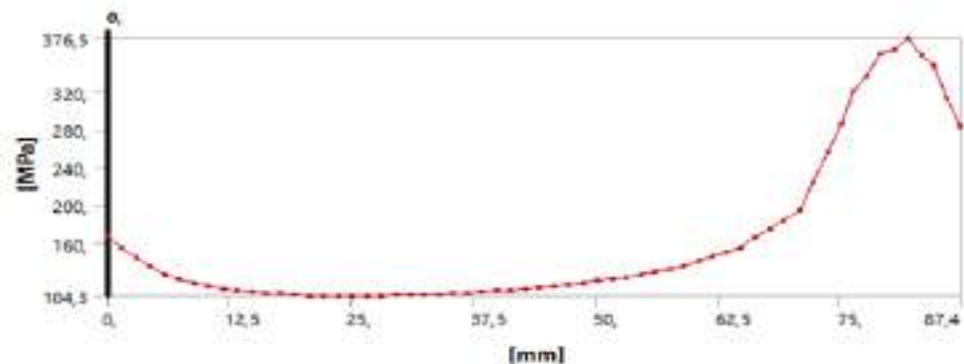


Рис.22. Распределение напряжений до и после оптимизации

## Слайд 19. Вывод

В ходе данной выпускной квалификационной работы была поставлена цель и сформулированы задачи, а также смоделированы болтовые соединения, проведен прочностной расчет конструкции кронштейна, получено распределение напряжений в детали.

Сингулярность напряжений в болтовых соединениях искажает реальную картину напряженно-деформированного состояния исследуемой детали. Полученные значения позволяют сделать вывод, как при приложении критической силы распределяются напряжения в детали, и какие ее части больше всего подвержены разрушению.