



Выпускная работа бакалавра

Тема: Конечно-элементное моделирование ресурсных испытаний кузова легкового автомобиля

Выполнил студент гр. 43602/3 Д.В. Мамчиц
Руководитель, к.т.н., проф. А.И. Боровков
Соруководитель, асс. О.И. Клявин

Санкт-Петербург
2014



Содержание

- Введение
- Методика проведения заводских испытаний кузова автомобиля на усталостную прочность
- Модельные задачи
- Моделирование сварных соединений
- Моделирование испытания на усталостную прочность
- Выводы

Жесткость кузова



Испытание на усталостную прочность

«GIDROPULS» Schenck
 $M_{\max} = 10000 \text{ Нм}$, $\omega_{\max} = 5 \text{ Гц}$

Степень нагружения	Динамический момент $M_{дi}$, Н·м	Амплитуда, $\pm \delta_{M_{дi}}$, мм	Частота циклов нагружения, Гц	Количество циклов нагружения
1	$0,4M_{ст}$	$\pm \delta_{M_{д1}}$	5	50 000
2	$0,8M_{ст}$	$\pm \delta_{M_{д2}}$	4	100 000
3	$1,2M_{ст}$	$\pm \delta_{M_{д3}}$	4	100 000
4	$1,6M_{ст}$	$\pm \delta_{M_{д4}}$	3	50 000



Особенности эксперимента:

- Высокая стоимость
- Требуется много времени
- Трудность оценки ресурса кузова по результатам визуального наблюдения зон усталостного разрушения

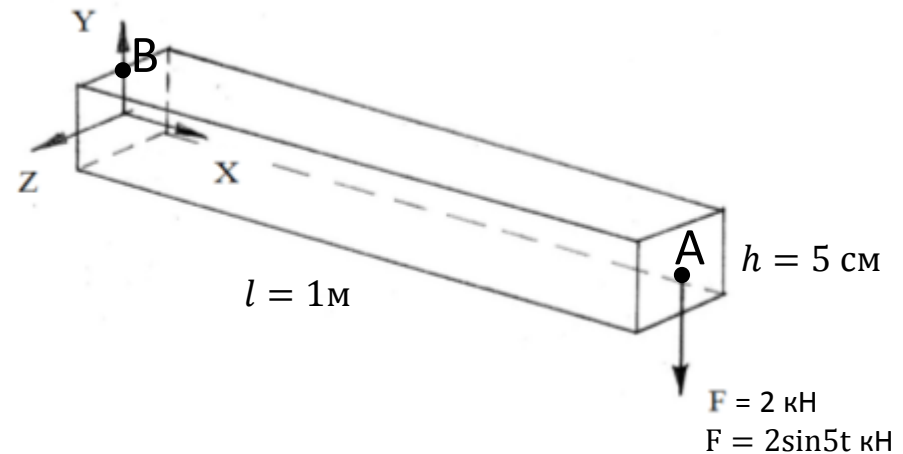


Модельная задача №1

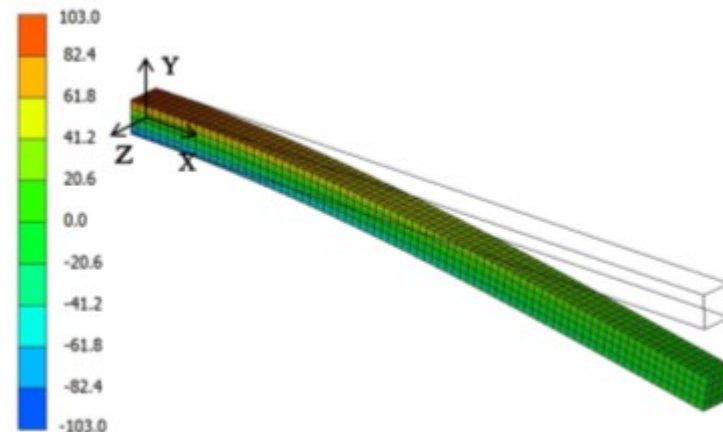
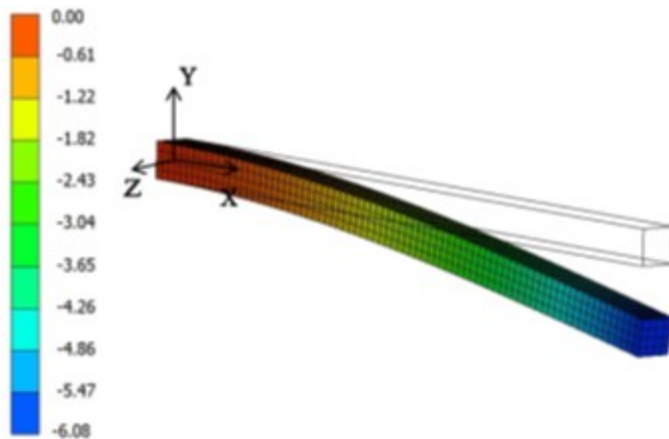
$$y'' = -\frac{M}{EI_z}$$

$$y = -\frac{F_0}{EI_z} \left(\frac{x^2}{6} (x - 3l) \right)$$

$$y_F = y|_{x=l} = \frac{F_0 l^3}{3EI_z} \cong 6.096 \text{ мм}$$



$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I_z} y = \frac{6F_0 l}{bh^2} = 96 \text{ МПа}$$



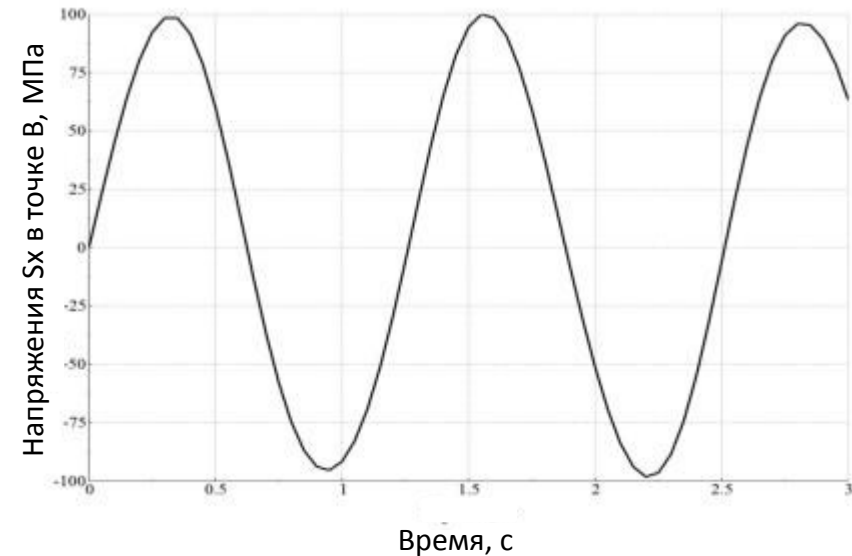
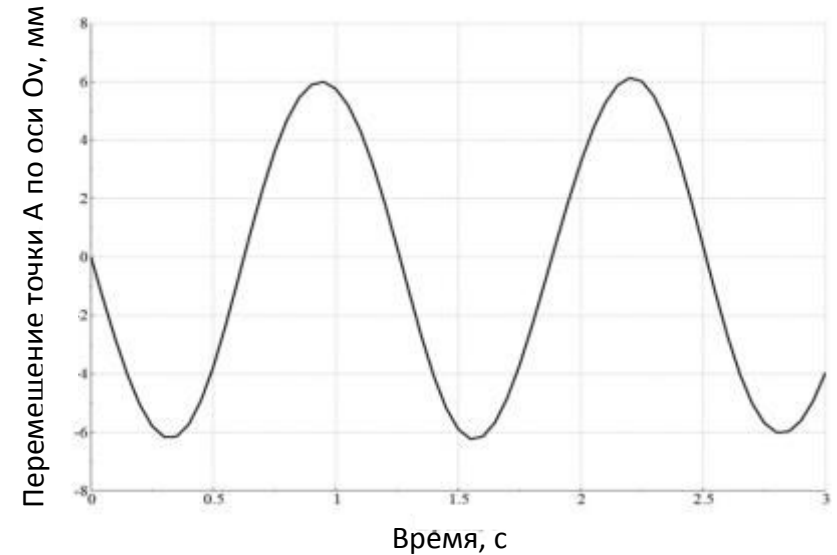
$$EI_z y^{IV} + \rho S \ddot{y} = F_0 \sin \omega t$$

$$y = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \left(K_2(z_k) K_3\left(\frac{z_k x}{l}\right) - K_1(z_k) K_4\left(\frac{z_k x}{l}\right) \right) \sin \lambda_k t$$

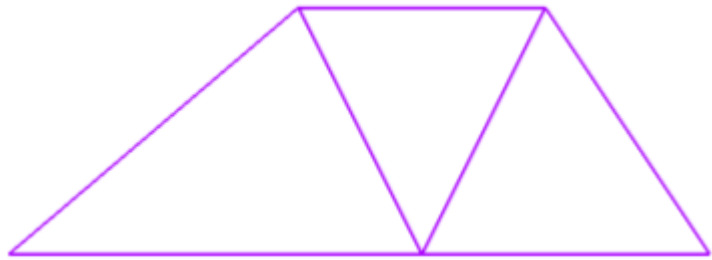
$$\lambda_k = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{z_k}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI_z}{\rho S}}$$

$$z_1 \cong 1.875; z_2 \cong 4.694; z_k = \frac{2k-1}{2} \pi, k > 2$$

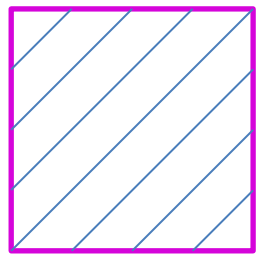
Характеристика	Постановка		Ан. решение
	Балочная (% от аналит.)	Твердотельная (% от аналит.)	
Y_{\max} , мм	6.10 (0)	6.08 (0.3)	6.10
σ_{\max} , МПа	96.0 (0)	96.9 (0.9)	96.0
ω_1 , Гц	41.69 (0.2)	41.81 (0.1)	41.77
ω_2 , Гц	258.88 (1.1)	259.07 (1.0)	261.79
ω_3 , Гц	715.21 (2.4)	712.71 (2.8)	732.91
ω_4 , Гц	1375.71 (4.2)	1363.03 (5.1)	1436.51
ω_5 , Гц	2222.25 (6.4)	2187.81 (7.9)	2374.64



Модельная задача №2



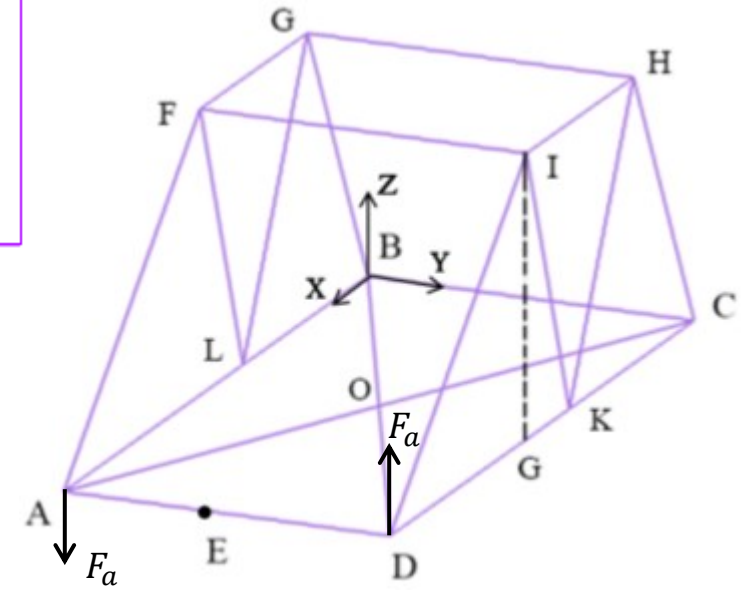
b



b

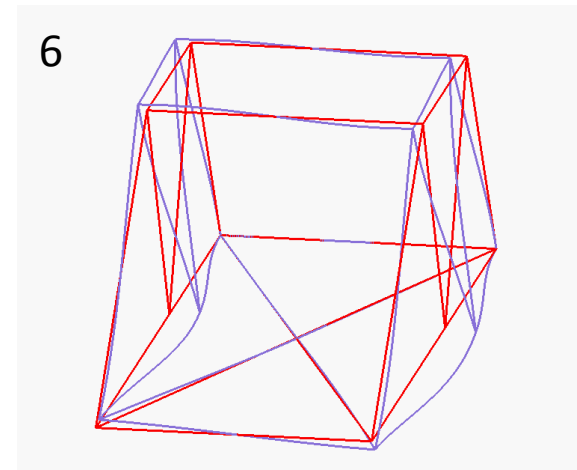
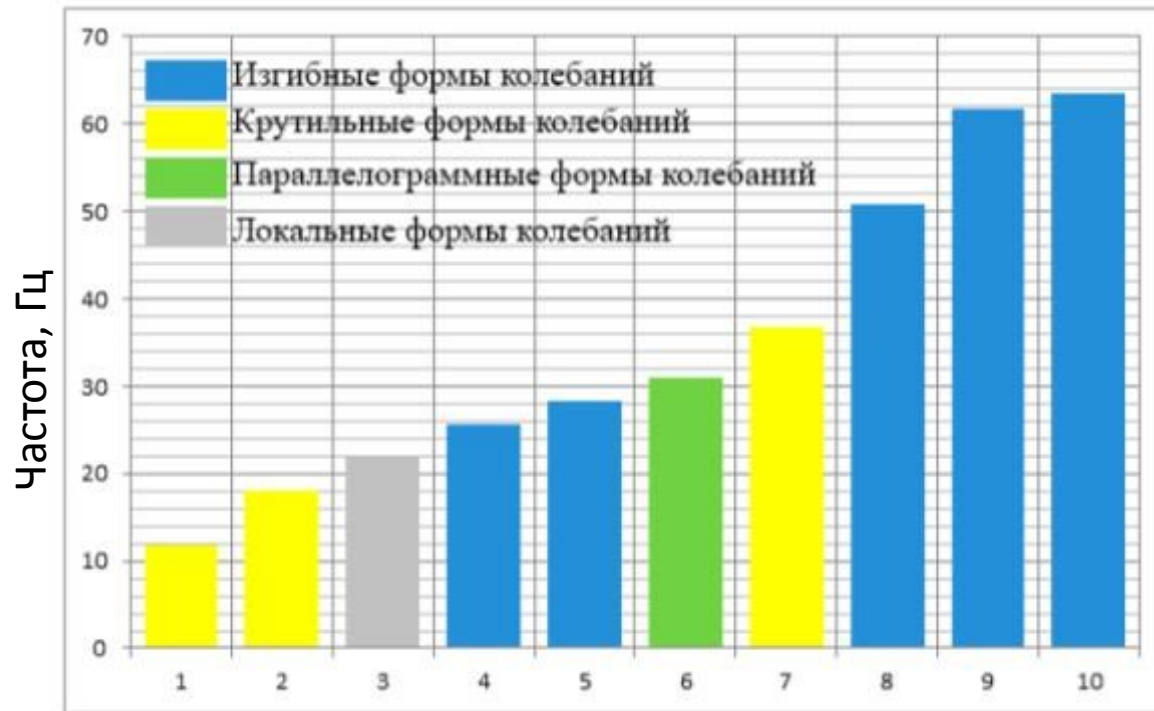
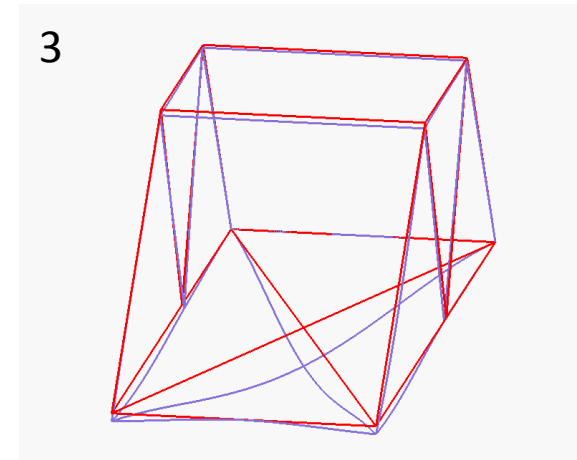
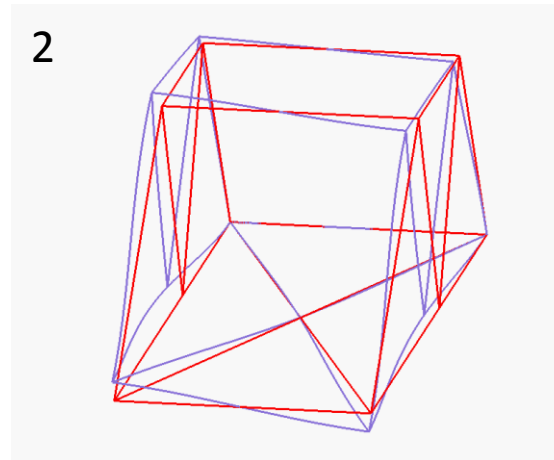
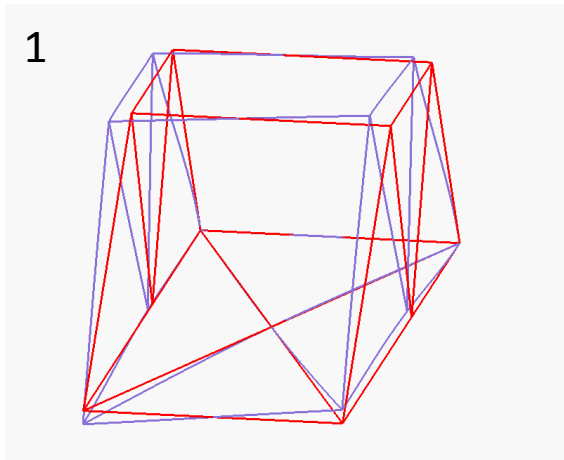
$$F_a = 10 \text{ кН}$$

$$b = 10 \text{ см}$$



Собственные частоты конструкции

Номер	ν , Гц	Номер	ν , Гц
1	11.8315	6	30.9761
2	17.9951	7	36.7046
3	21.9352	8	50.7773
4	25.5251	9	61.6918
5	28.2499	10	63.4223



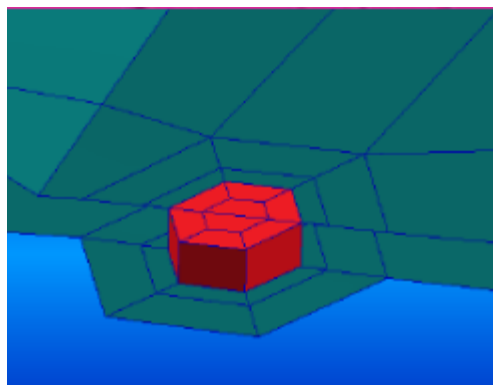
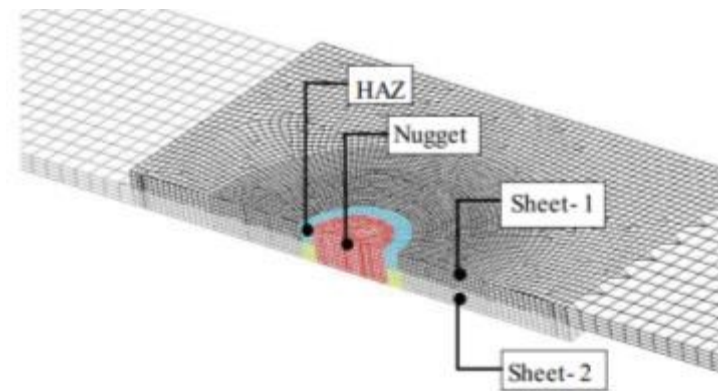
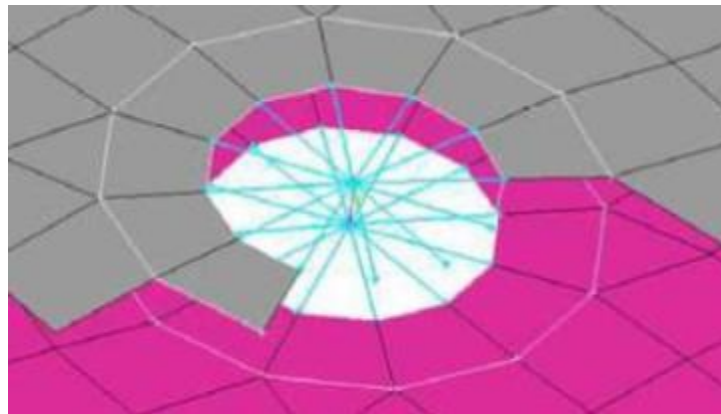
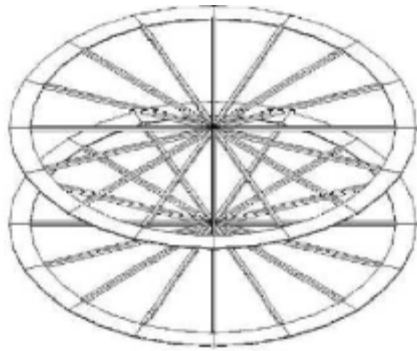
Жесткость конструкции:

$$c = \frac{M_{St}}{\varphi} = 2733 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{град}}$$

Номер собственной частоты в общем спектре

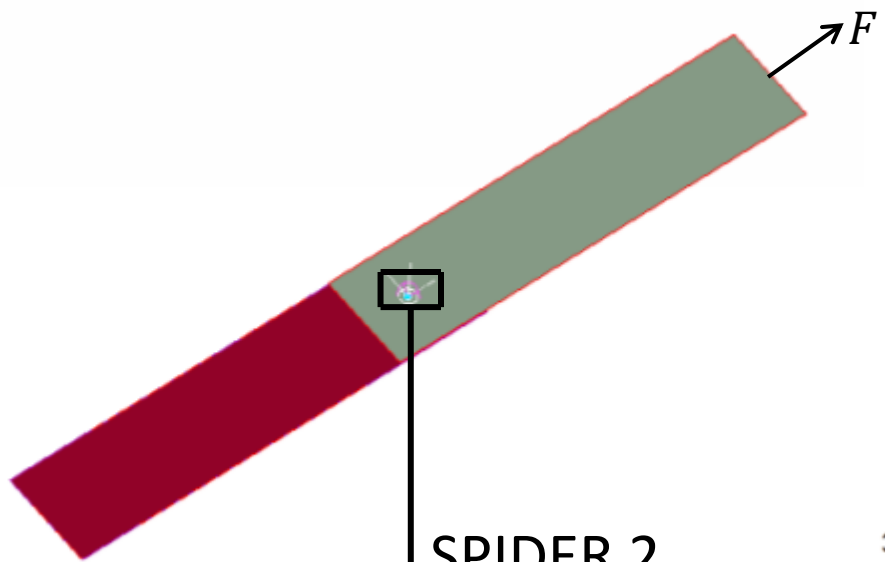
Точечная сварка

2 способа
моделирования
ядра

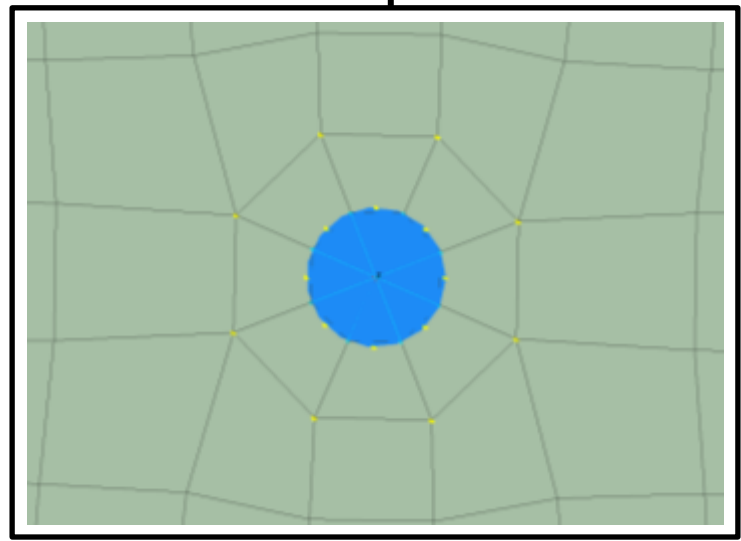


- Модели с одним балочным элементом
- Модели с одним твердотельным элементом
- Area Contact Model 1 (ACM 1)
- ACM 2
- CWELD
- **SPIDER 2**

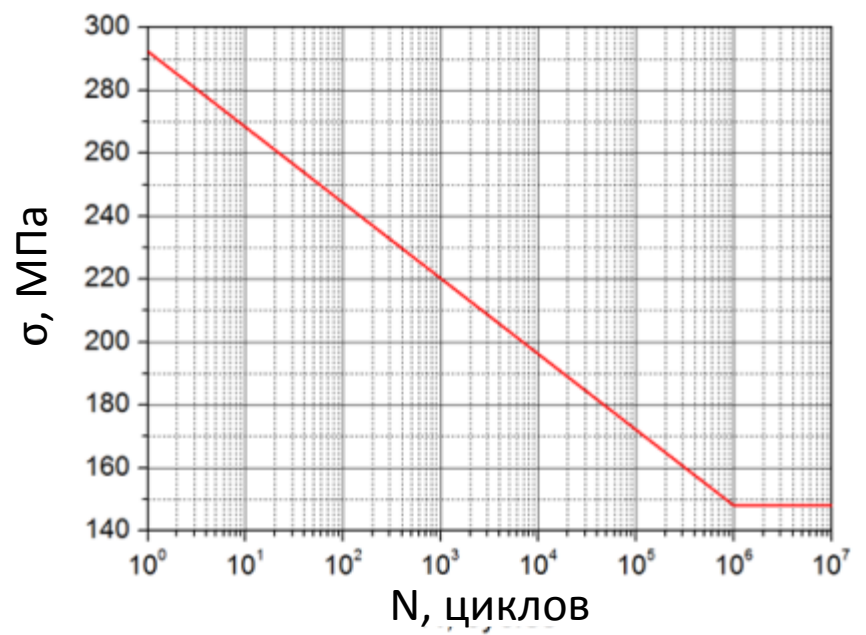
Модельная задача №3



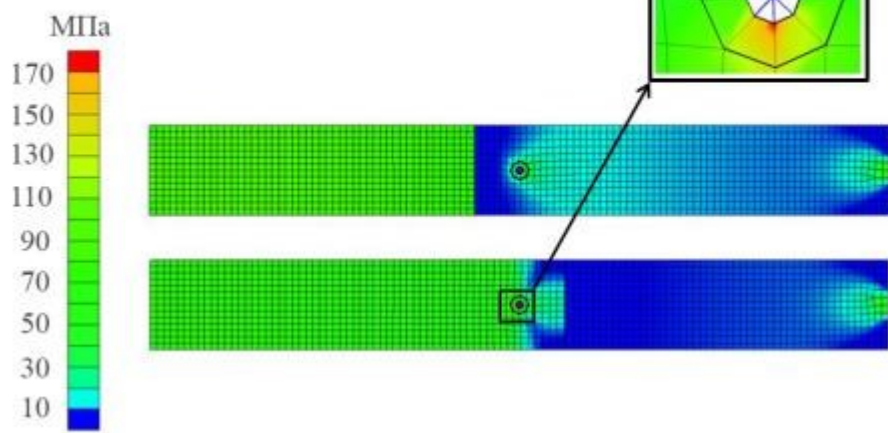
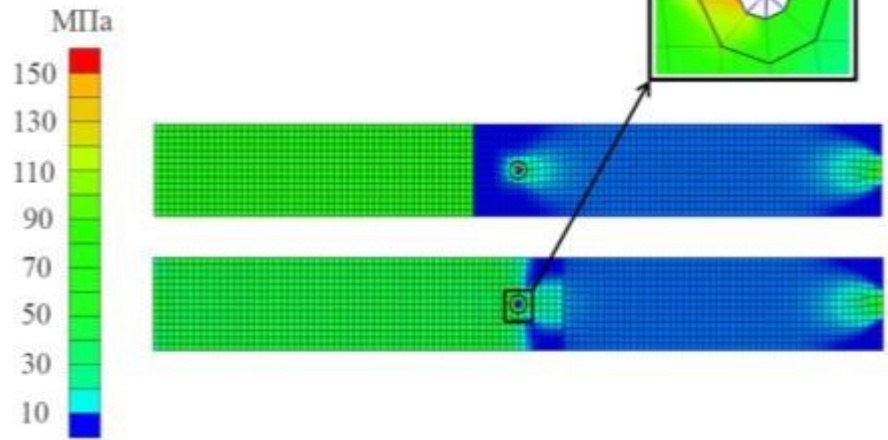
SPIDER 2



$L = 300 \text{ мм}$
 $B = 65 \text{ мм}$
 $H = 1 \text{ мм}$
 $F = 600 \text{ Н}$
 $F = 600\sin(5t) \text{ Н}$



$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$



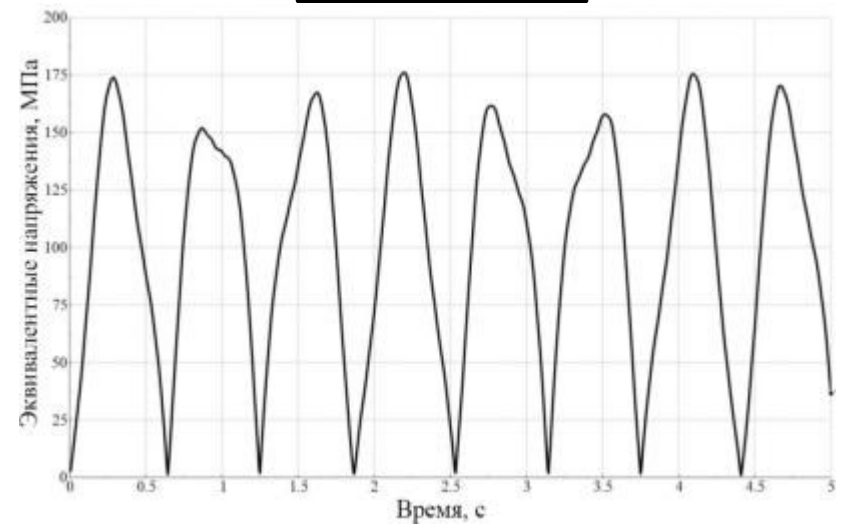
$$\sigma_{ms} = 155.97 \text{ МПа}$$

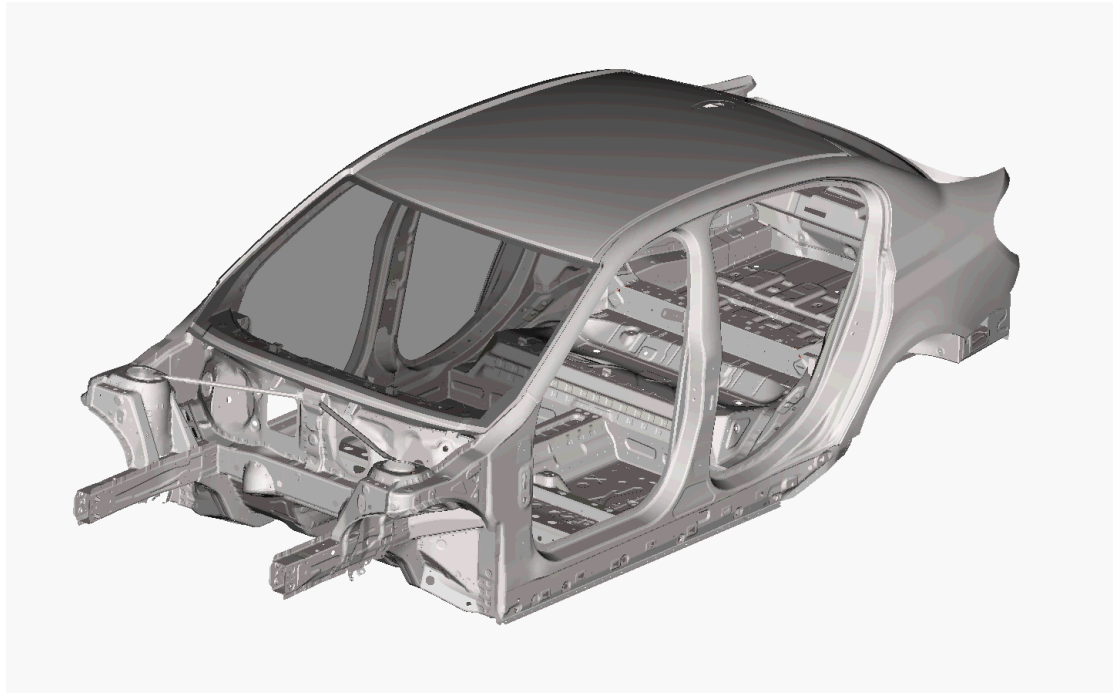
$$N_{CT} = 4 * 10^5$$

$$\sigma_{md} = 176.08 \text{ МПа}$$

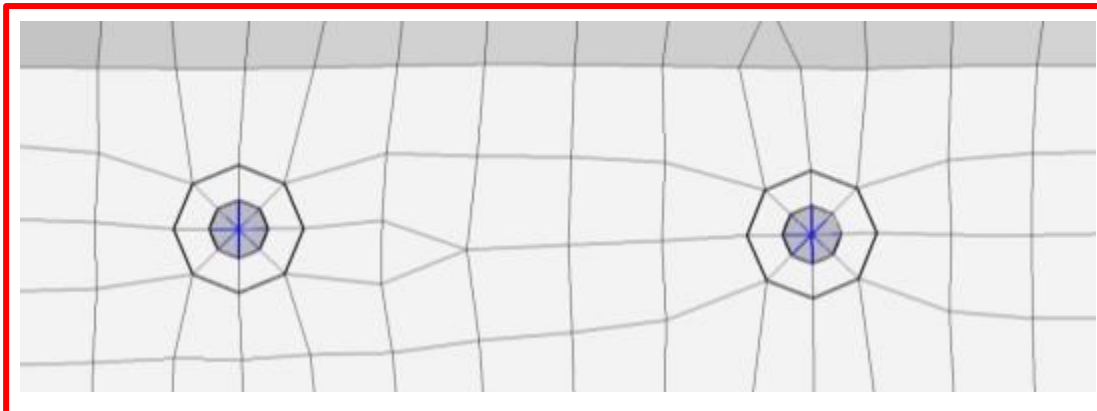
$$N_D = 8 * 10^4$$

$$\frac{N_{CT}}{N_D} = 5$$



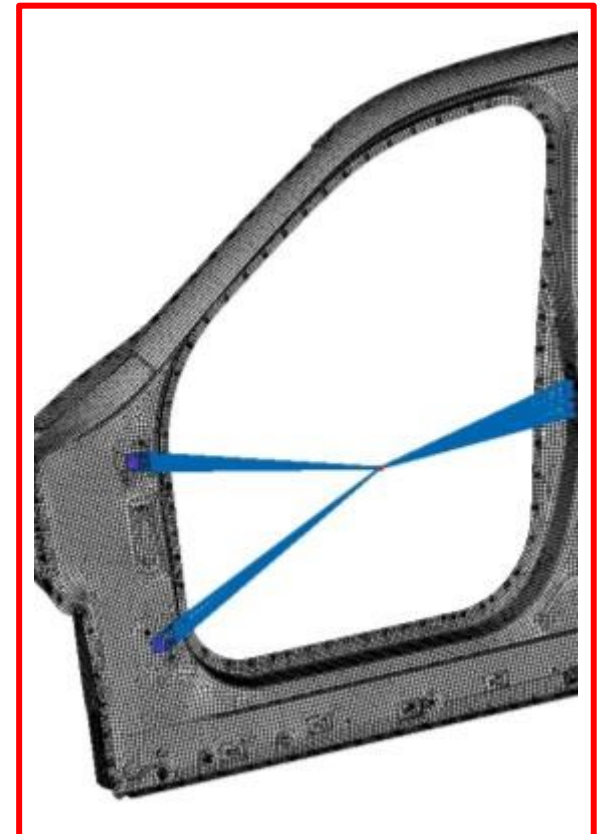


Сварные точки – 5178 (SPIDER2)

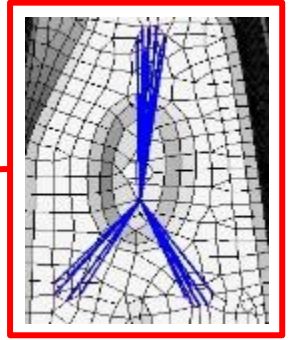
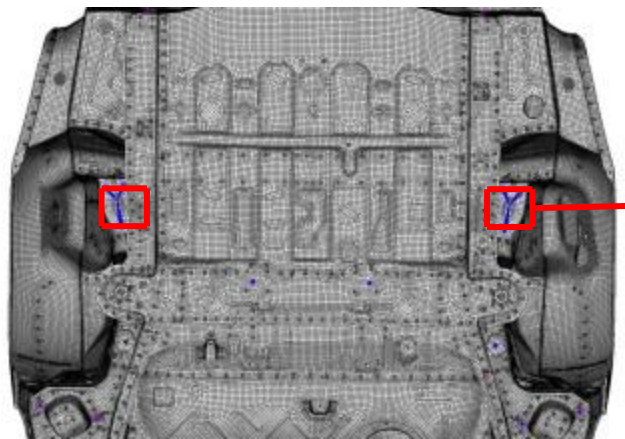


Материалы:
Кузов – сталь $E=210$ ГПа,
 $\nu=0.3$, $\rho=7850$ кг/м³
Стекла – $E=73$ ГПа, $\nu=0.2$,
 $\rho=2200$ кг/м³

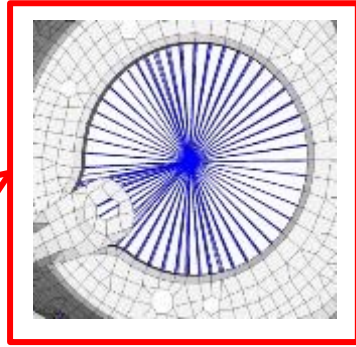
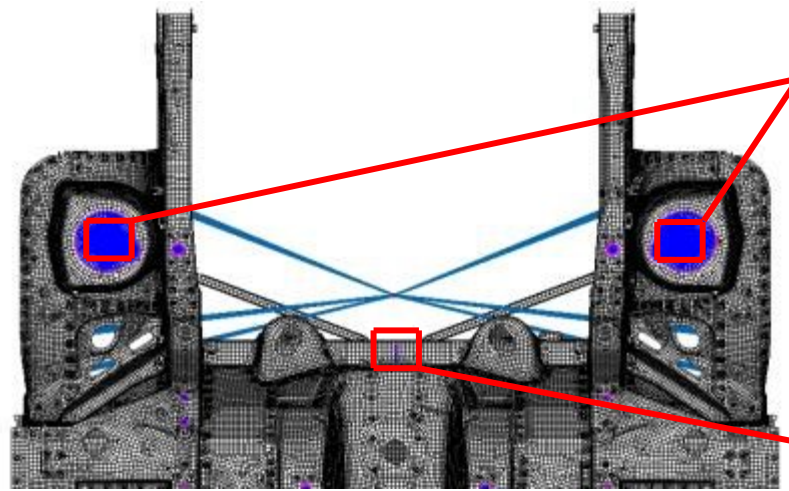
Моделирование дверей



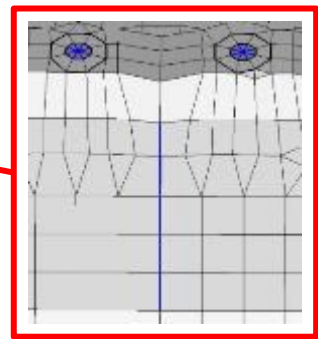
Граничные условия:



$$U_{x,y,z} = 0$$



$$U_{x,y} = 0$$



$$U_z = 0$$

Степень нагружения	Динамический момент $M_{дi}$, Н·м	Амплитуда, $\pm \delta M_{дi}$, мм	Частота циклов нагружения, Гц	Количество циклов нагружения
1	$0,4M_{ст}$	$\pm \delta M_{д1}$	5	50 000
2	$0,8M_{ст}$	$\pm \delta M_{д2}$	4	100 000
3	$1,2M_{ст}$	$\pm \delta M_{д3}$	4	100 000
4	$1,6M_{ст}$	$\pm \delta M_{д4}$	3	50 000

$$M_{ст} = \frac{R_{ст} * B_{п}}{4} = 2606,19 \text{ Нм}$$

$R_{ст}$ – статическая нагрузка на переднюю ось при полной массе автомобиля
 $B_{п}$ – колея передних колес автомобиля

$$P_{загр} = P_{полн} - P_{мод} = 1076 \text{ кг}$$

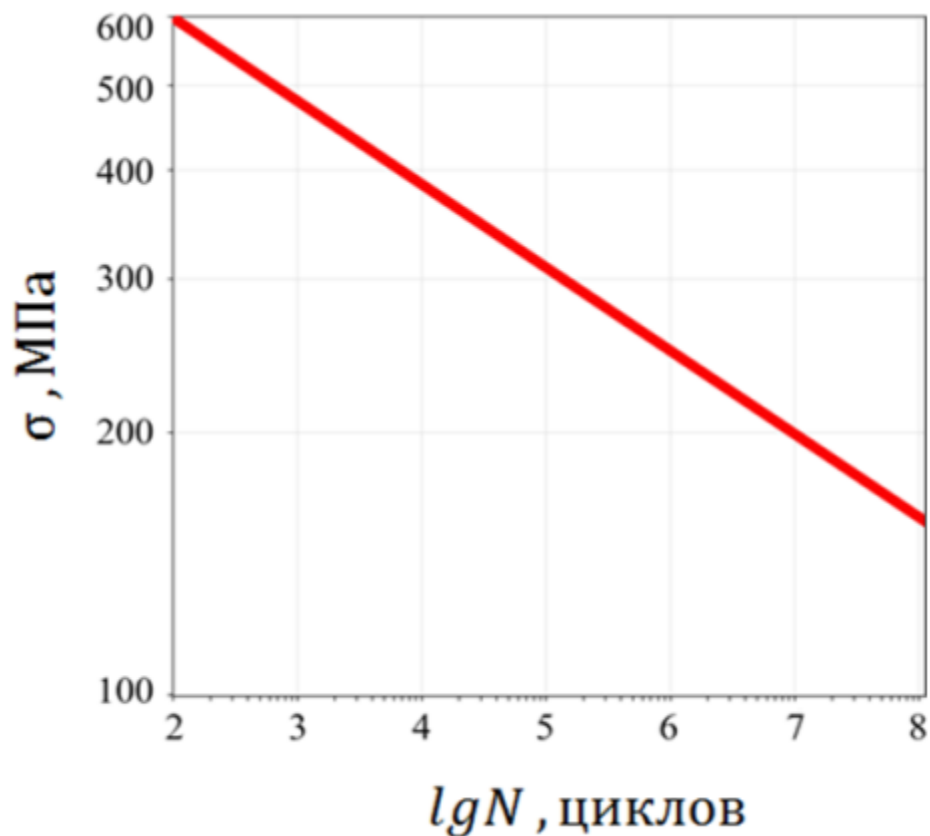
$P_{полн} = 1526 \text{ кг}$ – полная масса автомобиля

$P_{мод} = 450 \text{ кг}$ – масса модели кузова





Диаграмма Велера



$$\lg \sigma = -0.0955 \lg N + 2.9692$$

Критерии прочности:

1 этап: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^1 < \sigma_{50000}$

2 этап: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^2 < \sigma_{100000}$
 $\sigma_{\text{ЭКВ}}^1 < \sigma_{150000}$

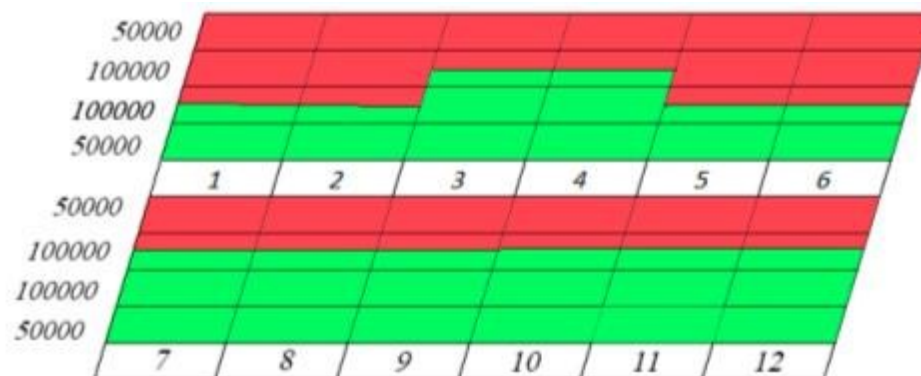
3 этап: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^3 < \sigma_{100000}$
 $\sigma_{\text{ЭКВ}}^2 < \sigma_{200000}$
 $\sigma_{\text{ЭКВ}}^1 < \sigma_{250000}$

4 этап: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^4 < \sigma_{50000}$
 $\sigma_{\text{ЭКВ}}^3 < \sigma_{150000}$
 $\sigma_{\text{ЭКВ}}^2 < \sigma_{250000}$
 $\sigma_{\text{ЭКВ}}^1 < \sigma_{300000}$

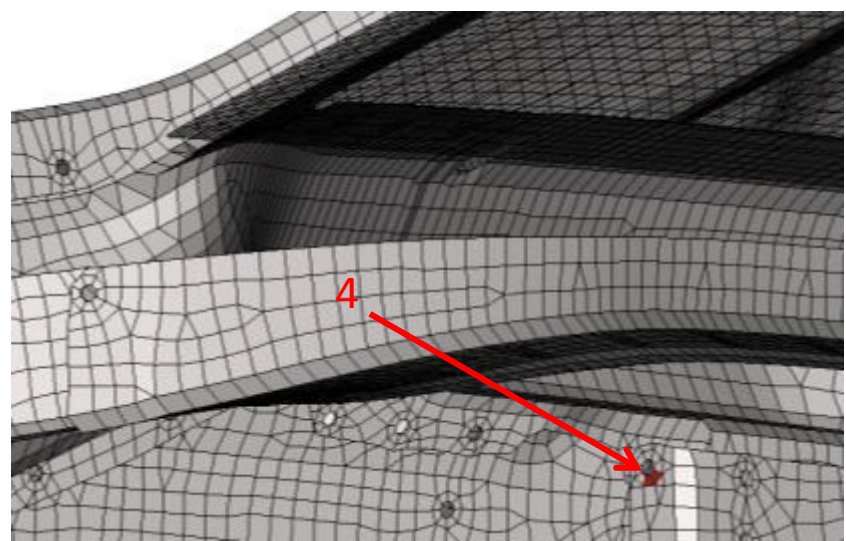
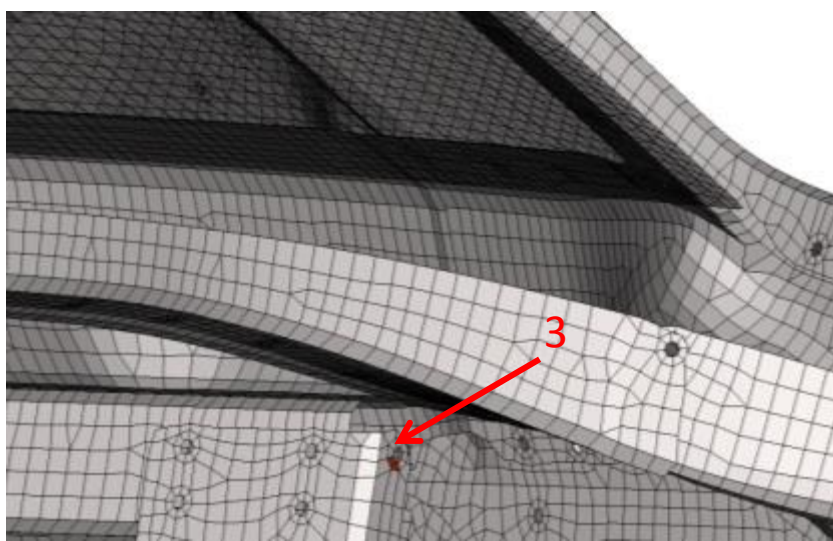
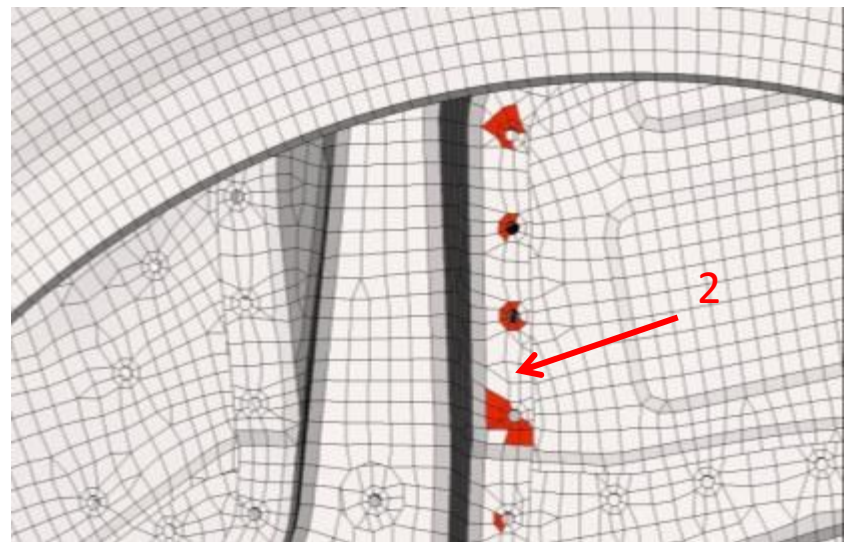
Жесткость кузова	Значение, Н*м/град
до испытания со стеклами	15891.4
после испытания со стеклами	14935.2
до испытания без стекол	14069.8

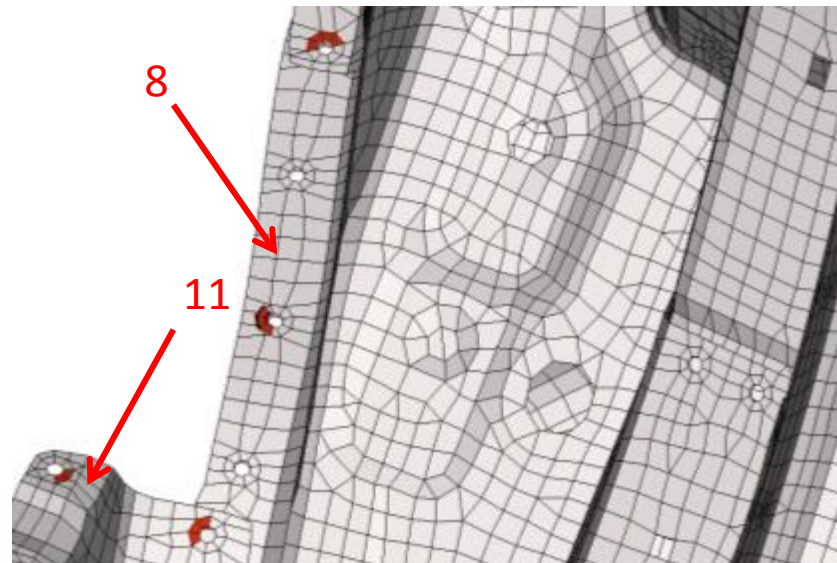
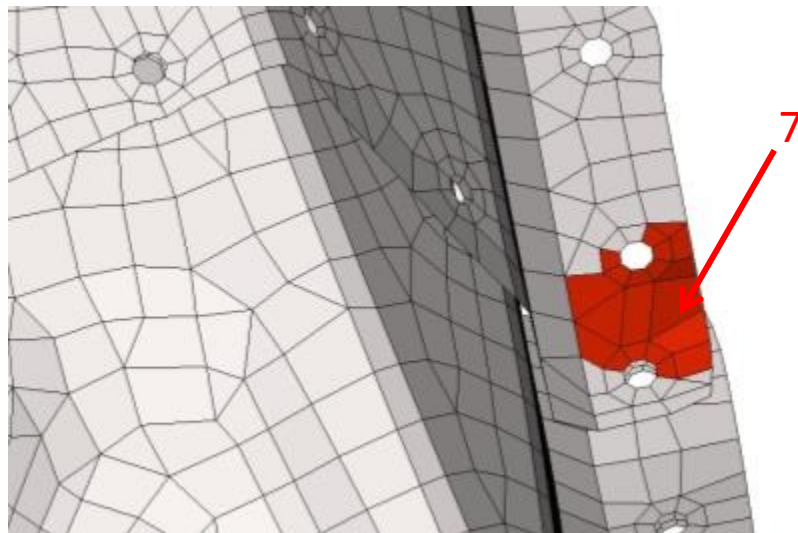
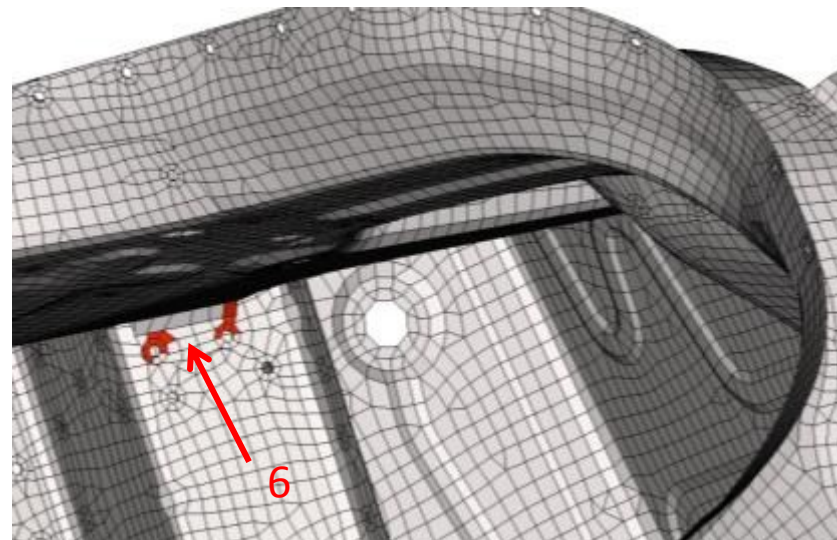
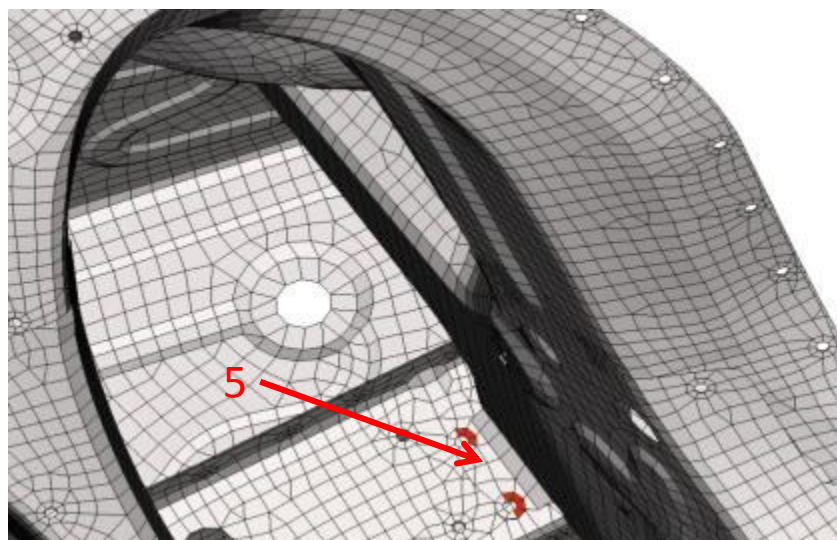
Падение жесткости: $\Pi = 6\%$
 Приращение жесткости от установки
 стекол: $\epsilon = 12.9\%$

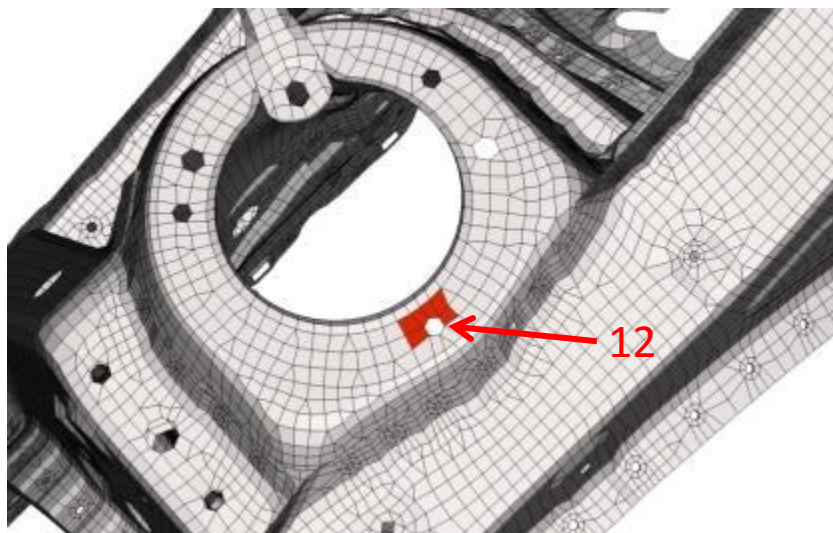
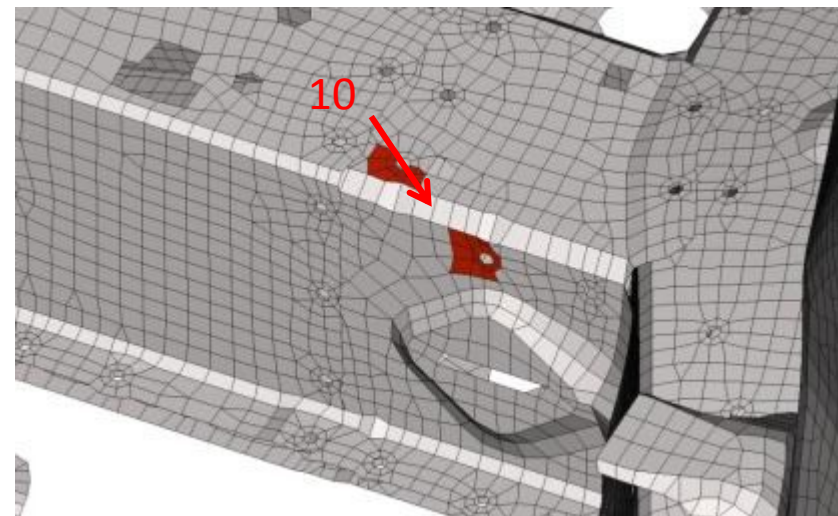
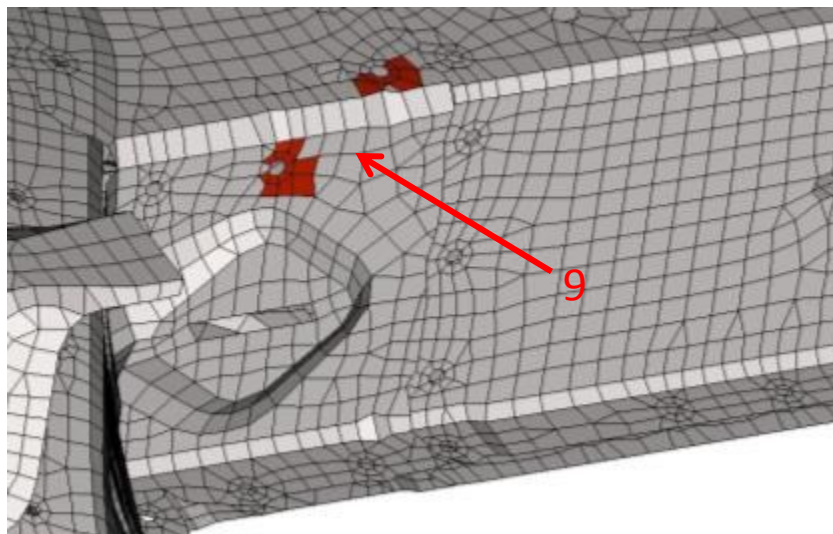
Диаграмма усталостного разрушения



Номер зоны	Место разрушения
1,2	Боковая стойка под багажником
3,4	Дальние верхние углы багажника
5,6	Область между задним бампером и лонжероном
7,8	Фланцы лонжерона
9,10	Место крепления задних сидений
11	Область под задним сидением на дне кузова справа
12	Отверстие около места крепления подвески спереди справа



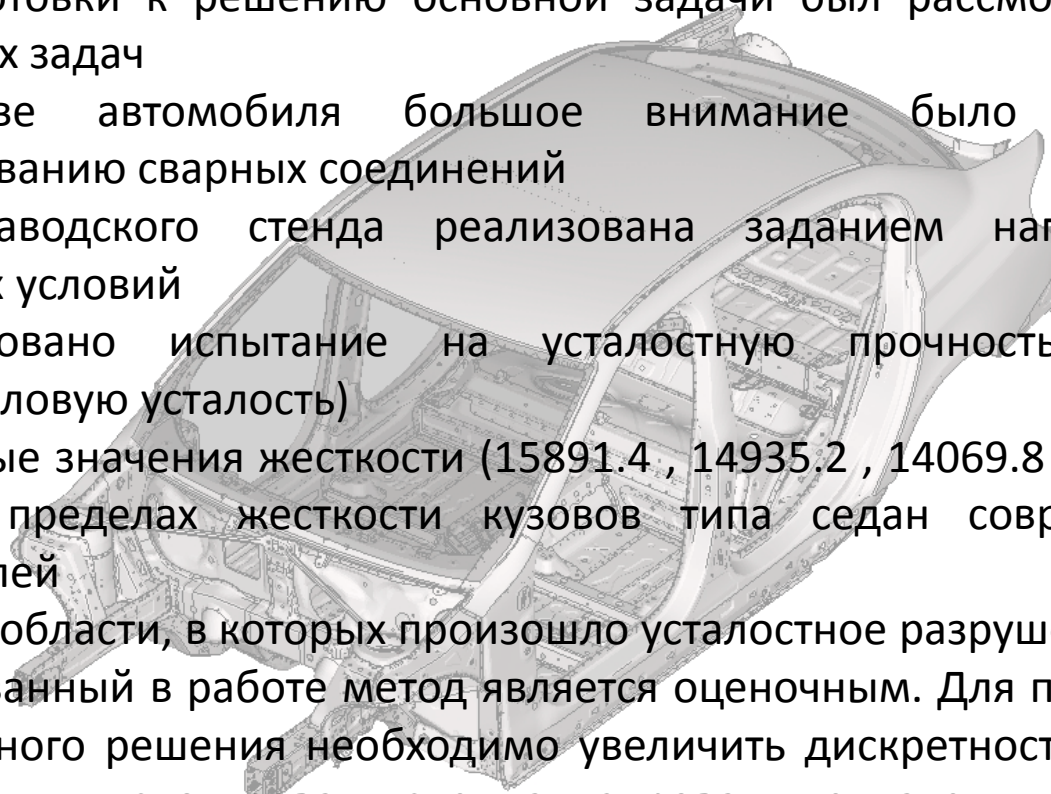






Выводы

- Для подготовки к решению основной задачи был рассмотрен ряд модельных задач
- На кузове автомобиля большое внимание было уделено моделированию сварных соединений
- Работа заводского стенда реализована заданием нагрузок и граничных условий
- Смоделировано испытание на усталостную прочность кузова (многоцикловую усталость)
- Полученные значения жесткости (15891.4 , 14935.2 , 14069.8 Нм/град) лежат в пределах жесткости кузовов типа седан современных автомобилей
- Показаны области, в которых произошло усталостное разрушение
- Используемый в работе метод является оценочным. Для получения более точного решения необходимо увеличить дискретность циклов нагружения и использовать специализированные пакеты для учета усталостных процессов (FE-SAFE)



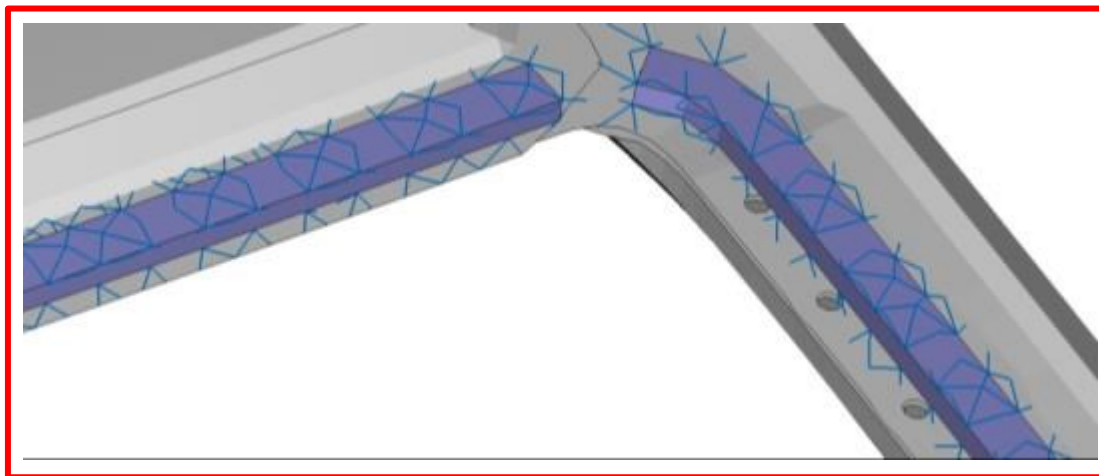


Спасибо за внимание!





Клеевые соединения



Стекла – $E=14$ МПа, $\rho=1300$ кг/м³, $\nu=0.4$

Крыша – $E=1$ МПа, $\rho=1000$ кг/м³, $\nu=0.49$

Кузов - $E=1800$ МПа, $\rho=1000$ кг/м³, $\nu=0.45$