



**Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Институт прикладной математики и механики
Кафедра «Механика и процессы управления»**

**Магистерская работа
по направлению 150300 «Прикладная механика»**

**Разработка методики испытаний на прочность
мест креплений ремней безопасности легкового
автомобиля в соответствии с правилами ЕЭК
ООН №14**

**Выполнил студент группы 6055/11
Руководитель, к. т. н., профессор
Соруководитель, асс.**

**Хакало С. С.
Боровков А. И.
Клявин О. И.**

**Санкт-Петербург
2013 год**



Содержание

- Описание проблемы
- Методика испытаний на прочность мест креплений ремней безопасности легкового автомобиля в соответствии с правилами № 14 ЕЭК ООН
- Разработка КЭ моделей кузова автомобиля, водительского сиденья, ремня безопасности и растягивающего устройства
- Разработка методики испытаний на прочность мест креплений ремня безопасности легкового автомобиля в соответствии с правилами № 14 ЕЭК ООН
 - КЭ проведение испытаний на прочность мест креплений ремня безопасности в соответствии с правилами № 14 ЕЭК ООН
 - Изгиб балки П-образного сечения
 - Замена действия ремня безопасности действием эквивалентных сил и моментов. Переход к статической задаче
 - Рассмотрение верхней точки крепления ремня безопасности
 - Сходимость метода конечных элементов
 - Исследование влияния моделей крепления ремня безопасности на результаты вычислений на примере верхней точки крепления

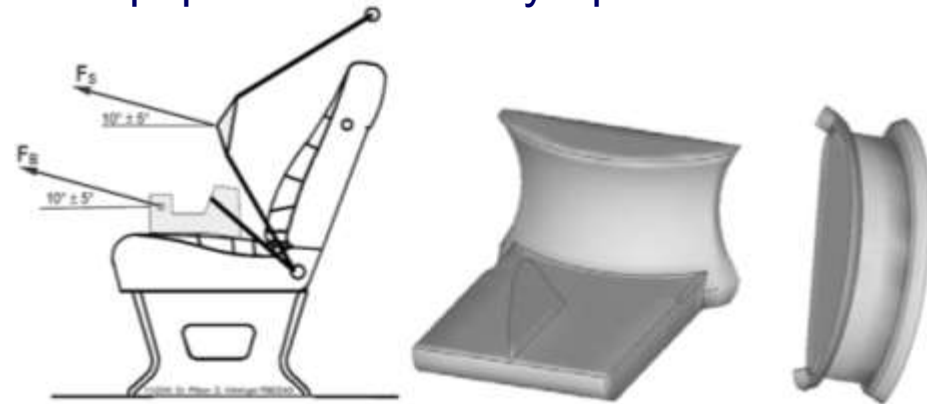
Описание проблемы

- Ремень безопасности (РБ) – средство пассивной безопасности, предназначенное для удержания пассажира автомобиля на месте в случае аварии
 - Трехточечный РБ
- РБ уменьшает риск гибели водителя:
 - при фронтальном столкновении — в 2.3 раза
 - при боковом — в 1.8 раза
 - при опрокидывании — в 5 раз
- РБ снижает вероятность гибели пассажиров:
 - переднего сиденья — на 40-50 %
 - заднего сиденья — на 25 %
- Необходимым условием эффективной работы РБ является достаточная прочность креплений и мест креплений РБ



Методика испытаний на прочность мест креплений РБ легкового автомобиля в соответствии с правилами № 14 ЕЭК ООН

- Испытаниям могут подвергаться либо кузов транспортного средства (ТС), либо полностью оборудованное ТС
- Рекомендуется устанавливать кузов на опоры, расположенные приблизительно на уровне осей колес
- Полная нагрузка должна прилагаться максимум в течение 60 секунд и удерживаться в течение 0.1-0.2 секунд
- Проведение физического теста
- Схема приложения нагрузки и форма натяжного устройства



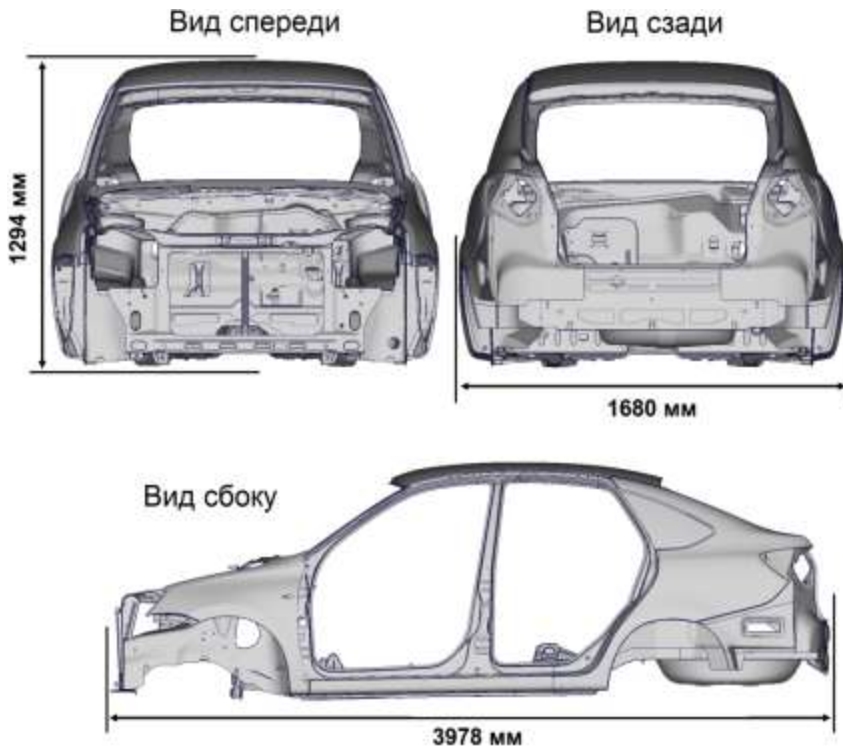
- $F_S = F_B = 13500(\pm 200 \text{ Н}) + 20P_S$
- P_S - вес сиденья в сборе



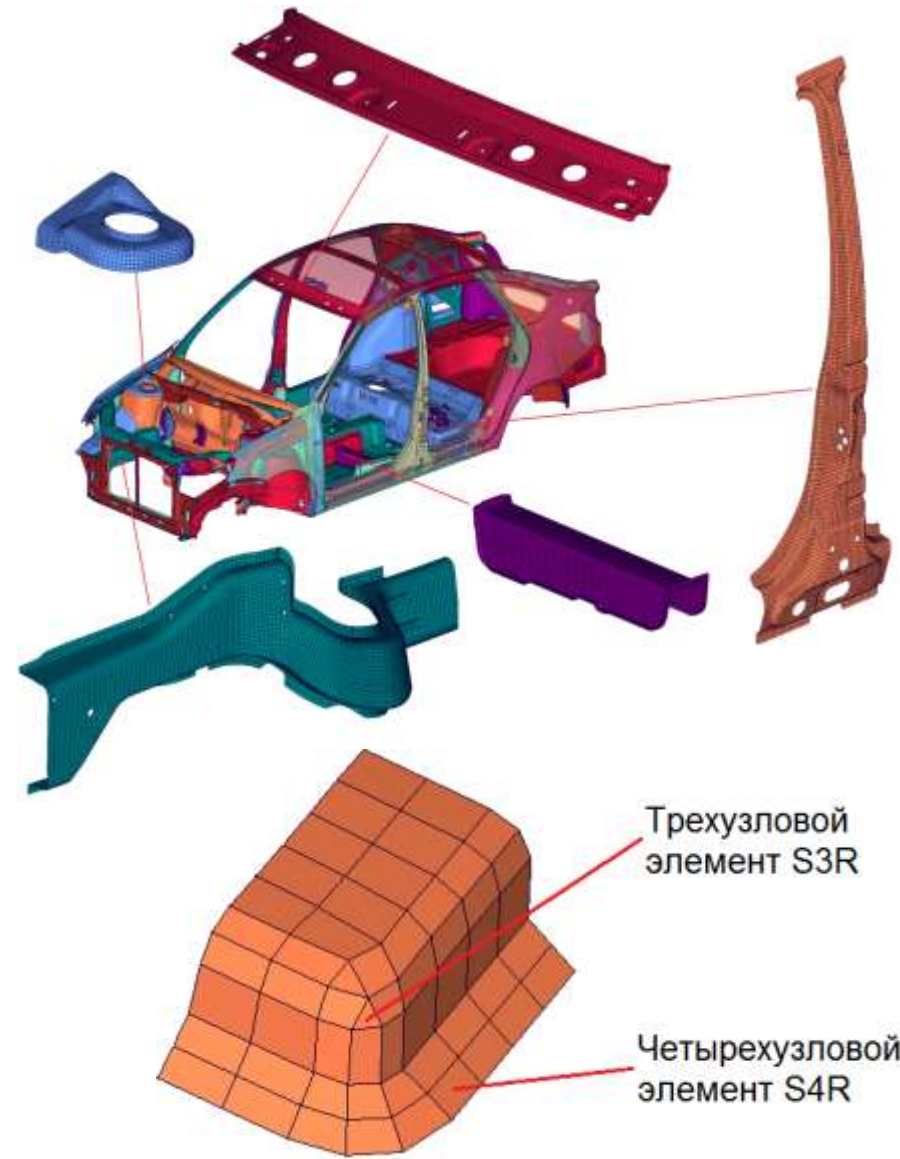
- Использование КЭ со средним размером 8 мм не позволяет аккуратно моделировать геометрию и крепления РБ
- Необходима новая методика испытаний

КЭ модель кузова автомобиля

- CAD модель



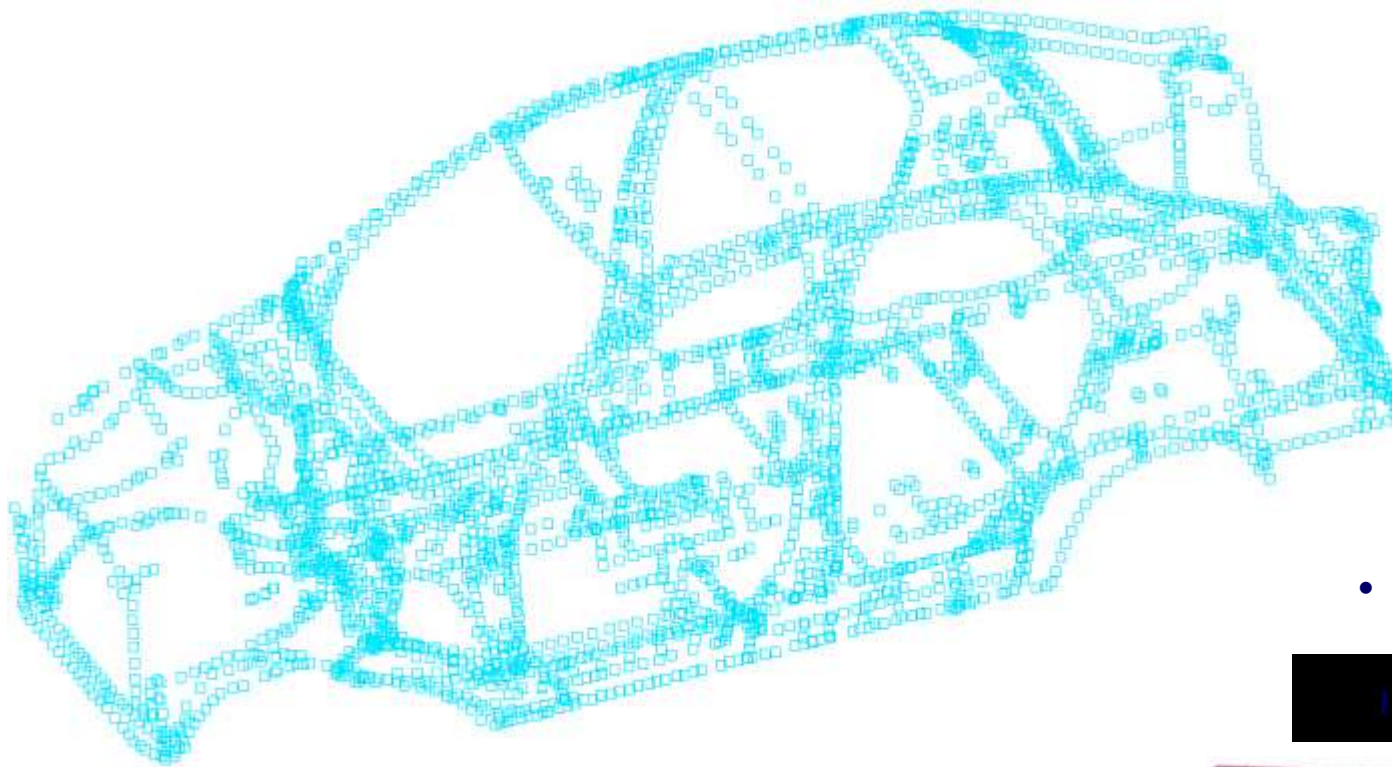
- FE модель - ANSA



- Тип КЭ – S4R и S3R, SFM3D4R и SFM3D3, B31
- Элементов (NFE) 579 622
- Узлов (NN) 595 483
- Степеней свободы (NDF) 3 572 898



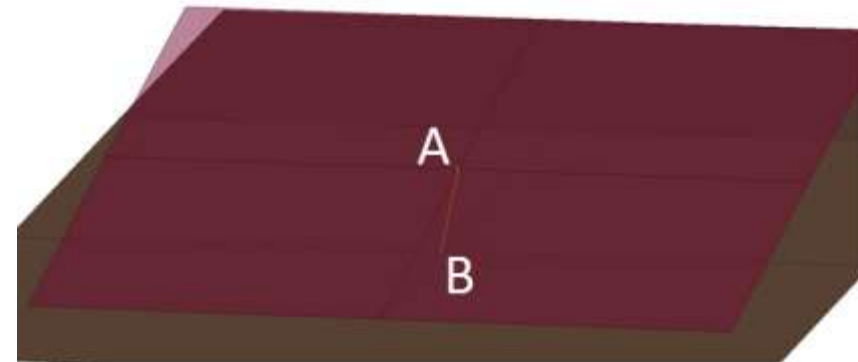
Пространственное поле сварных точек



- FE модель СТ

$$u_i^A = u_i^B, i = 1, 6$$

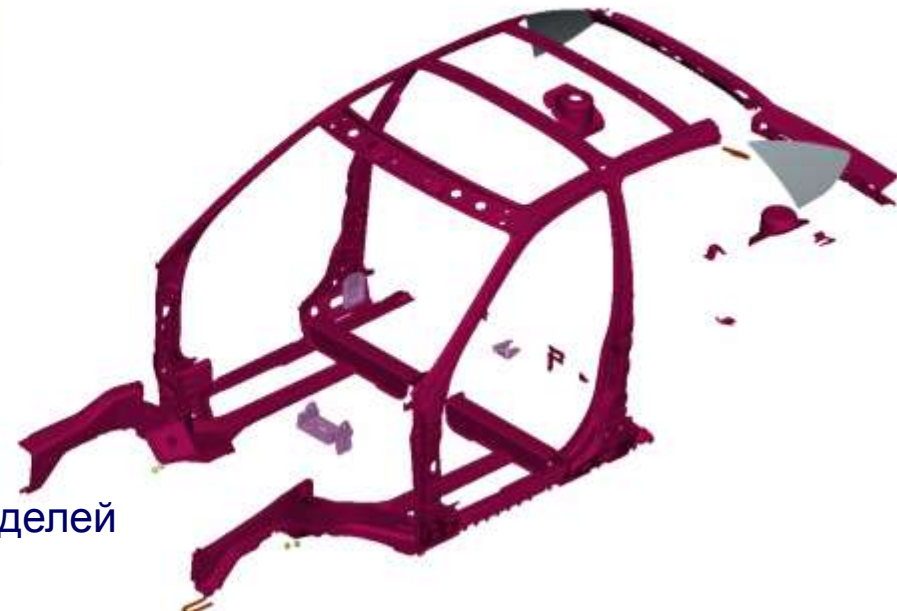
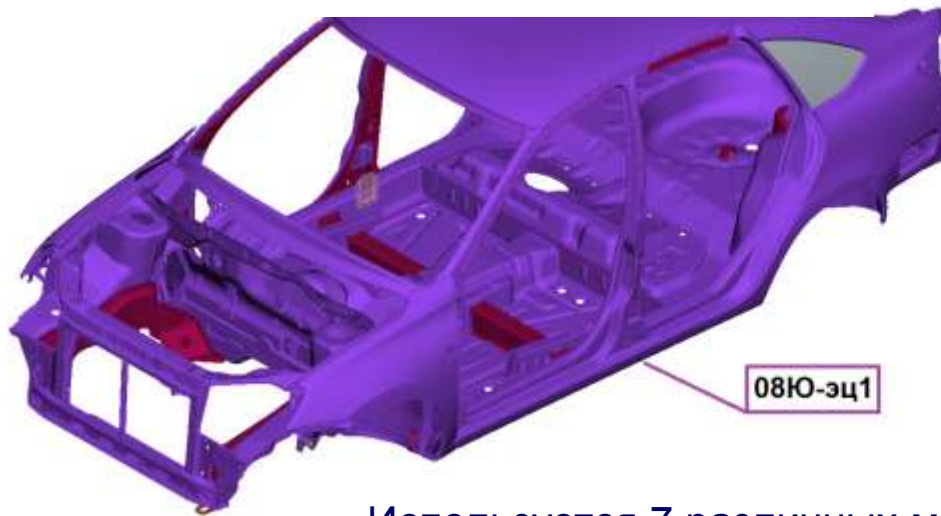
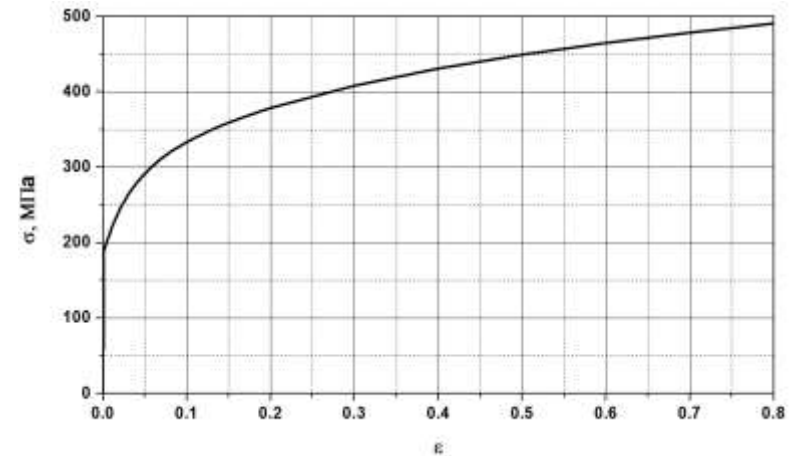
- Сварных точек (СТ) 3906
- FE модель СТ RBE2



Модель материала

- Материал – изотропный, однородный, упруго-пластический с изотропным упрочнением
- $E = 175 \text{ ГПа}$
- $\rho = 7820 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
- $\nu = 0.3$
- $\sigma_p = 189.9 \text{ МПа}$

- Диаграмма зависимостей напряжения-деформации для стали 08Ю-эц1



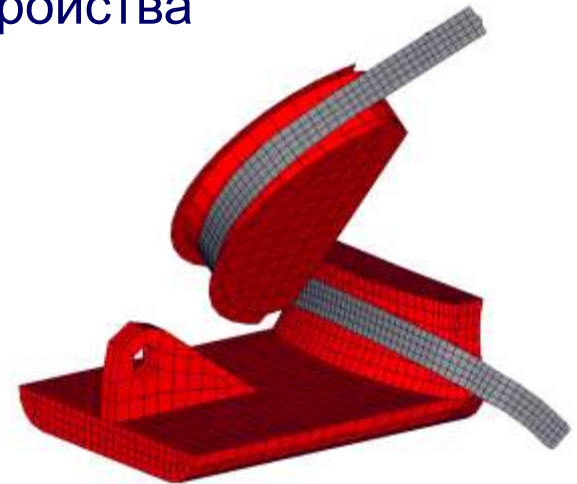
- Используется 7 различных моделей материалов

КЭ модели водительского сиденья, РБ и растягивающего устройства

- Водительское сиденье



- Модели РБ и растягивающего устройства

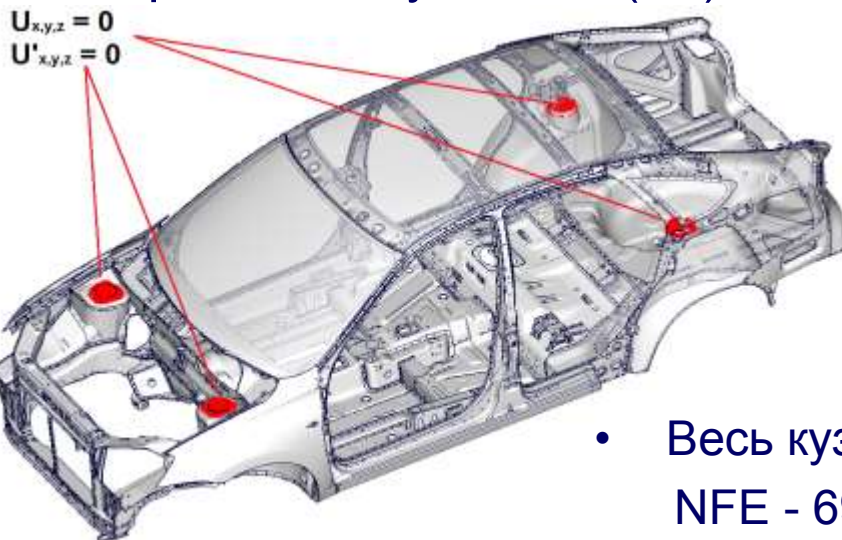


- Тип КЭ – S4R и S3R, SFM3D4R и SFM3D3, B31, M3D3 и M3D4R, C3D4 и C3D8R, CONN3D2
- NFE - 120 014
- NN - 55 881
- NDF - 270 644



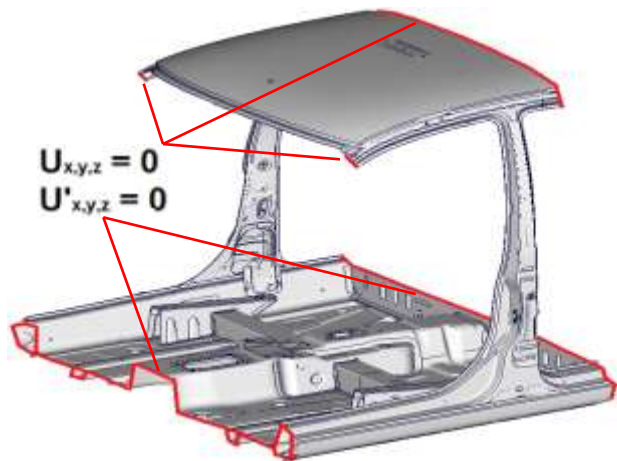
КЭ проведение испытаний на прочность мест креплений ремня безопасности в соответствии с правилами № 14 ЕЭК ООН

- Граничные условия (ГУ)

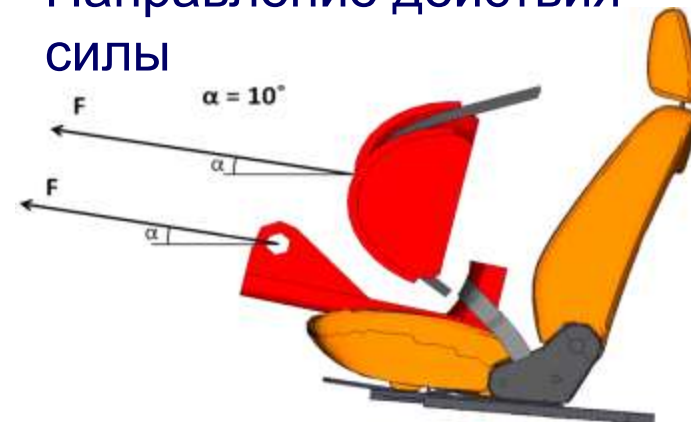


- Весь кузов
NFE - 699 636
NN - 651 364
NDF - 3 843 542

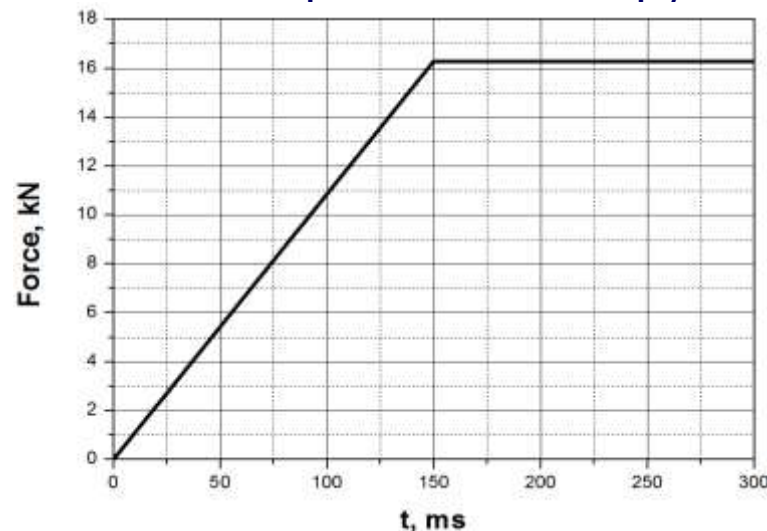
- Обрезанный кузов
NFE - 280 453
NN - 220 781
NDF - 1 262 405



- Направление действия силы



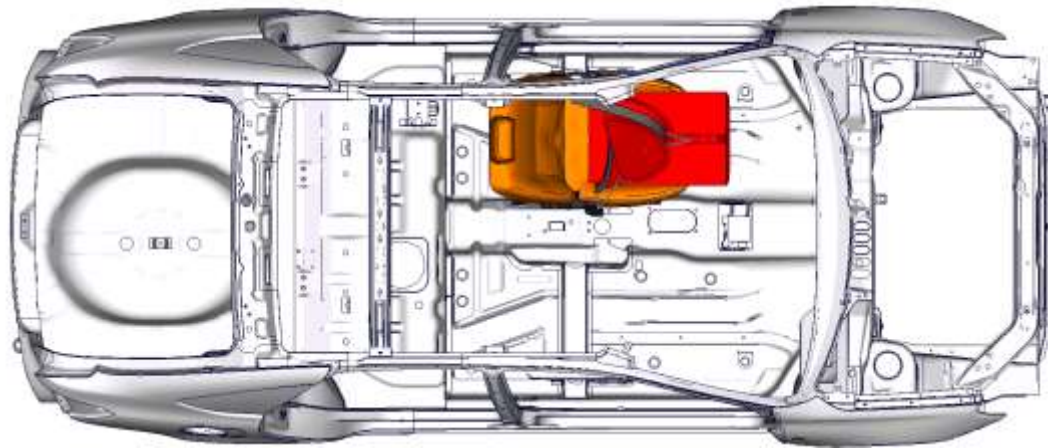
- Закон приложения нагрузки





Результаты КЭ моделирования - ABAQUS

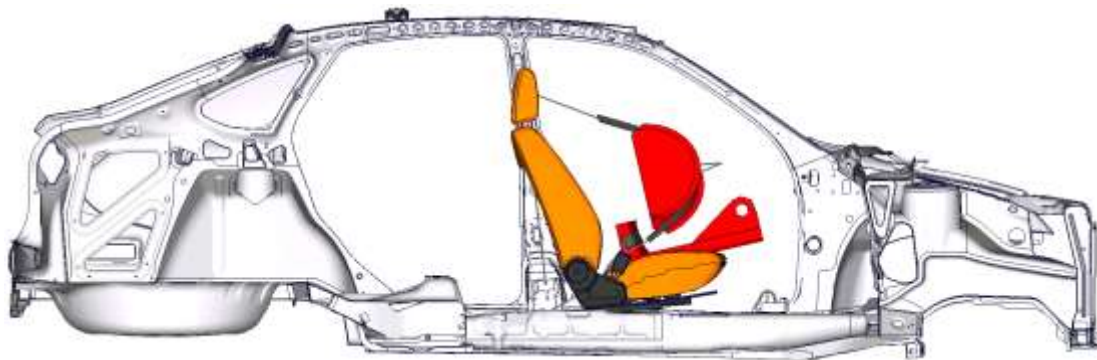
- Вид сверху



- Вид спереди



- Вид сбоку

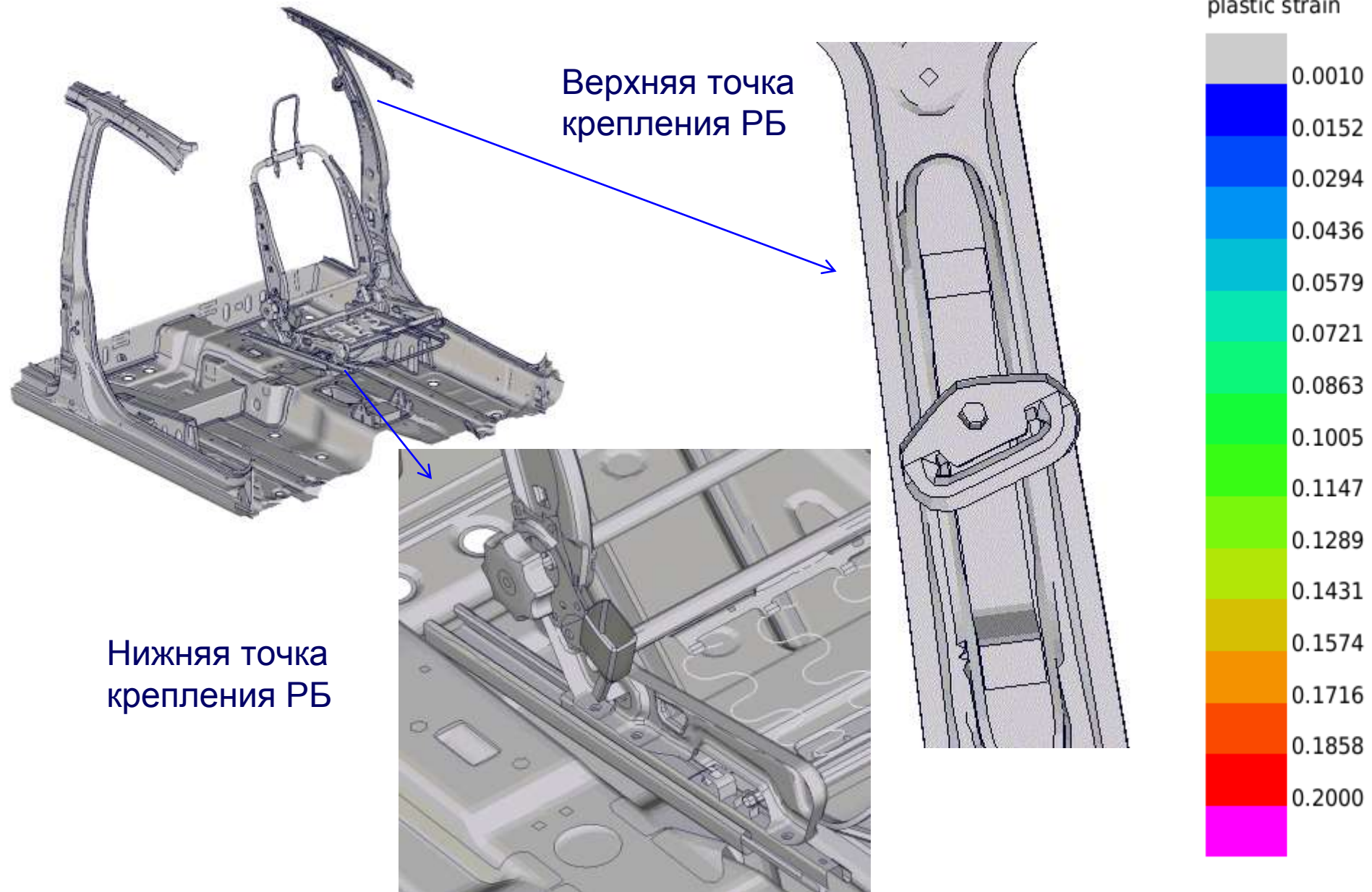


- Изометрия





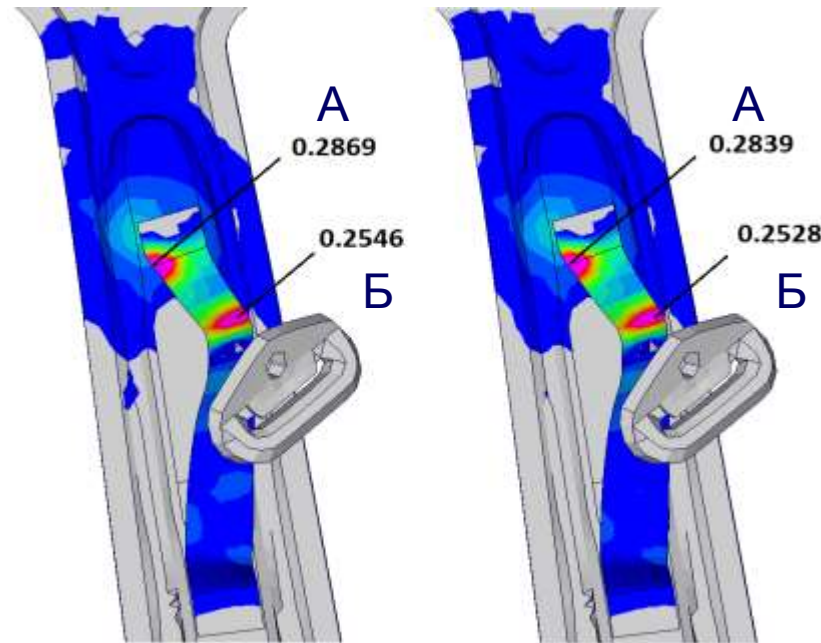
Распределение пластических деформаций



Сравнение результатов решения динамических задач

- Верхняя точка крепления РБ

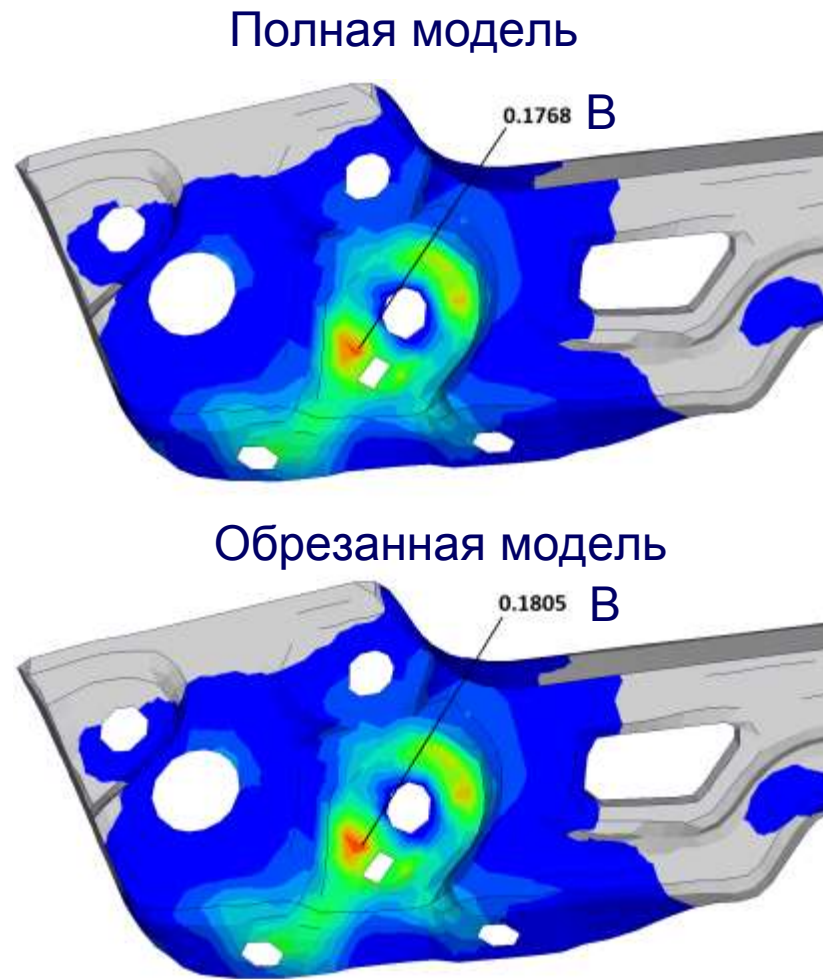
- Нижняя точка крепления РБ



Полная модель

Обрезанная модель

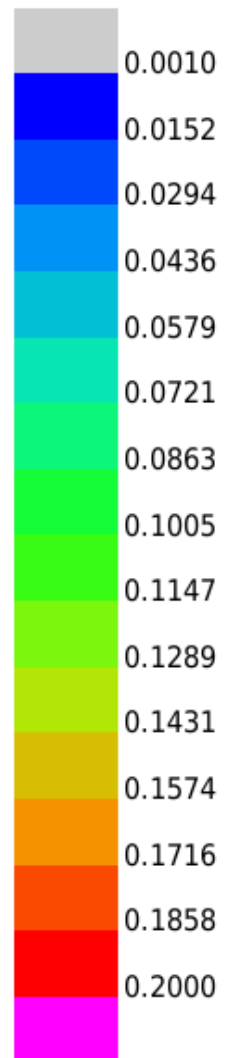
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^A = 1.05\%$
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^B = 0.71\%$
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^B = 2.1\%$



Полная модель

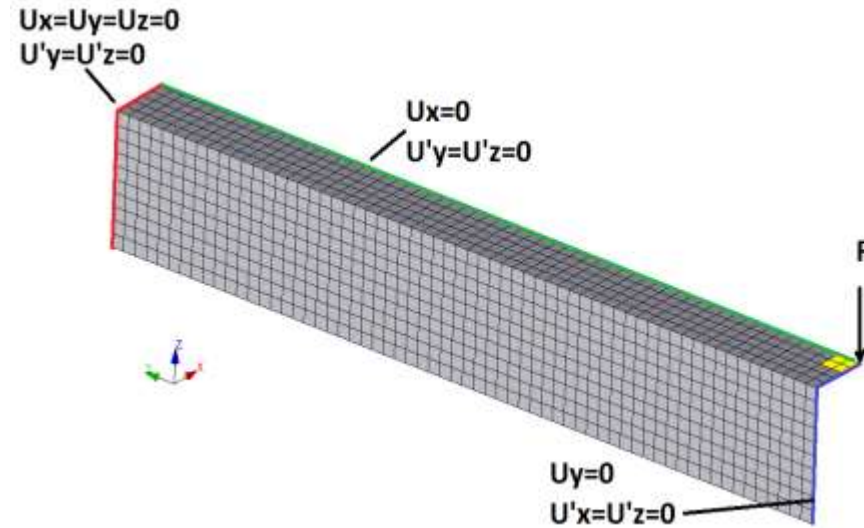
Обрезанная модель

plastic strain

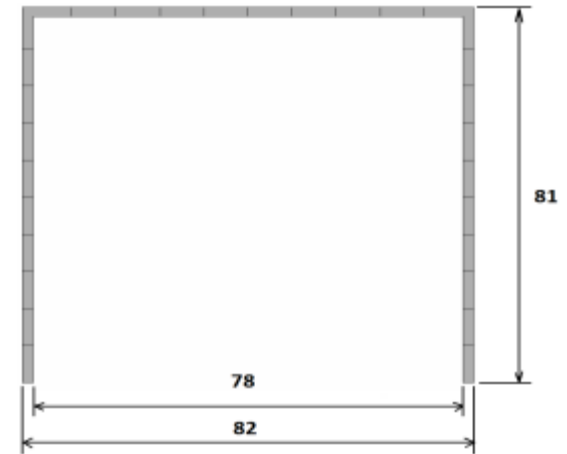


Изгиб балки П-образного сечения

- Постановка задачи

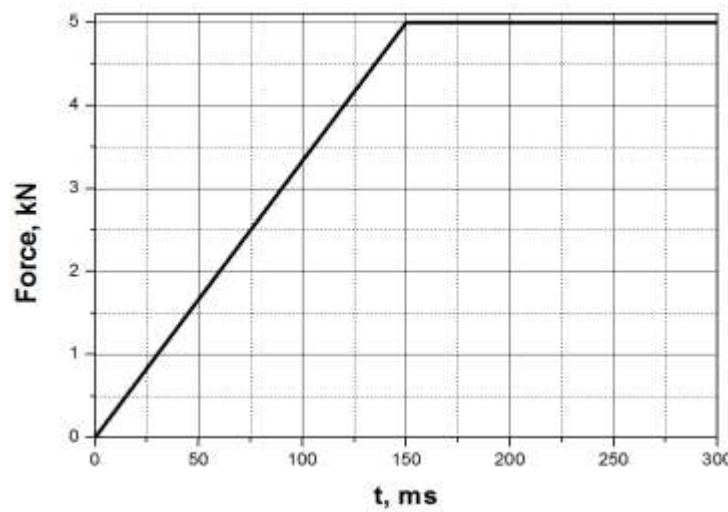


- Профиль балки – размеры в мм

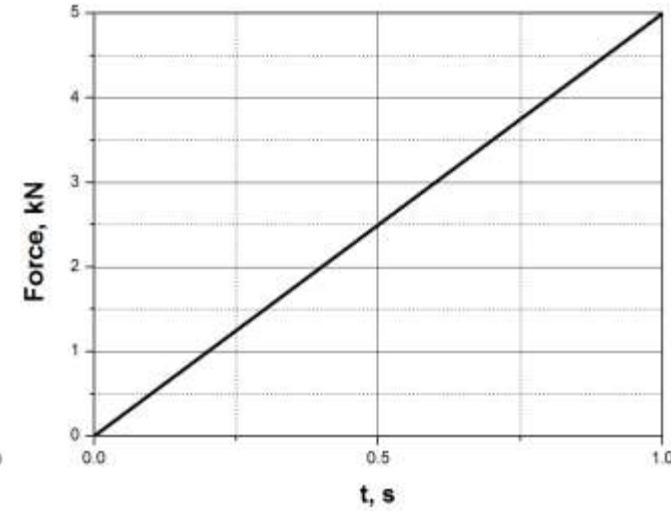


- Законы приложения нагрузки

Динамика



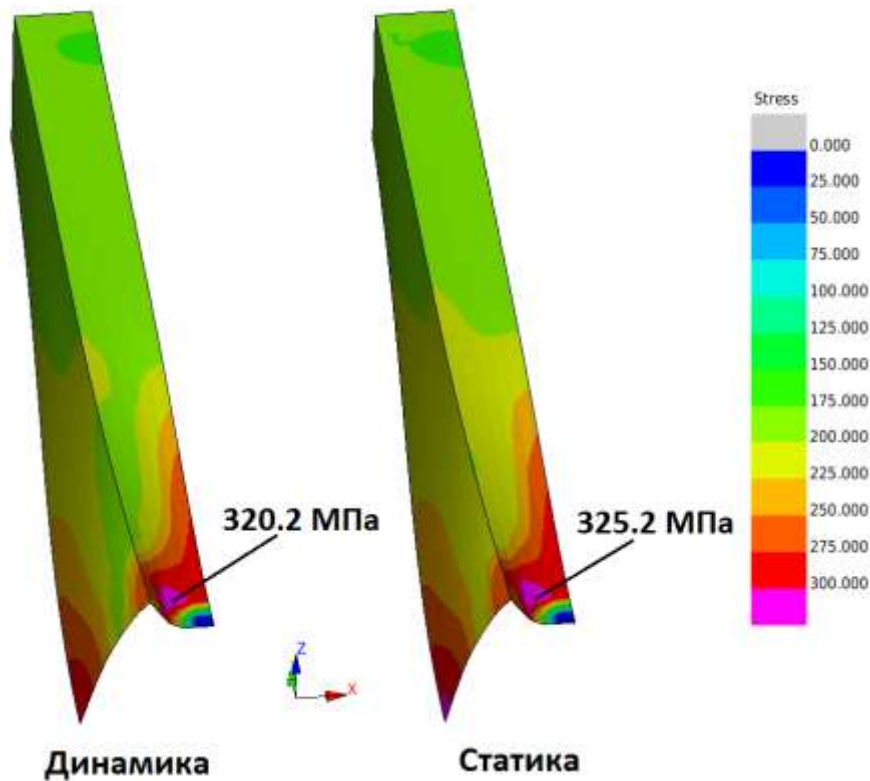
Статика



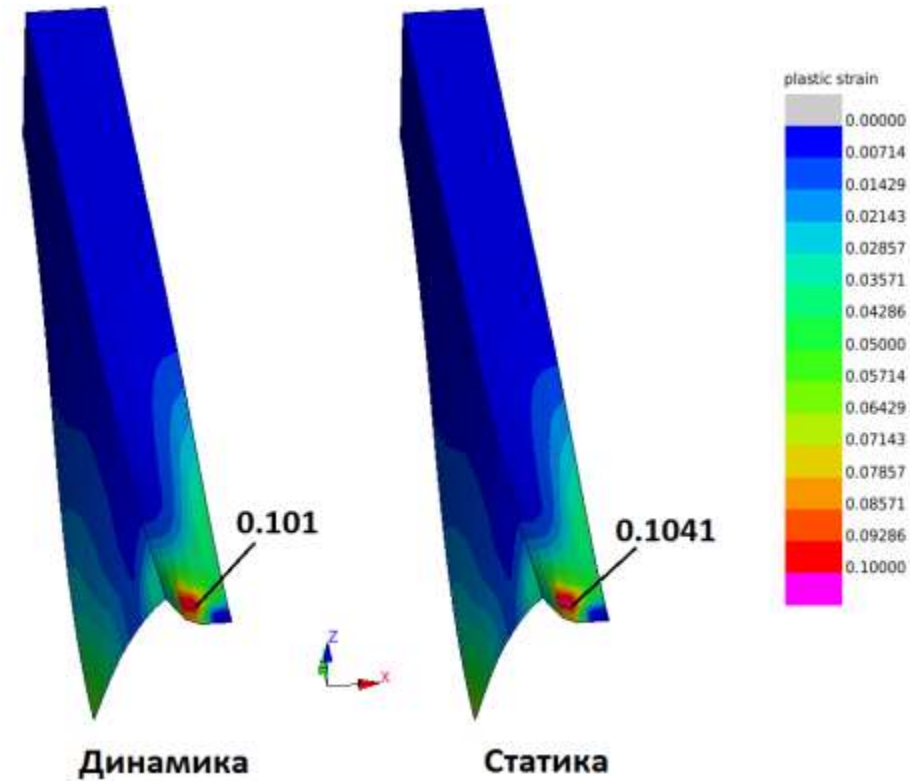
- Материал балки – сталь 08Ю-эц1
 - Средний размер элементов – 8 мм
 - Тип КЭ – S4R
- NFE - 930
NN - 1008
NDF – 6 048

Сравнение результатов решения динамической и статической задач

- Эквивалентные по Мизесу напряжения
- Пластическая составляющая ε_{eqv}^{pl} эквивалентных по Мизесу деформаций



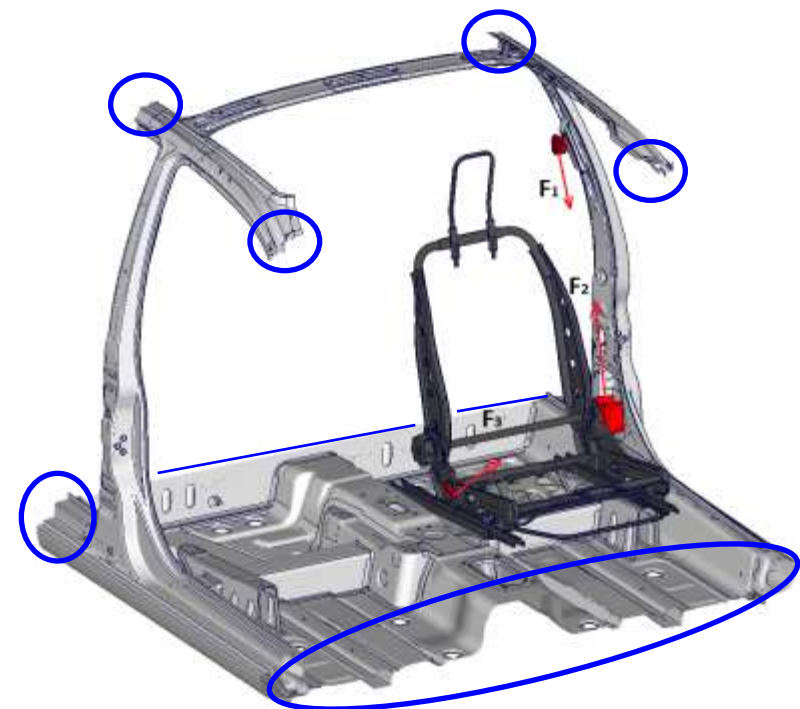
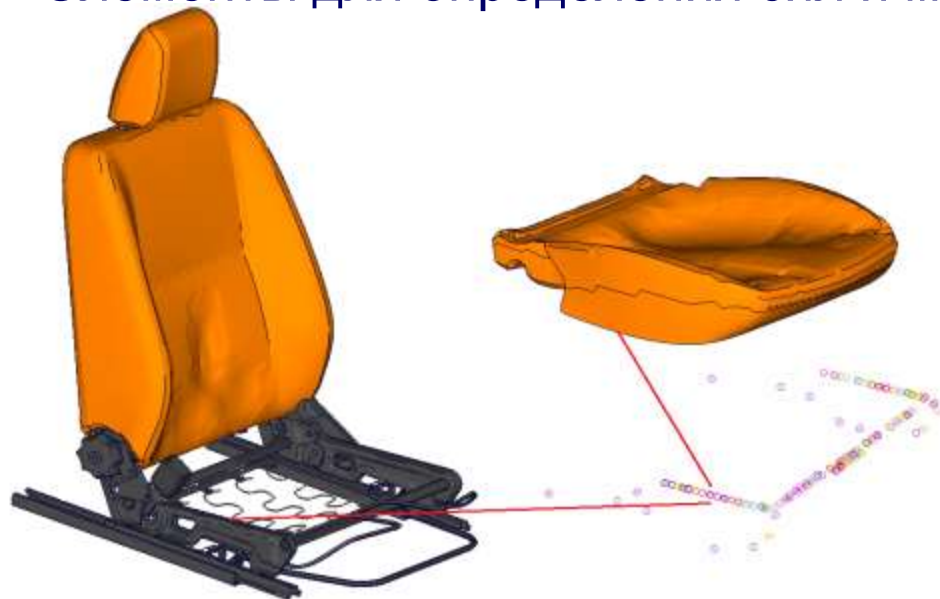
- $\Delta\sigma_{отн} = 1.54\%$



- $\Delta\varepsilon_{отн} = 2.98\%$

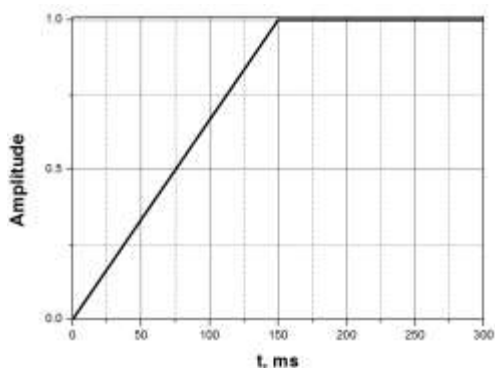
Замена действия РБ действием эквивалентных сил и моментов. Переход к статической задаче

- Элементы для определения сил и моментов (СиМ)
- ГУ и направления действия сил

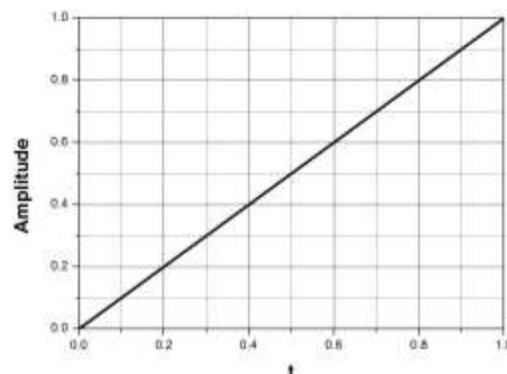


- Законы приложения нагрузки

Динамика



Статика



○ — $U_{x,y,z} = 0$
 $U'_{x,y,z} = 0$

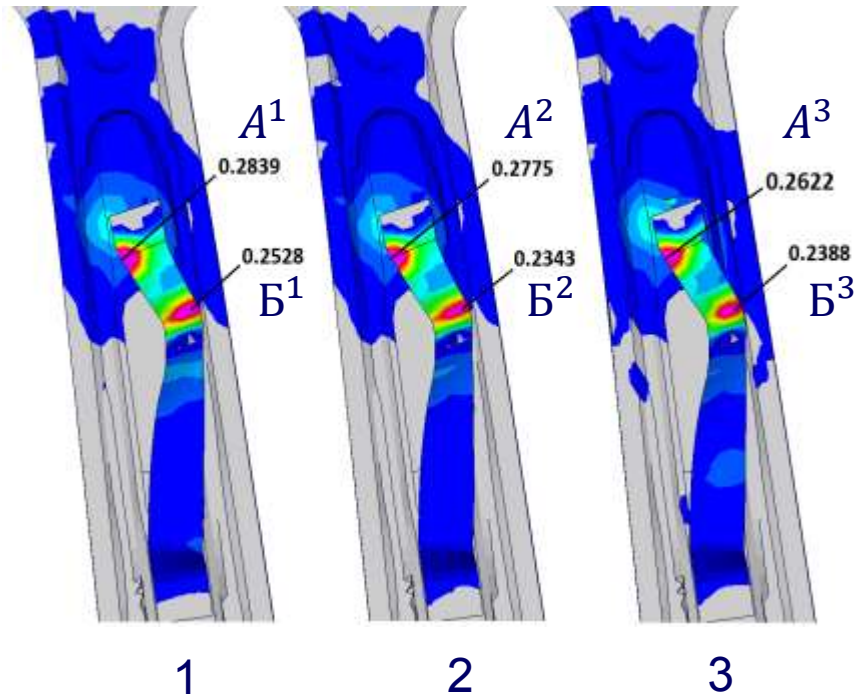
NFE - 193 885

NN - 200 571

NDF - 1 197 906

Результаты КЭ моделирования

- Верхняя точка крепления РБ



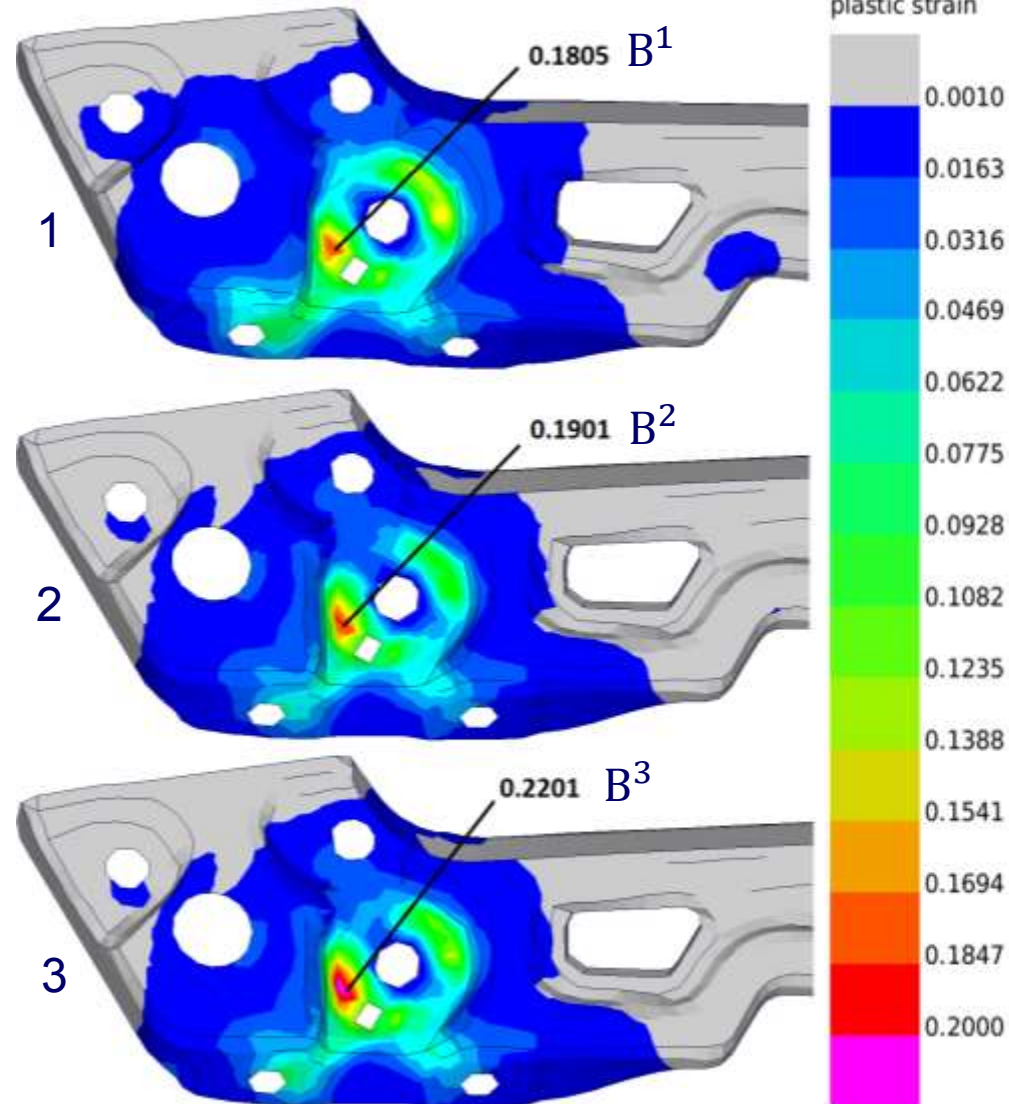
1 – модель с РБ, динамика

2 – модель с СиМ, динамика

3 – модель с СиМ, статика

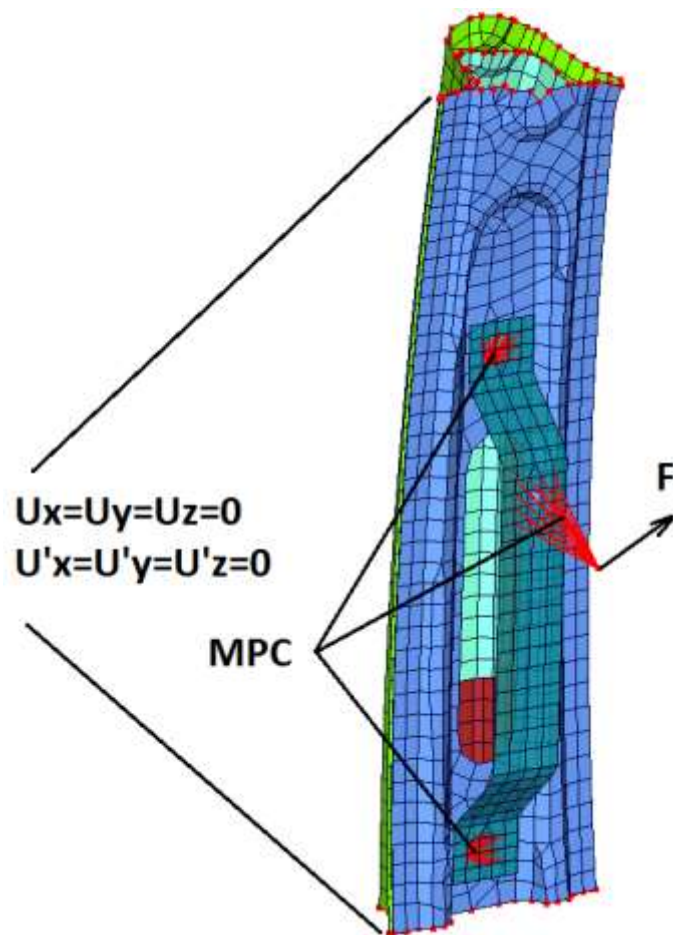
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^{A^1 \text{ и } A^2} = 2.25\%$
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^{B^1 \text{ и } B^2} = 7.32\%$
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^{B^1 \text{ и } B^2} = 5.32\%$
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^{A^2 \text{ и } A^3} = 5.51\%$
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^{B^2 \text{ и } B^3} = 1.92\%$
- $\Delta \varepsilon_{\text{отн}}^{B^2 \text{ и } B^3} = 15.78\%$

- Нижняя точка крепления РБ

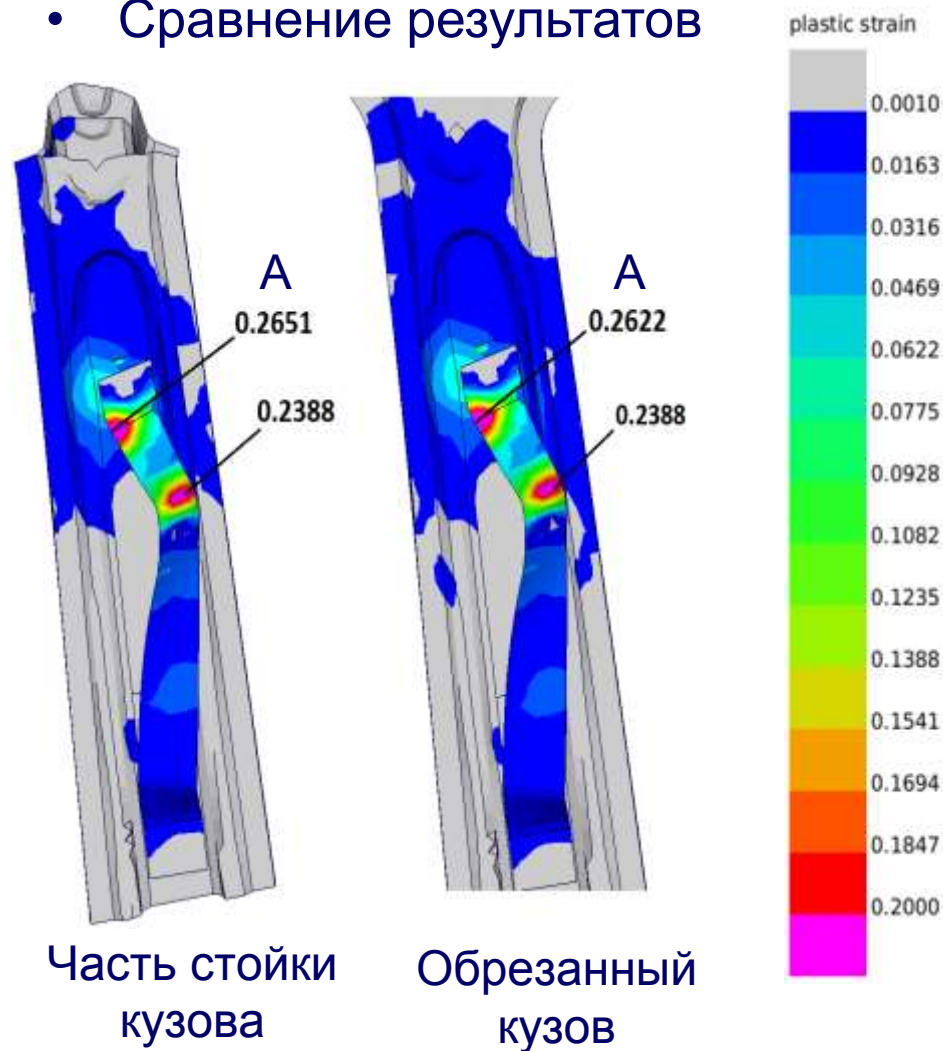


Рассмотрение верхней точки (ВТ) крепления РБ

- Постановка задачи



- Сравнение результатов

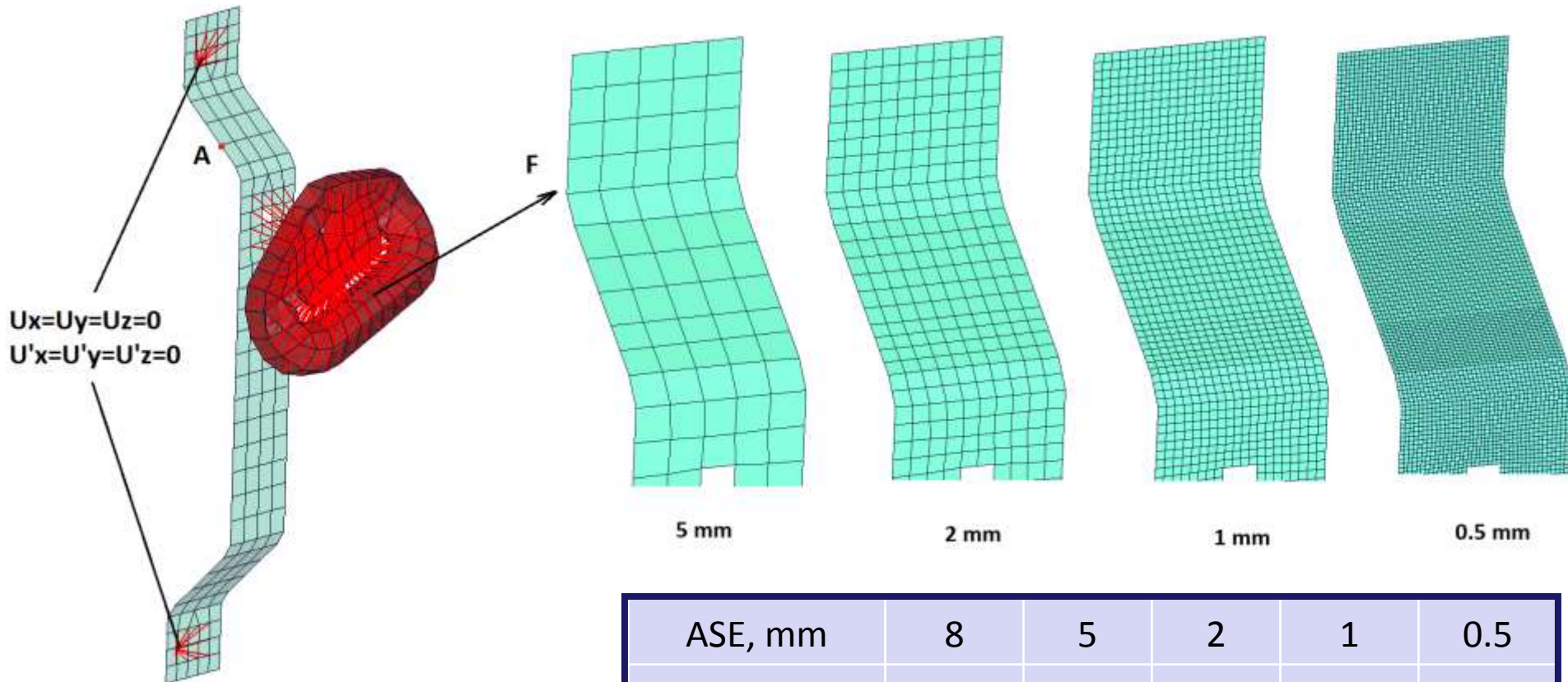


- NFE – 2 830
- NN – 3 120
- NDF – 18 720
- Средний размер элементов – 8 мм
- Тип КЭ – S4R и S3R

- $\Delta \epsilon_{\text{отн}}^A = 1.18\%$

Сходимость метода конечных элементов

- Постановка задачи
- Размер конечных элементов

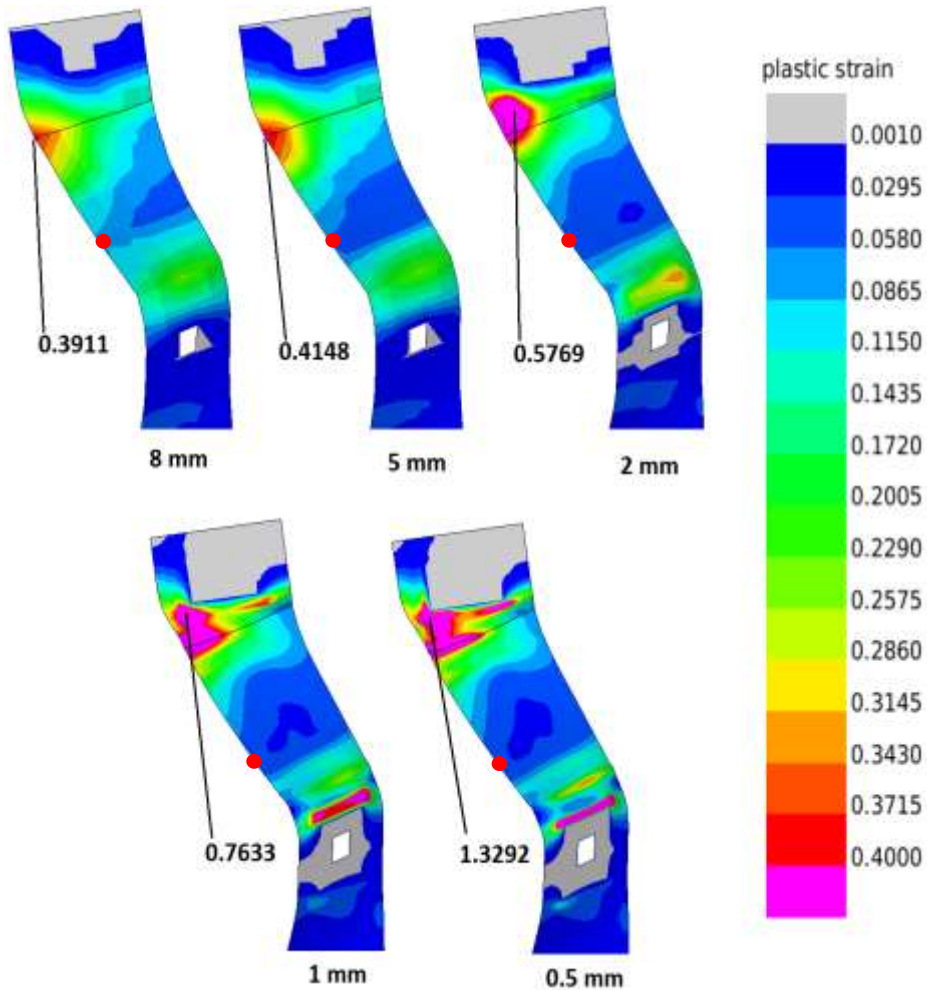


- Тип КЭ – S4R и S3R, SFM3D4R и SFM3D3

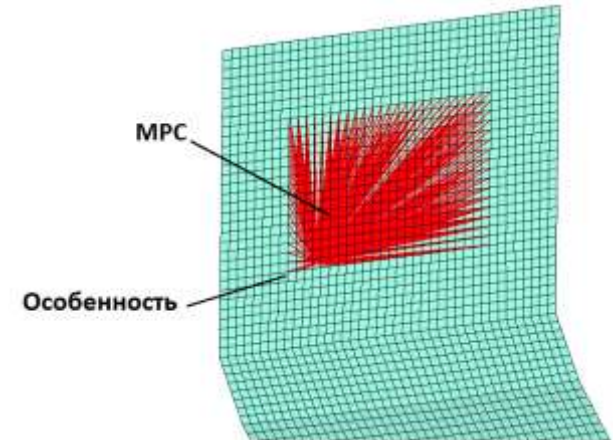
ASE, mm	8	5	2	1	0.5
NE	416	483	1140	3768	14280
NN	434	512	1220	3950	14666
NDF	2604	3072	7320	23700	87996

Результаты исследования сходимости

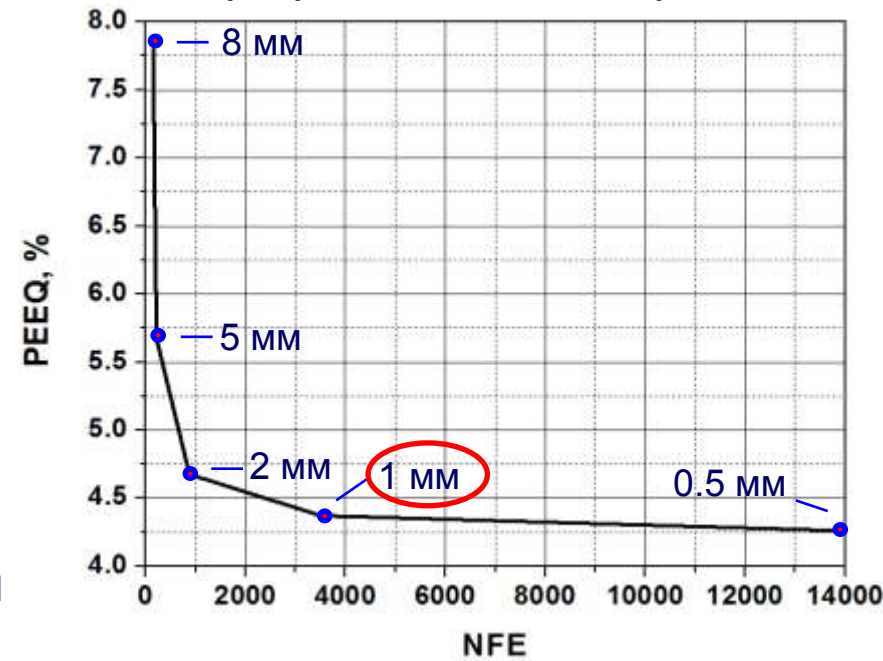
- Распределение ε_{eqv}^{pl}



- Область влияния ГУ



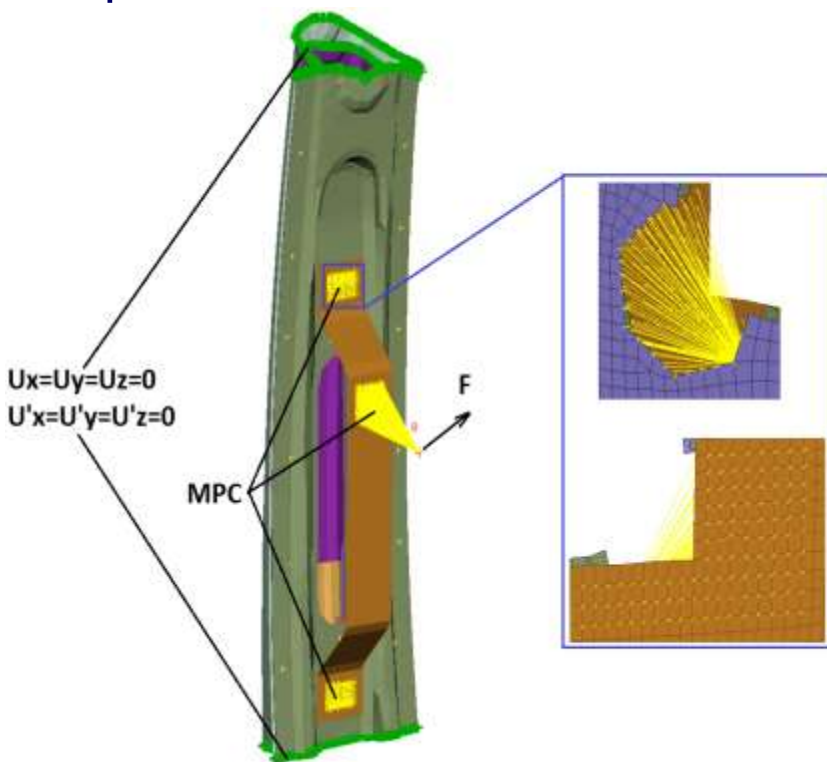
- График сходимости решения



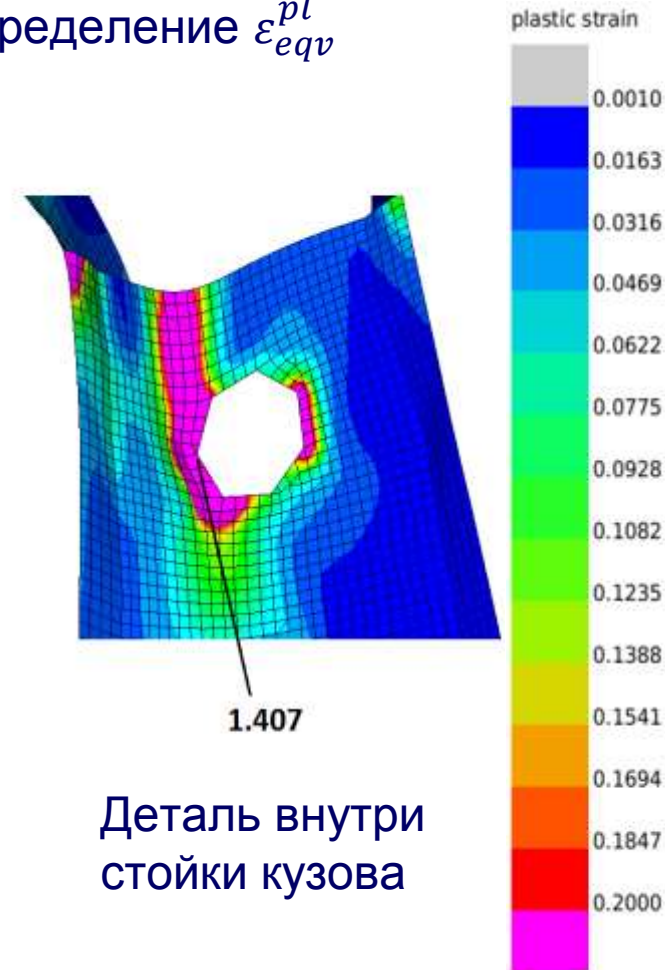
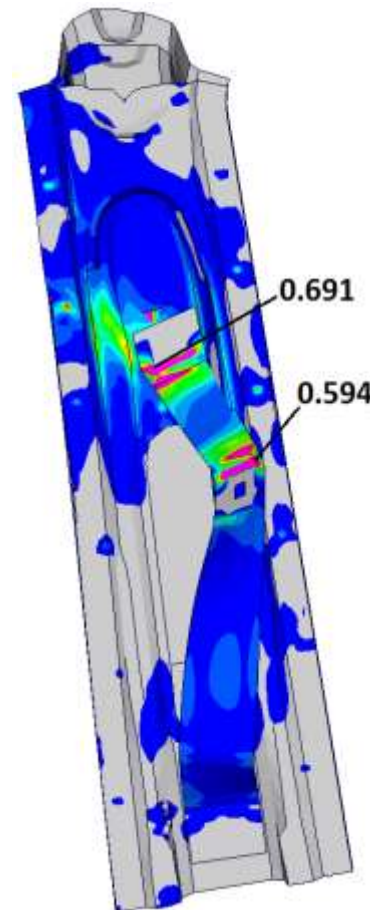
- Точка А для исследования сходимости

Исследование влияния моделей крепления РБ на результаты вычислений. ВТ крепления

- Постановка задачи. Использование старой геометрии и моделей креплений



- Распределение ε_{eqv}^{pl}

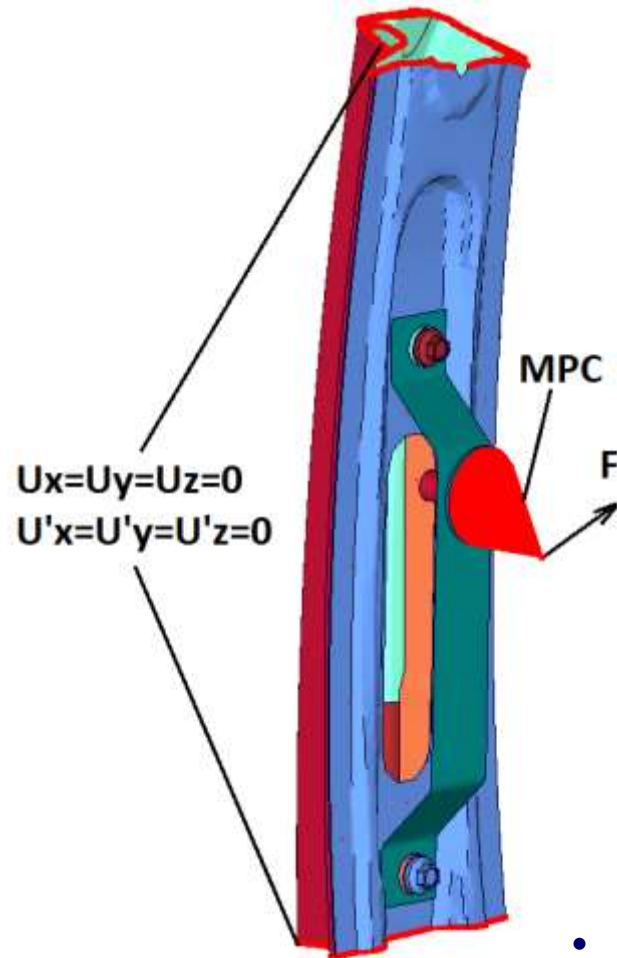


Деталь внутри
стойки кузова

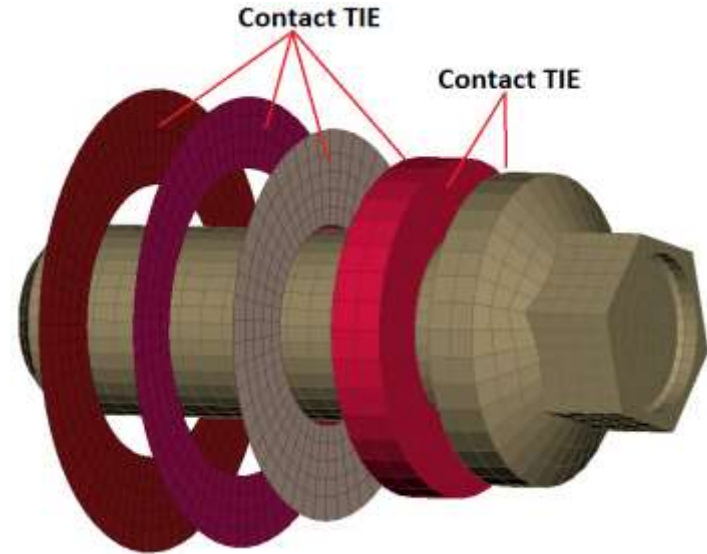
- NFE – 96 053
- NN - 97 867
- NDF – 587 202
- Средний размер элементов – 1 мм
- Тип КЭ – S4R и S3R

Использование болтовых соединений

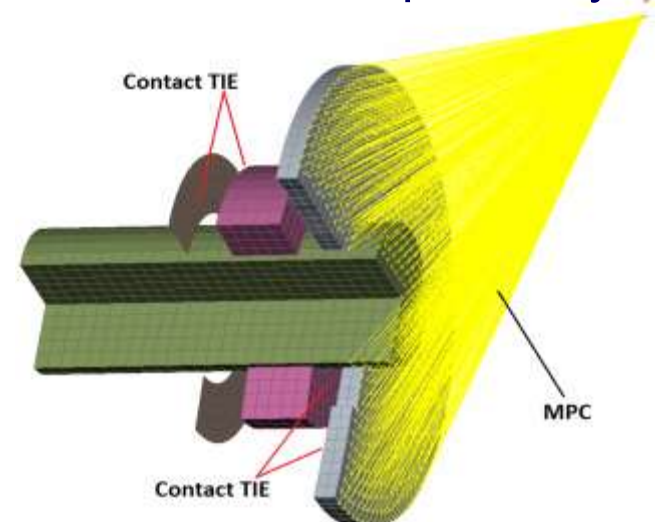
- Постановка задачи



- Крепление деталей к верхнему болту



- Крепление деталей к среднему болту

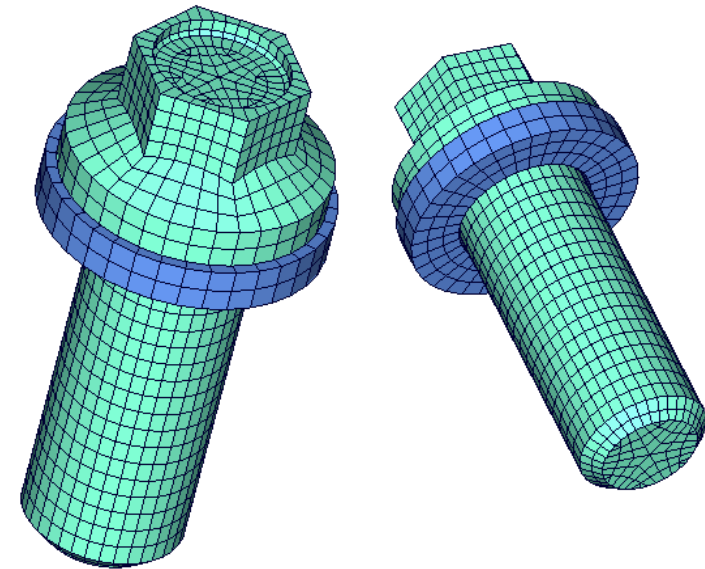


- NFE – 148 977
- NN - 155 041
- NDF – 880 806

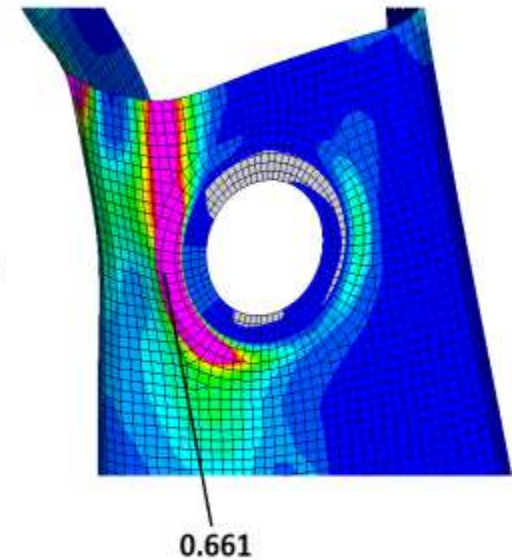
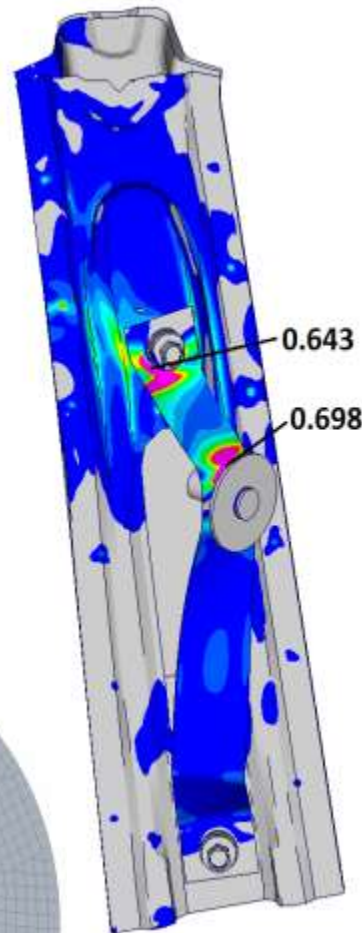
- Средний размер элементов – 1 мм
- Тип КЭ – S4R и S3R, C3D6 и C3D8R

Результаты КЭ моделирования

- КЭ модель верхнего болта

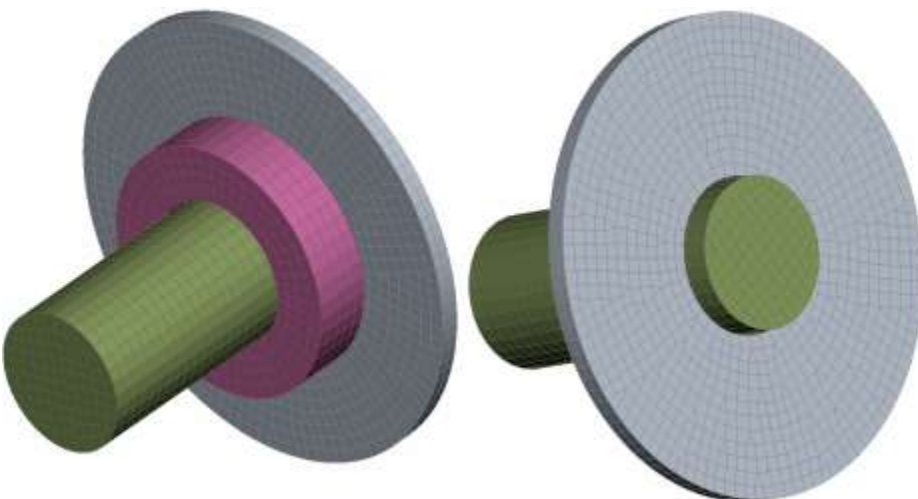


- Распределение ε_{eqv}^{pl}



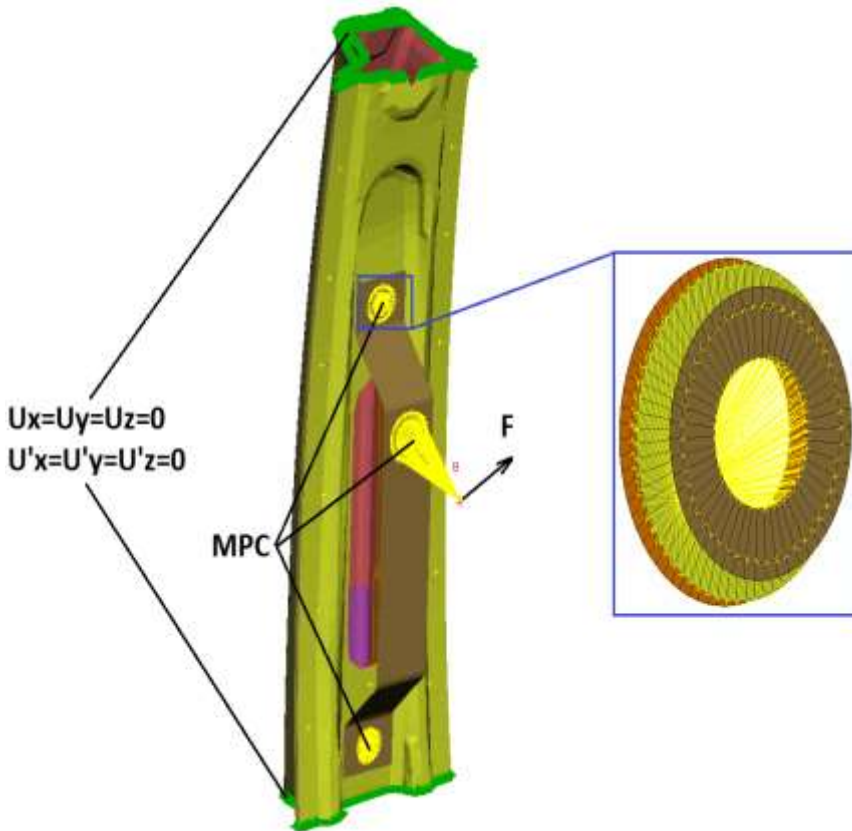
Деталь внутри
стойки кузова

- КЭ модель среднего болта

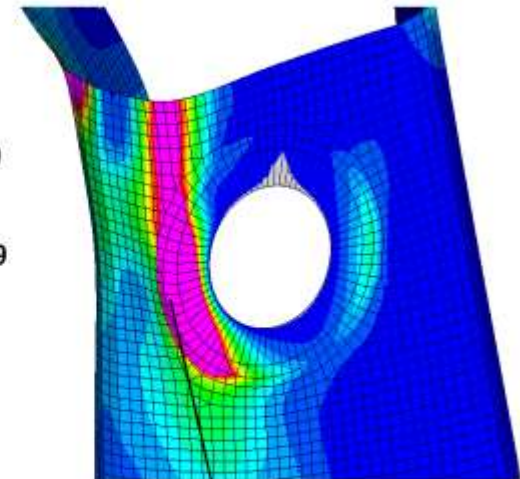
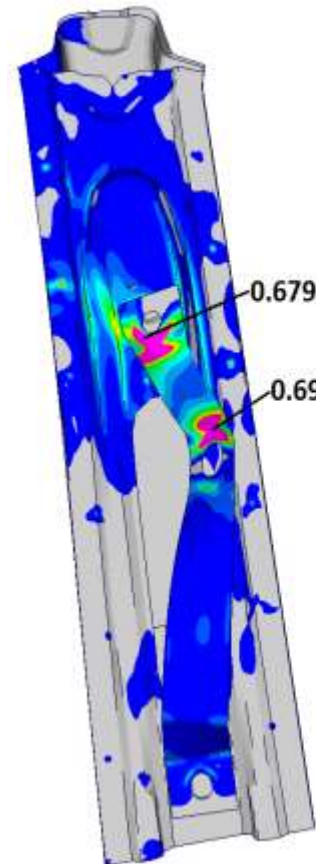


Замена болтовых соединений МРС связями

- Постановка задачи



- Распределение ε_{eqv}^{pl}



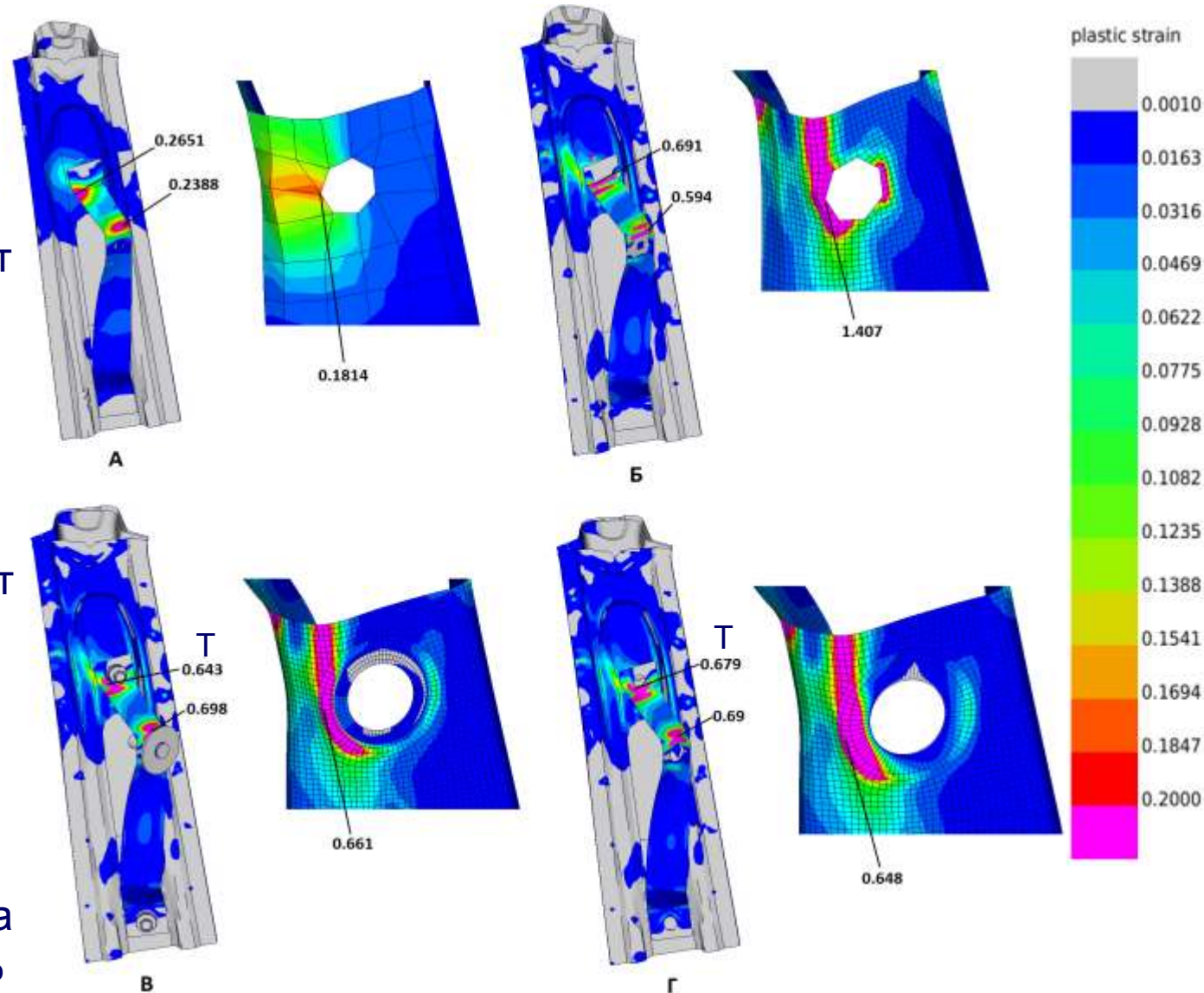
Деталь внутри
стойки кузова

- NFE – 134 025
- NN - 136 389
- NDF – 818 334
- Средний размер элементов – 1 мм
- Тип КЭ – S4R и S3R

Сравнение результатов

Распределение ε_{eqv}^{pl}

- А – заниженные значения ε_{eqv}^{pl}
- Б – простое измельчение сетки КЭ без изменения геометрии приводит к очень большим ε_{eqv}^{pl}
- В и Г – аккуратное моделирование геометрии и креплений приводит к уменьшению ε_{eqv}^{pl} более, чем в 2 раза
- максимальное расхождение наибольших ε_{eqv}^{pl} для случаев В и Г (точка Т) составляет 5.6 %





Разработанная методика испытаний

- На первом этапе решается динамическая задача растяжения РБ натяжными устройствами при использовании обрезанной части кузова в соответствии с правилами № 14 ЕЭК ООН. Определяются направления и значения усилий, действующие со стороны РБ на точки крепления. Определяются силы и моменты, возникающие между подушкой и металлическим каркасом сиденья в результате контактного взаимодействия растягивающего устройства с подушкой
- На втором этапе разрабатываются подробные КЭ модели частей кузова автомобиля, которые содержат места крепления ремня безопасности. Рекомендуемый размер элементов 1мм
- На третьем этапе проводятся статические испытания разработанных моделей при использовании эквивалентных сил и моментов, заменяющих действие РБ при его растяжении



Заключение

- для моделирования тестов были разработаны КЭ модели кузова автомобиля, водительского сиденья, ремня безопасности и растягивающего устройства
- была решена модельная задача изгиба балки П-образного сечения в динамической и статической постановках. Показана возможность перехода от решения динамической задачи к решению статической задачи
- Было проведено численное моделирование испытаний на прочность в соответствии с правилами №14 ЕЭК ООН и сравнение результатов тестов при использовании целого кузова и обрезанной части кузова. Была показана возможность замены действия ремней безопасности при их растяжении на действие сосредоточенных сил и моментов, а также возможность проведения испытаний в статической постановке
- было проведено исследование сходимости численного решения. Была показана возможность отдельного рассмотрения частей кузова автомобиля, содержащих места крепления ремней безопасности
- было проведено исследование влияния КЭ моделей креплений ремней безопасности на результаты испытаний
- была разработана новая методика численного моделирования испытаний на прочность мест креплений ремней безопасности в соответствии с правилами № 14 ЕЭК ООН



Спасибо за внимание!