



Разработка и модификация дополнительных элементов силового каркаса кузова легкового автомобиля и анализ их влияния на его параметры

Выполнил студент 63602/1
Руководитель, к.т.н., проф.
Соруководитель, вед. инж. ИПММ

С.В. Алексеев
А.И. Боровков
О.И. Клявин

Разработка современных автомобилей



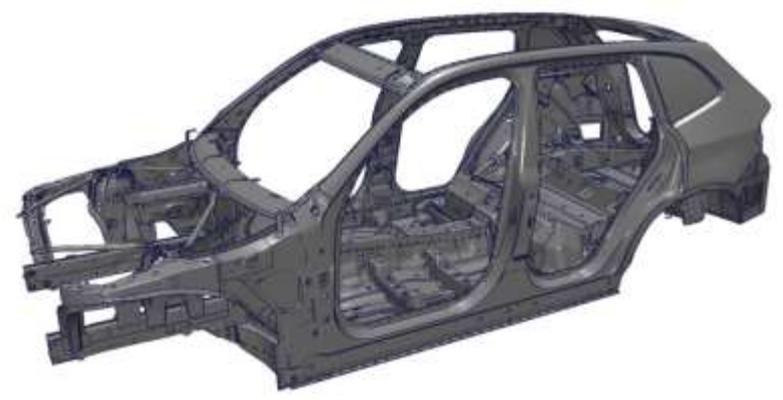
- Устойчивость и плавность хода
- Пассивная безопасность
- Активная безопасность
- Надежность и долговечность
- Прочность элементов
- Эргономичность конструкции
- Топливная экономичность
- Дизайн
и т.д.



Кузова легковых автомобилей



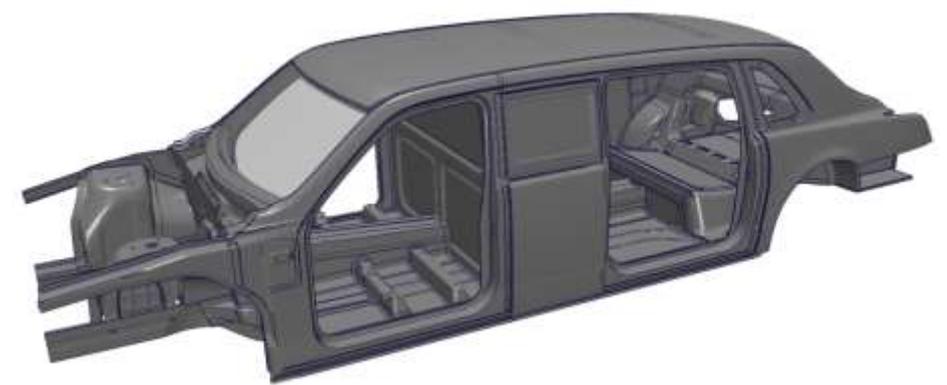
Кузов типа седан



Кузов типа хэтчбек

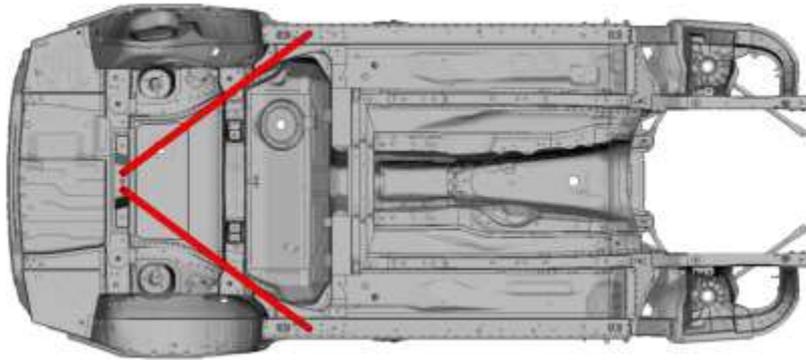


Кузов типа кабриолет

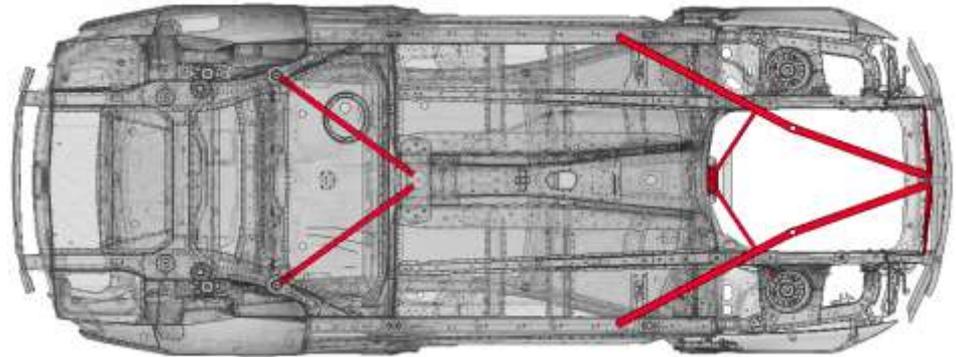


Кузов типа лимузин

Торсионные стабилизаторы



Торсионные стабилизаторы, предусмотренные производителем, кузов типа хэтчбек, вид снизу

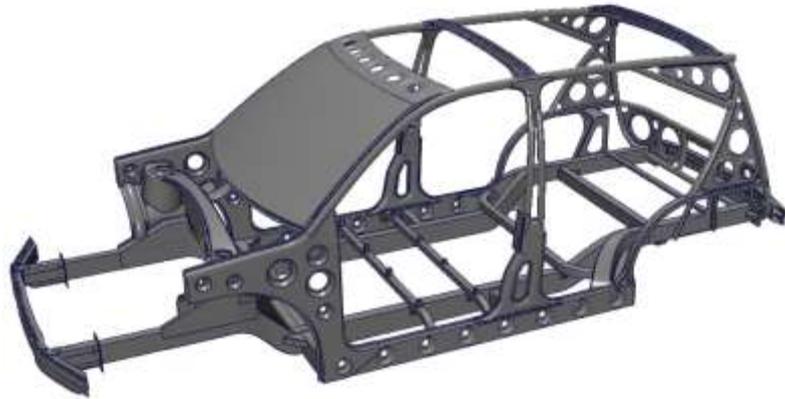


Торсионные стабилизаторы, предусмотренные производителем, кузов типа седан, вид снизу

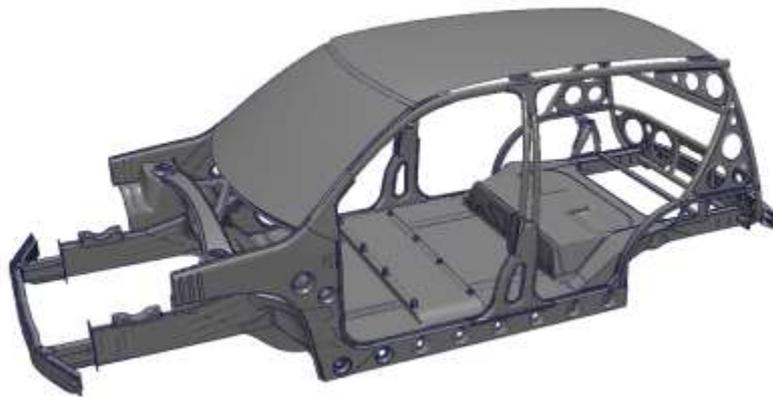


Торсионные стабилизаторы как элемент тюнинга

Объект и цель исследования



Кузов легкового автомобиля отечественного производства,
концептная стадия



Кузов легкового автомобиля отечественного производства,
стадия прототипирования

Цель исследования:

На концептной стадии

С целью повышения значения параметров жесткости разработать дополнительную конструкцию кузова состоящую из следующих дополнительных деталей:

- Подрамник
- Ниша багажника
- Торсионные стабилизаторы

На стадии прототипирования

Проверить влияние разработанной конструкции на исследуемые параметры прототипной модели

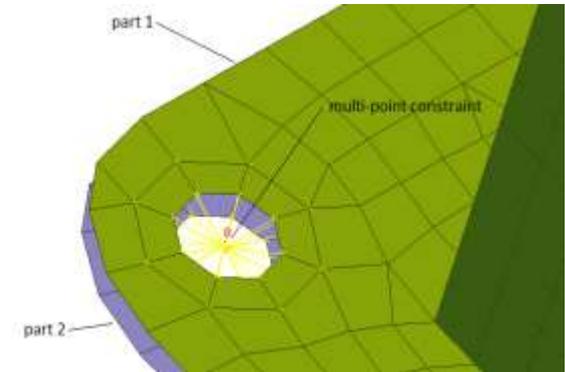
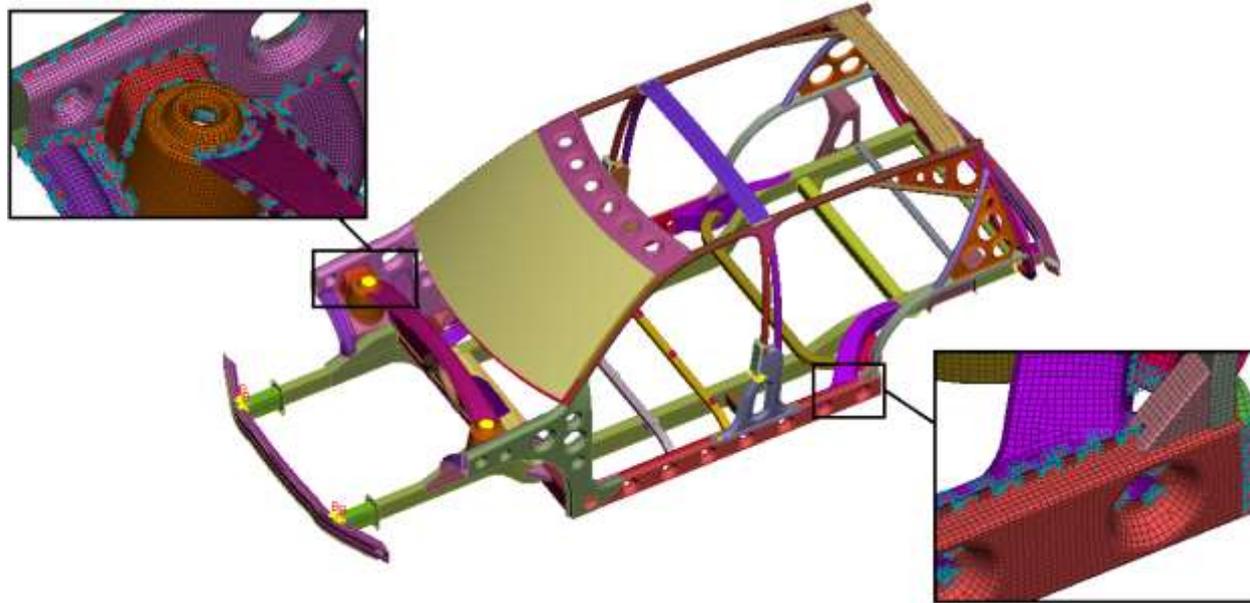
На стадии оценки пассивной безопасности

Проверить влияние разработанной конструкции на параметры пассивной безопасности



Модель, предназначенная для проведения виртуального краш-теста и оценки пассивной безопасности

КЭ модель кузова автомобиля, концепт стадия



- 434559 четырехугольных элементов типа SHELL
- 8886 треугольных элементов типа SHELL
- 36 соединений типа недеформируемая связь, моделирующих болтовые соединения
- 2177 сварных и клеевых соединений, моделируемых при помощи 4609 твердотельных элементов и 27002 не вносящих дополнительных жесткостей связей
- 10 материалов, масса – 227.072 кг

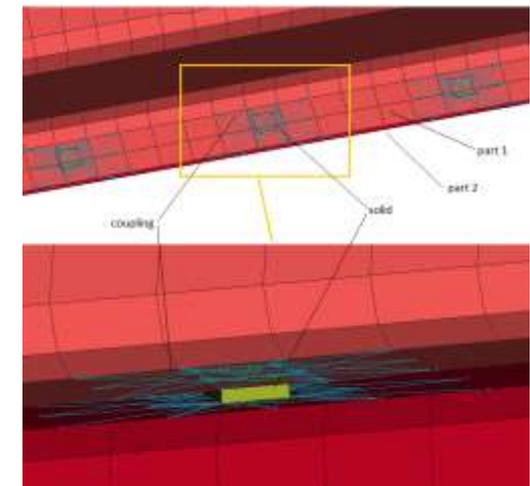
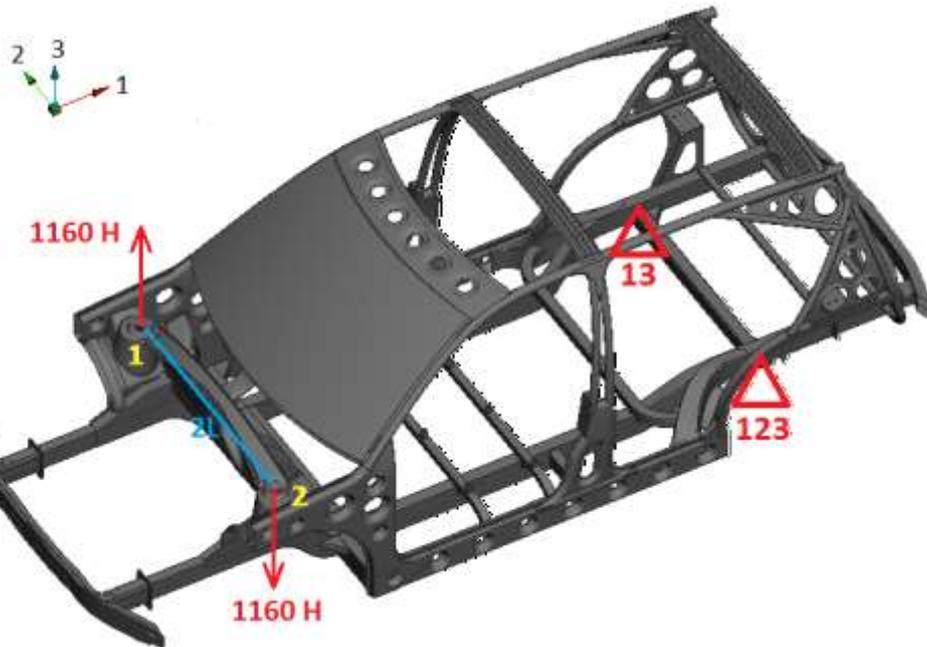


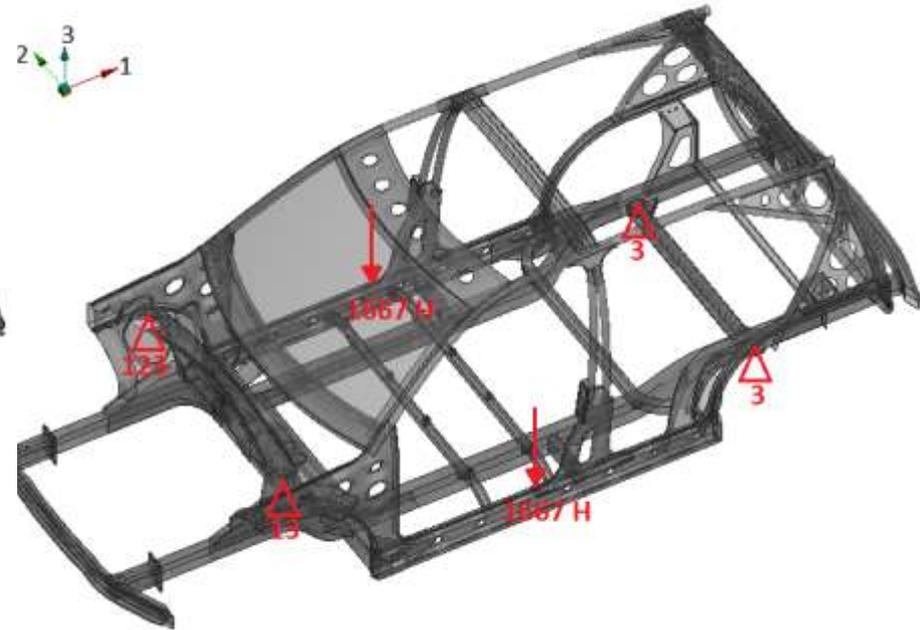
Схема проведения испытаний на жесткость



Граничные условия и нагрузки для расчета крутильной жесткости

- наложение запрета перемещений по определенным направлениям на опоры пружины задней подвески
- приложение одинаковых по значению, но противоположных направлению сил на опоры пружины амортизационной стойки

$$c = \frac{2Fl}{\arctg\left(\frac{w1 - w2}{2l}\right)}$$

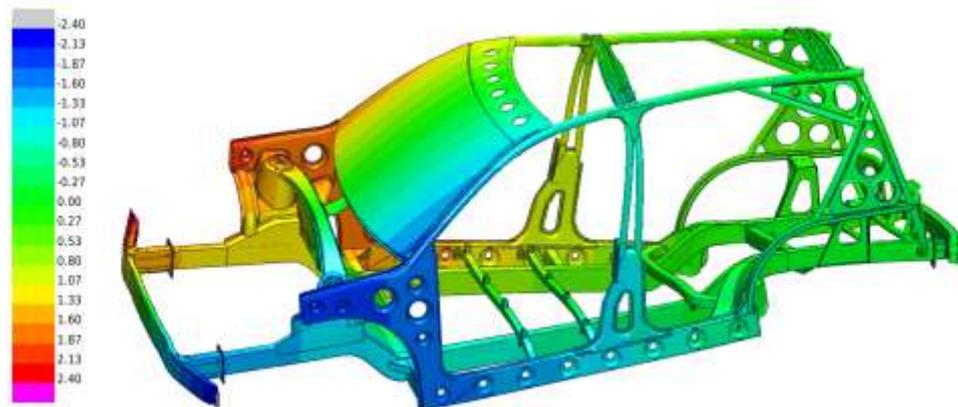


Граничные условия и нагрузки для расчета изгибной жесткости

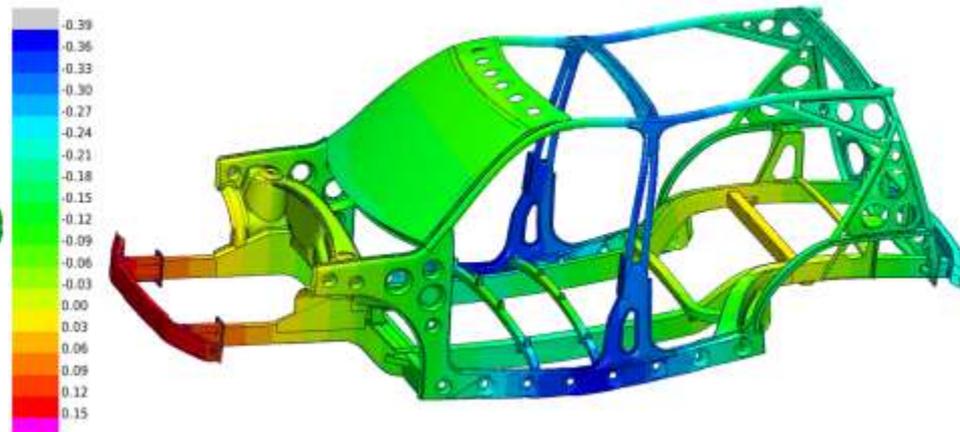
- наложение запрета перемещений по определенным направлениям на все 4 опоры
- приложение двух вертикальных сил на середине расстояния между передними и задними опорами

$$c = \frac{F}{U}$$

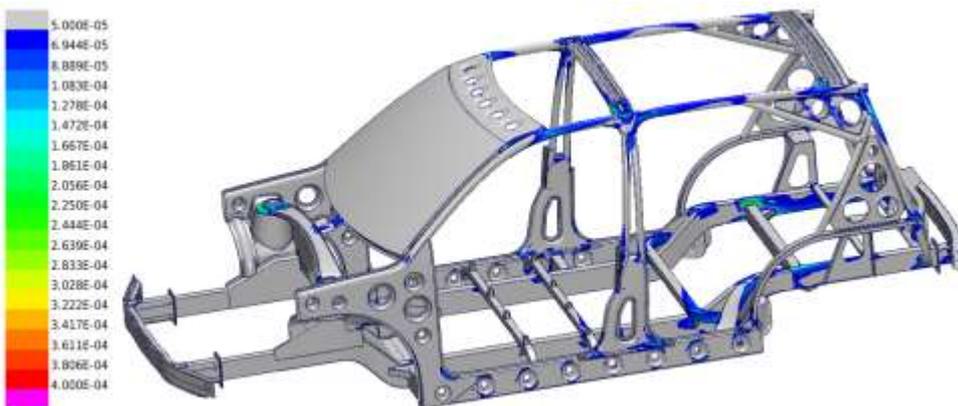
Результаты моделирования испытаний на жесткость



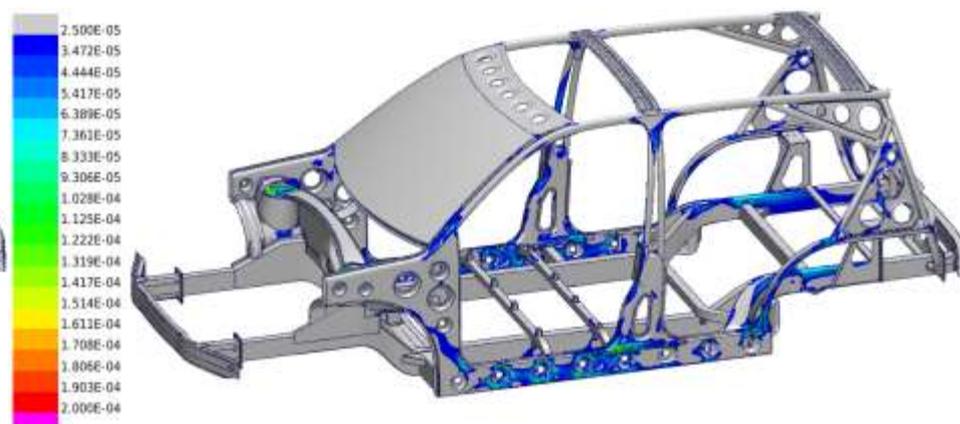
Распределение вертикальных перемещений, мм



Распределение вертикальных перемещений, мм



Распределение главных максимальных деформаций

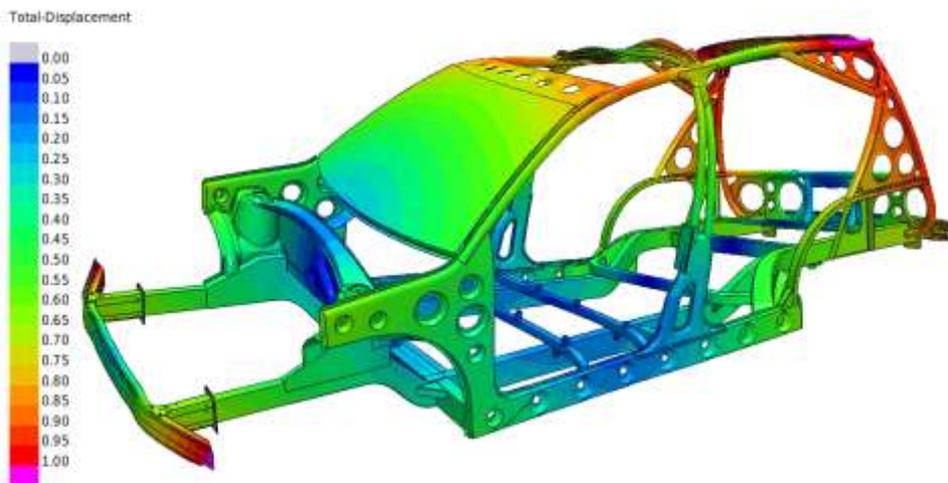
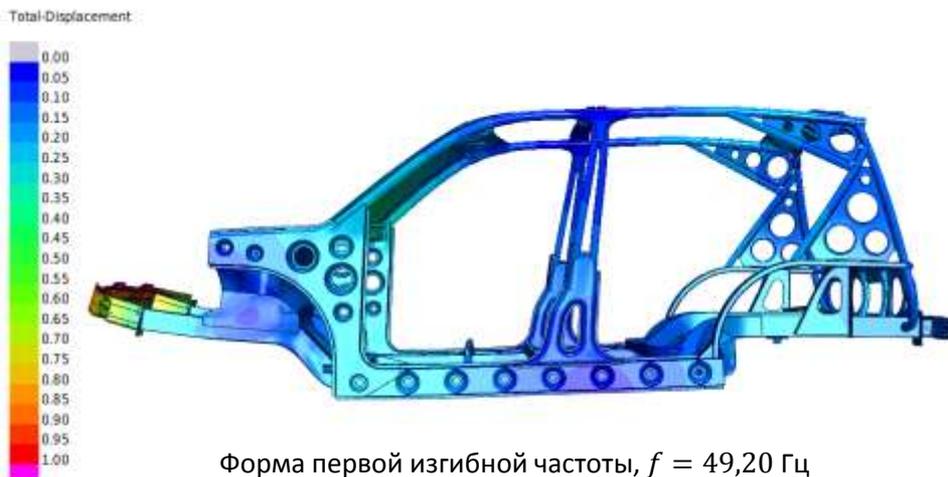


Распределение главных максимальных деформаций

Крутильная жесткость кузова: $c = 8556 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{град}}$

Изгибная жесткость кузова: $c = 5835 \text{ Н/мм}$

Собственные частоты и собственные формы кузова



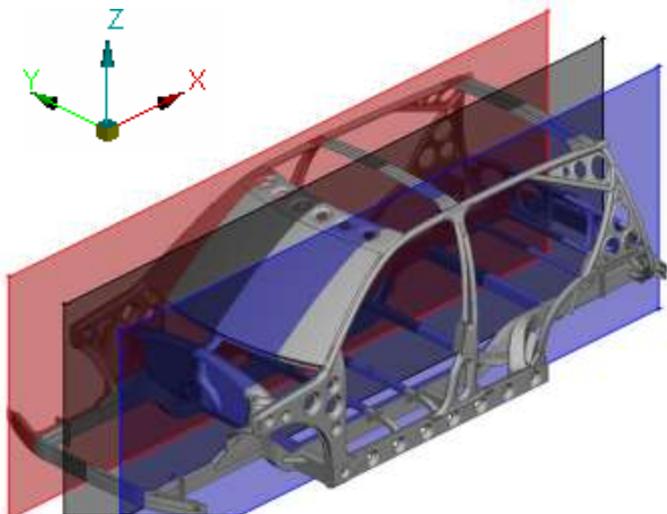
State: 2 Degrees - 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 7: Value = 37432. Freq = 30.792 (cycles/time)

State: 2 Degrees - 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 15: Value = 1.87309E+05 Freq = 68.881 (cycles/time)

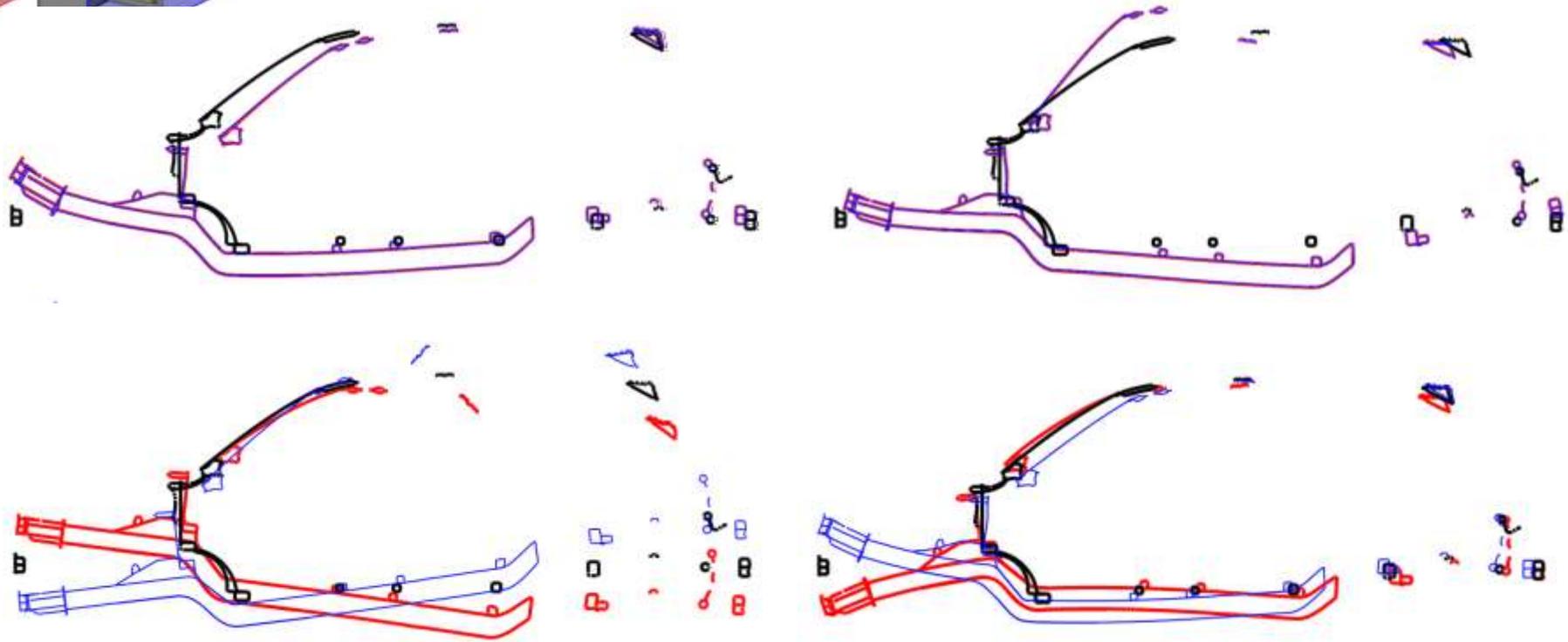
Форма первой крутильной частоты, $f = 30,79$ Гц

Форма второй крутильной частоты, $f = 68,88$ Гц

Определение типа частоты



- Среднее сечение, недеформированное состояние
- $y = 448$ мм, деформированное состояние
- $y = -448$ мм, деформированное состояние



Разработка модели подрамника



КЭ модель подрамника

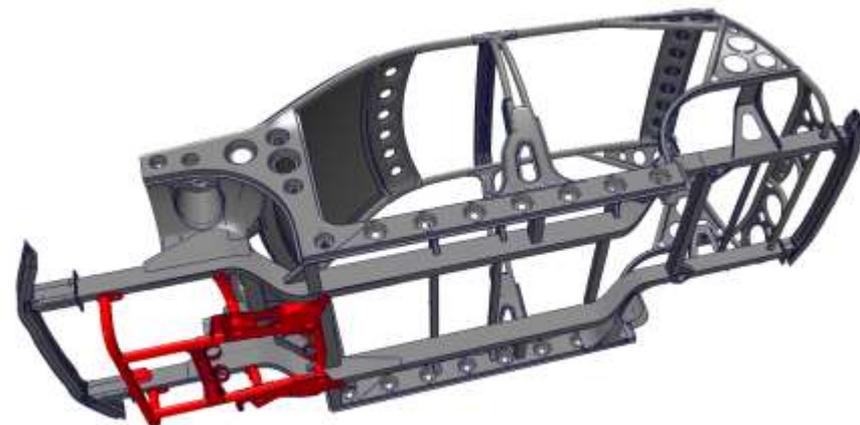
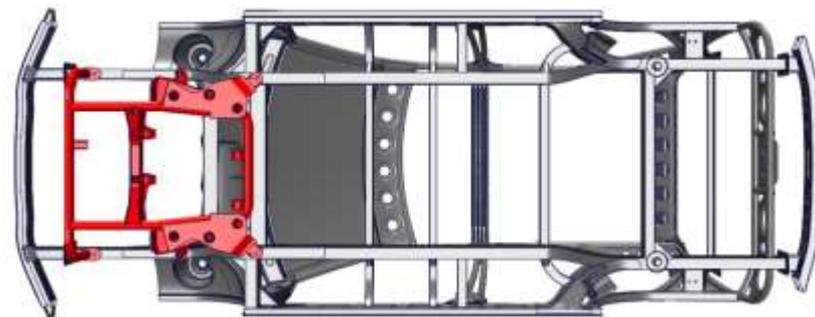
- 20538 четырехугольных элементов типа SHELL
- 743 треугольных элементов типа SHELL

Масса подрамника -16,826 кг

10 жестких связей (моделирование болтов) для присоединения к кузову

Задача:

Оценить влияние подрамника на исследуемые параметры



Разработка модели ниши багажника



КЭ модель ниши багажника

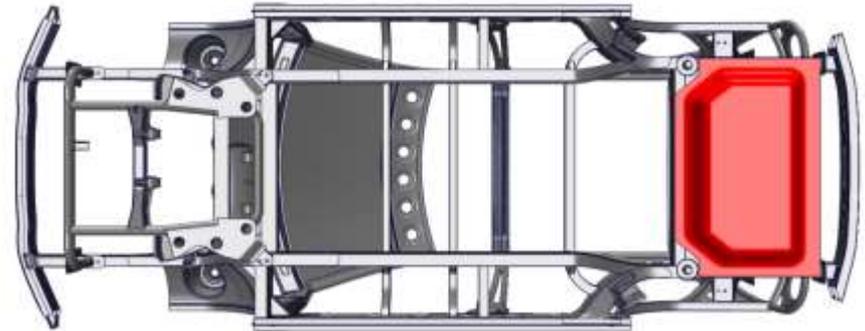
- 13422 четырехугольных элементов типа SHELL
- 167 треугольных элементов типа SHELL

Масса ниши багажника - 10,124 кг

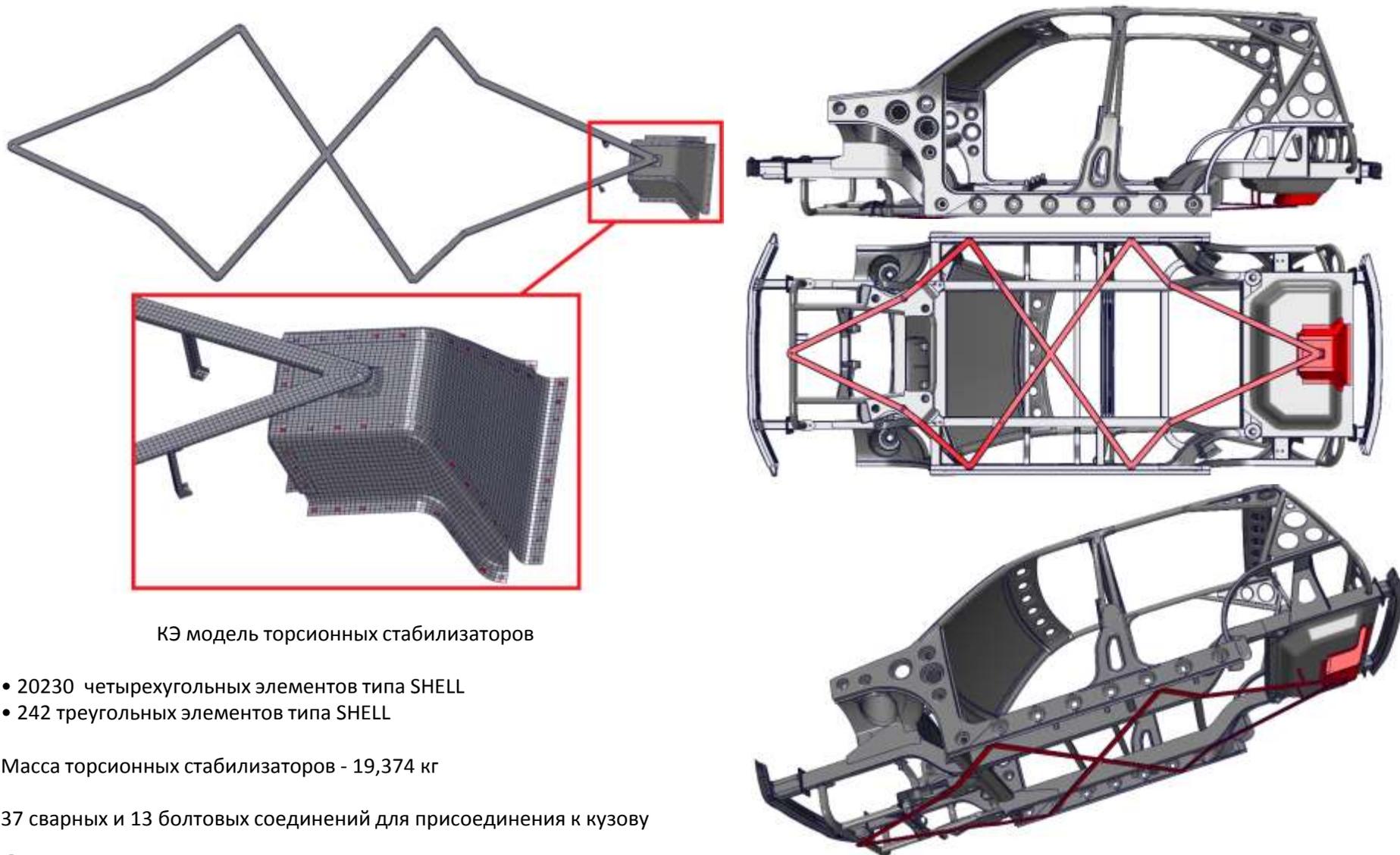
58 сварных соединений для присоединения к кузову

Задача:

Оценить влияние ниши багажника на исследуемые параметры



Разработка модели торсионных стабилизаторов



КЭ модель торсионных стабилизаторов

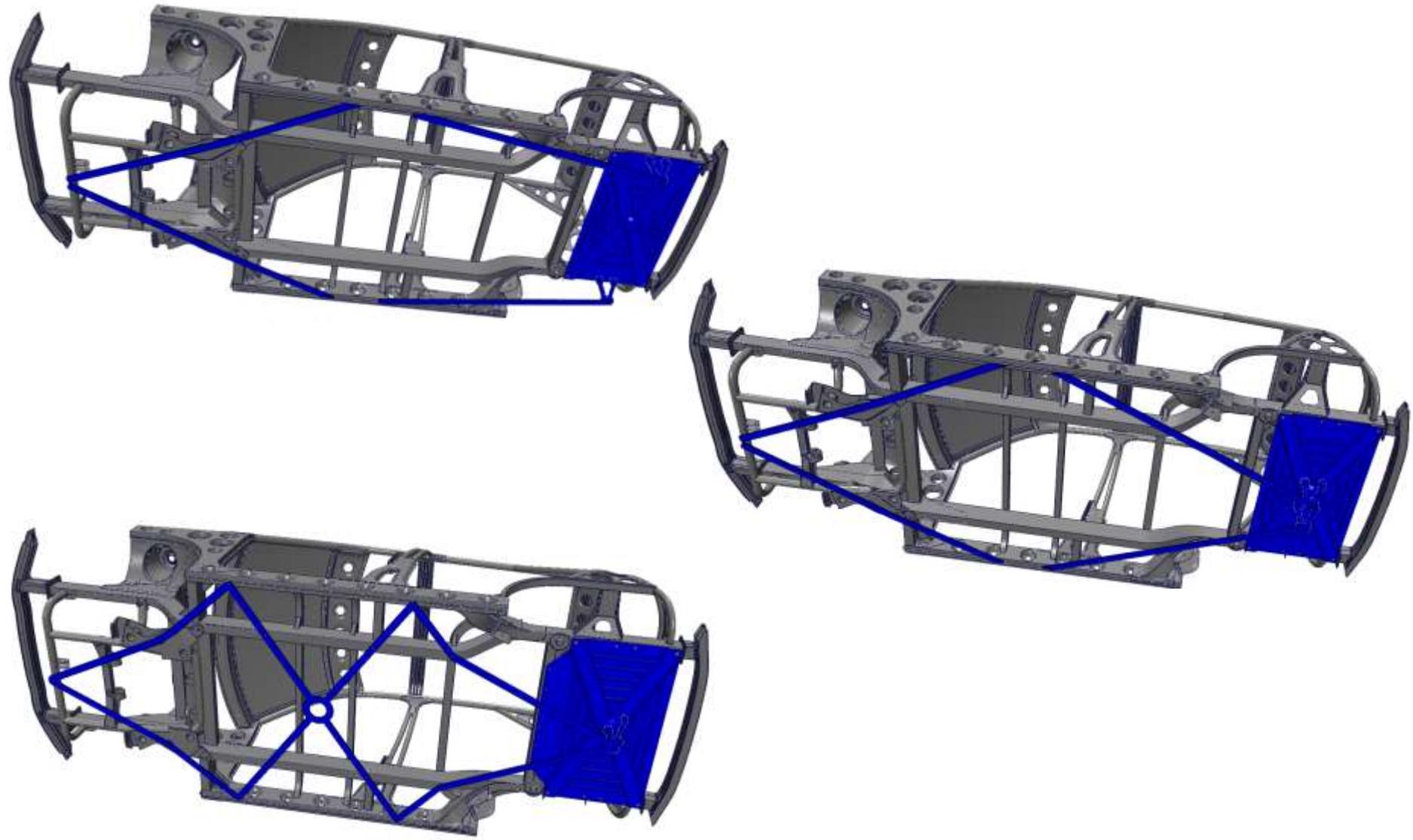
- 20230 четырехугольных элементов типа SHELL
- 242 треугольных элементов типа SHELL

Масса торсионных стабилизаторов - 19,374 кг

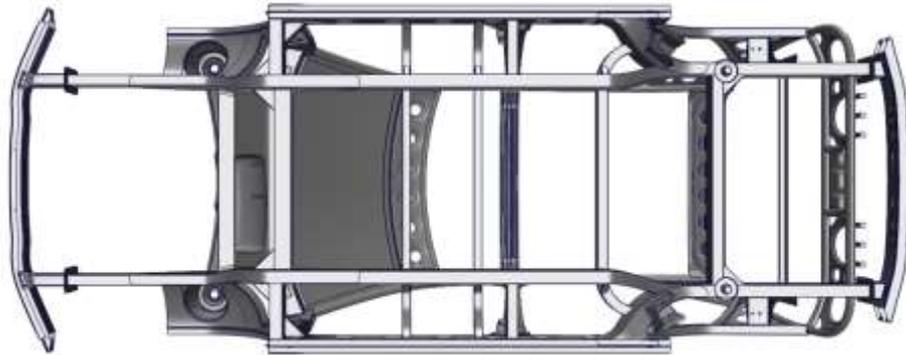
37 сварных и 13 болтовых соединений для присоединения к кузову

Задача:
Оценить влияние торсионных стабилизаторов на исследуемые параметры

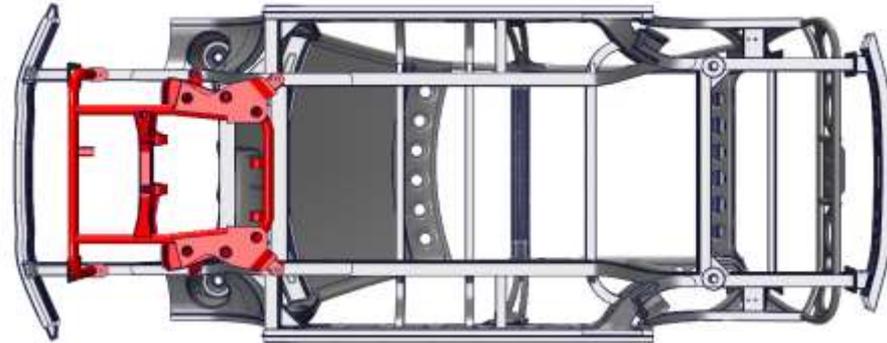
Примеры рассмотренных конфигураций



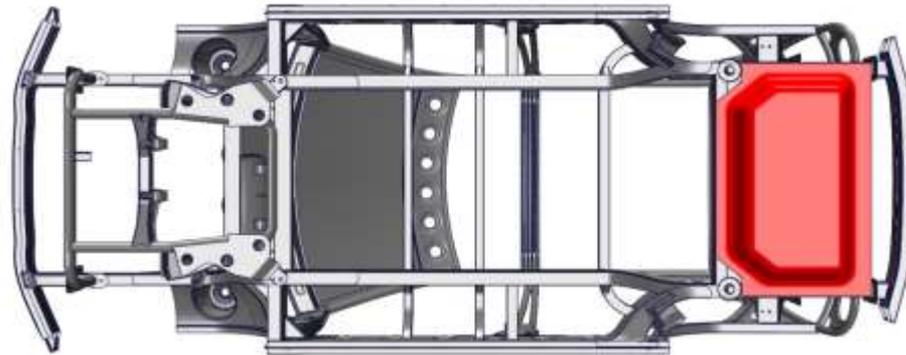
Конструкции для сравнения



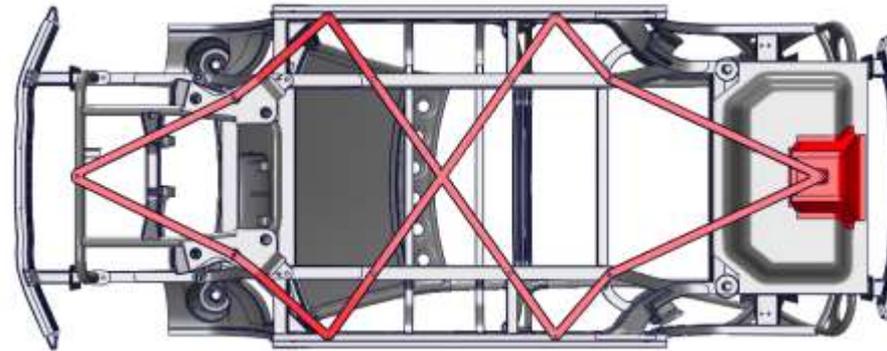
Конфигурация 1



Конфигурация 2

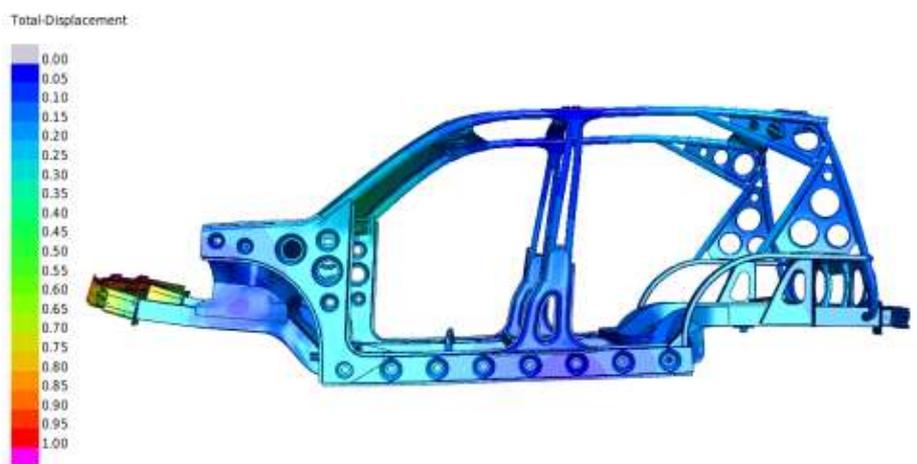


Конфигурация 3



Конфигурация 4

Первая изгибная частота



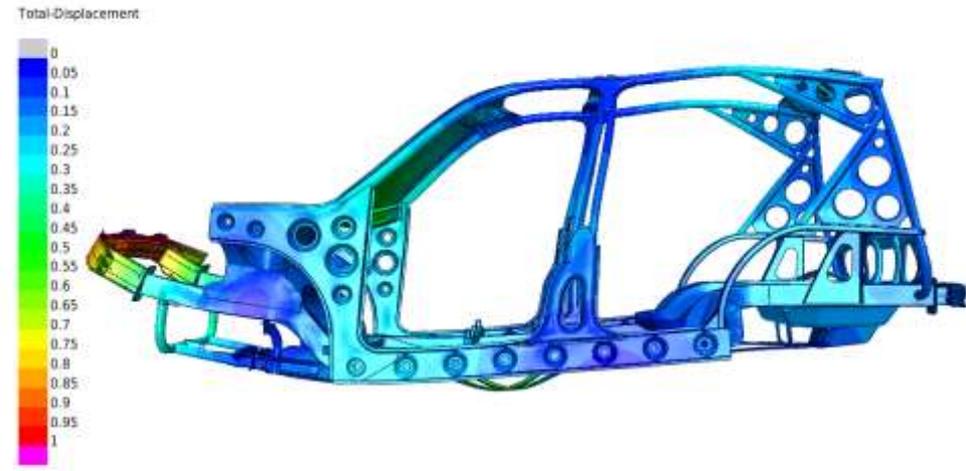
Конфигурация 1, $f = 49,20$ Гц



Конфигурация 2, $f = 50,59$ Гц



Конфигурация 3, $f = 50,51$ Гц

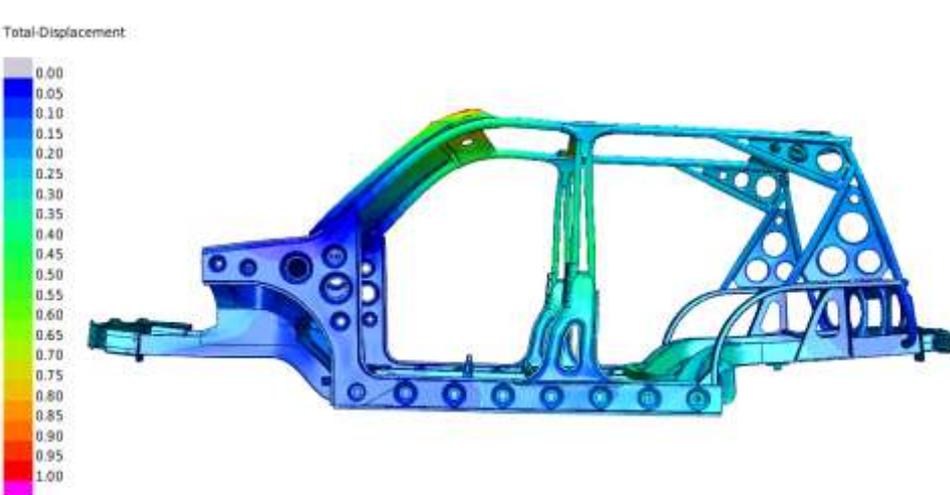


Конфигурация 4, $f = 50,45$ Гц

State: 19 Degrees 340.000: AnonymousSTEP1 at Mode 12: Value = 1.00746E+05 Freq = 50.517 (cycles/time)

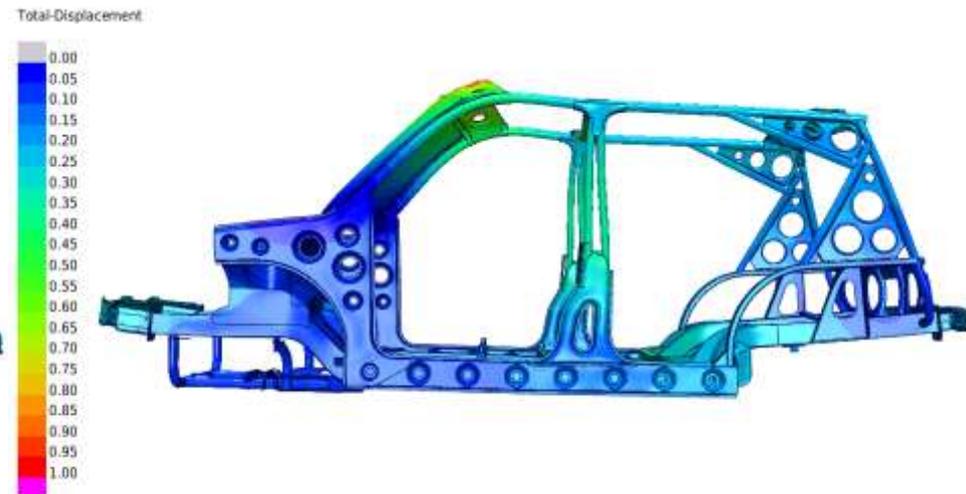
State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 10: Value = 1.00498E+05 Freq = 50.454 (cycles/time)

Вторая изгибная частота



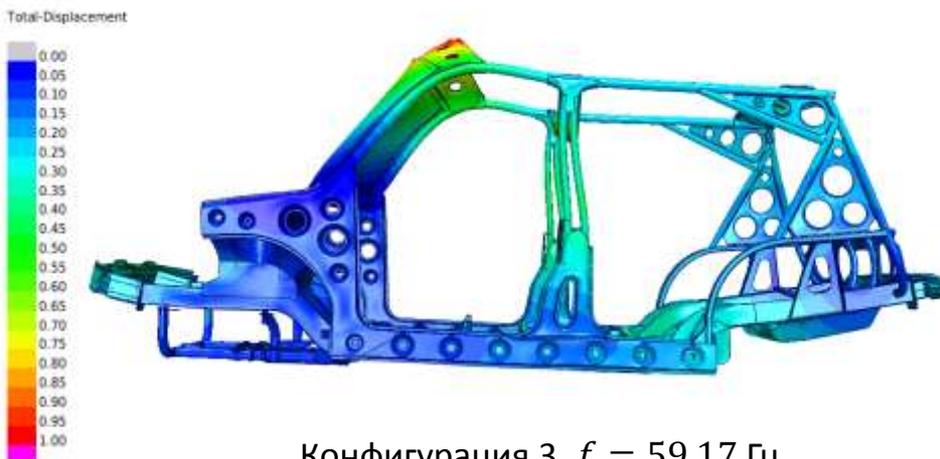
Конфигурация 1, $f = 59,62$ Гц

State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 14: Value = 1.40311E+05 Freq = 59.616 (cycles/time)



Конфигурация 2, $f = 59,65$ Гц

State: 19 Degrees 340.000: AnonymousSTEP1 at Mode 14: Value = 1.40483E+05 Freq = 59.653 (cycles/time)



Конфигурация 3, $f = 59,17$ Гц

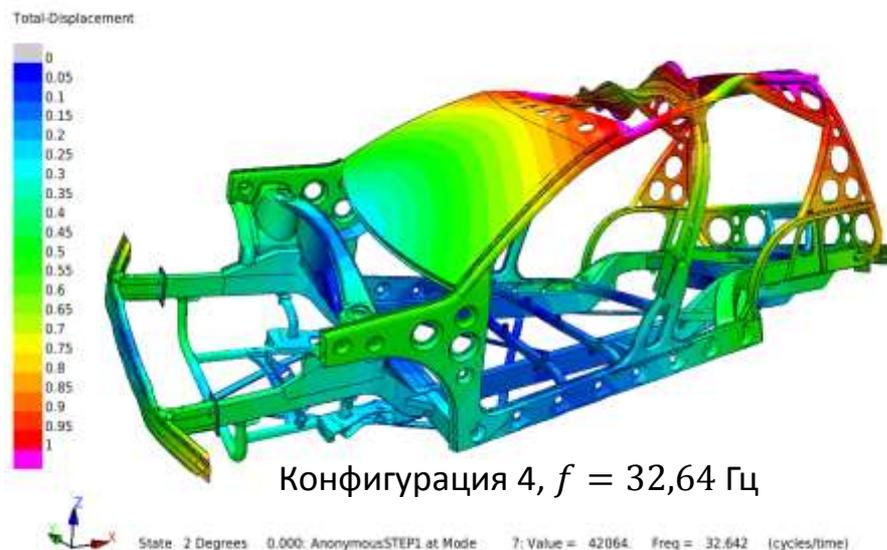
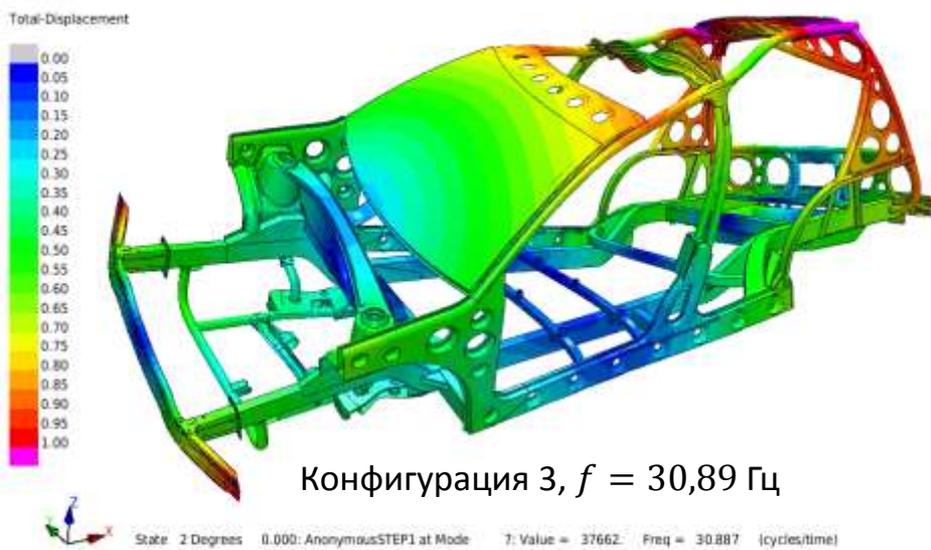
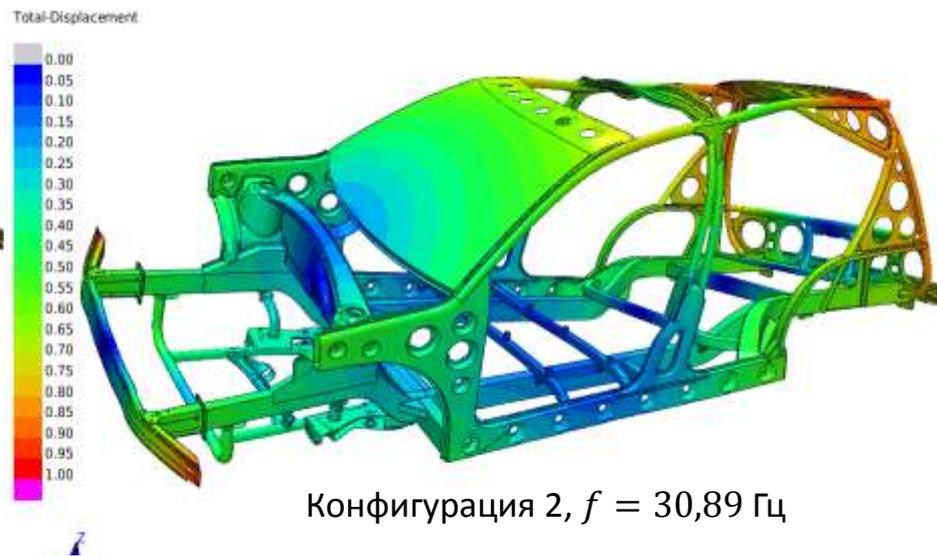
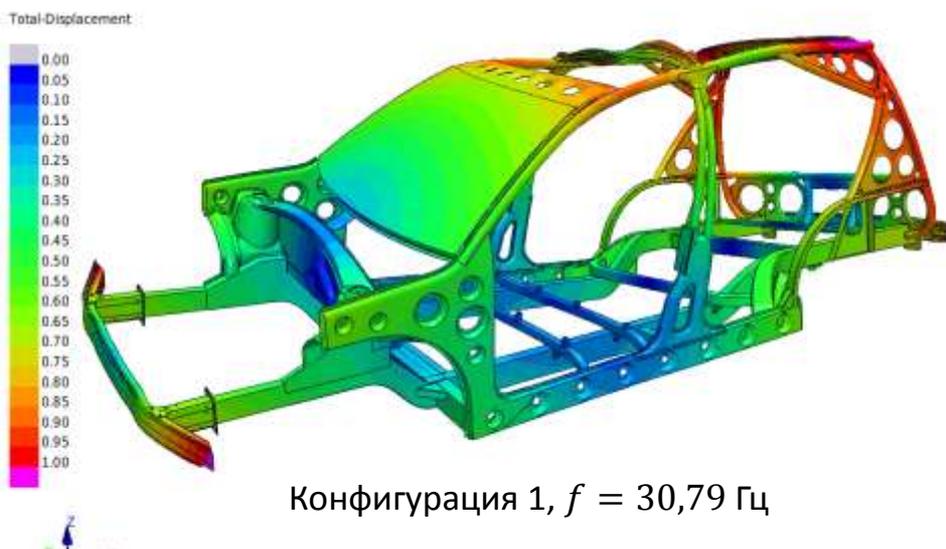
State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 14: Value = 1.38229E+05 Freq = 59.172 (cycles/time)



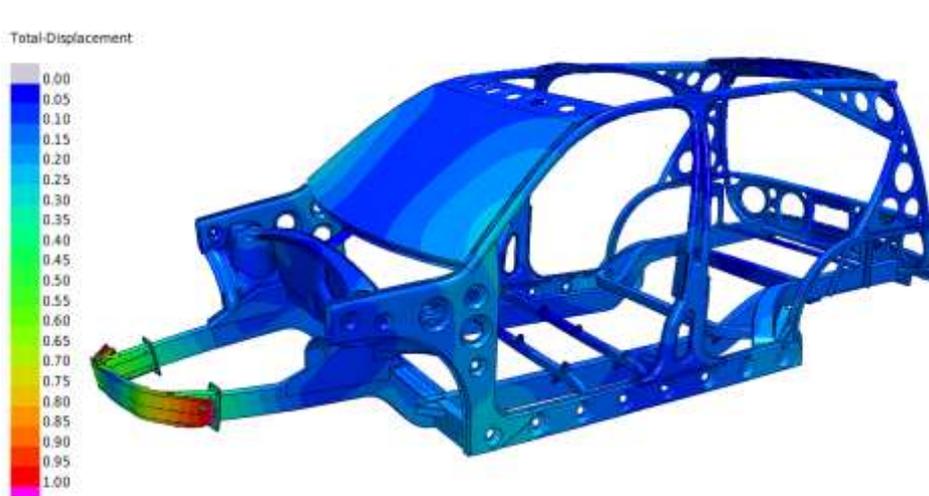
Конфигурация 4, $f = 64,31$ Гц

State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 13: Value = 1.63296E+05 Freq = 64.314 (cycles/time)

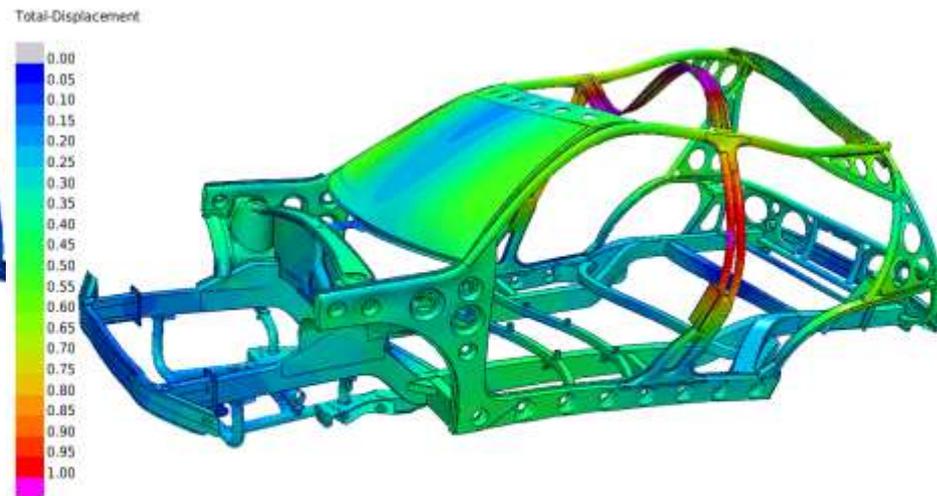
Первая крутильная частота



Вторая крутильная частота



Конфигурация 1, $f = 68,88$ Гц



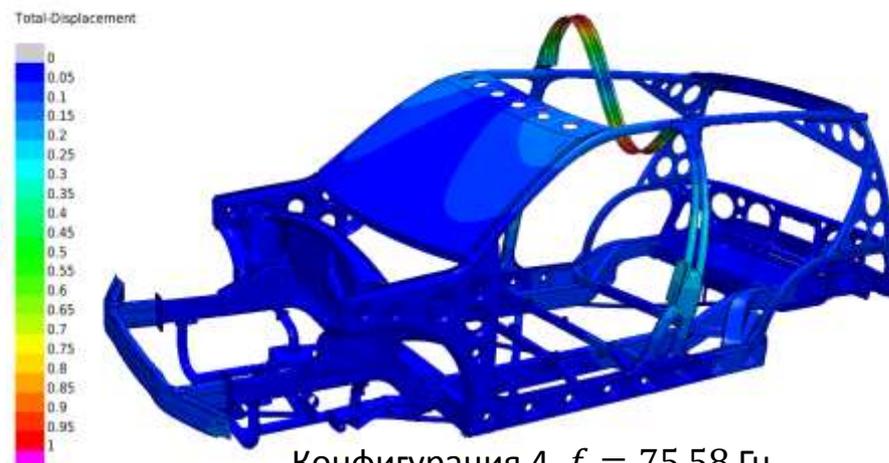
Конфигурация 2, $f = 71,34$ Гц

State: 5 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 16: Value = 1.87305E+05 Freq = 68.888 (cycles/time)

State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 15: Value = 2.00937E+05 Freq = 71.343 (cycles/time)



Конфигурация 3, $f = 72,64$ Гц



Конфигурация 4, $f = 75,58$ Гц

State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 17: Value = 2.08312E+05 Freq = 72.640 (cycles/time)

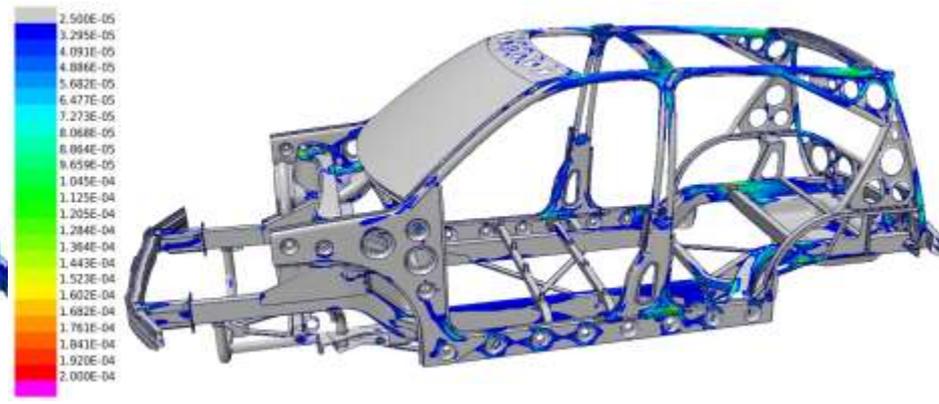
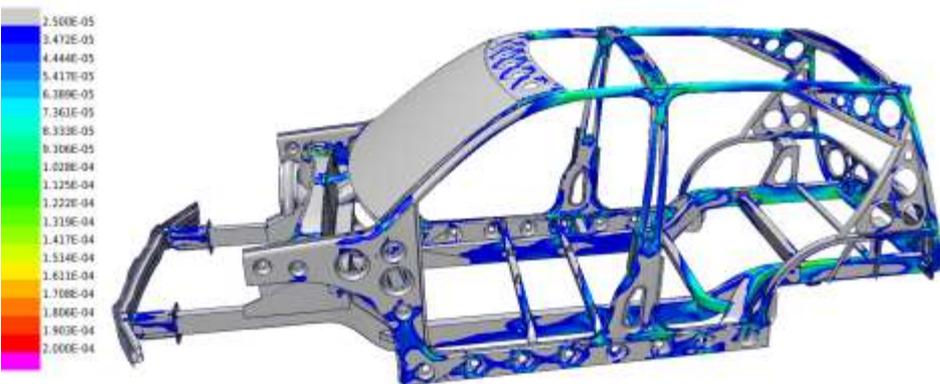
State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 15: Value = 2.25309E+05 Freq = 75.579 (cycles/time)

Крутильная жесткость

Конфигурация 1



Конфигурация 4

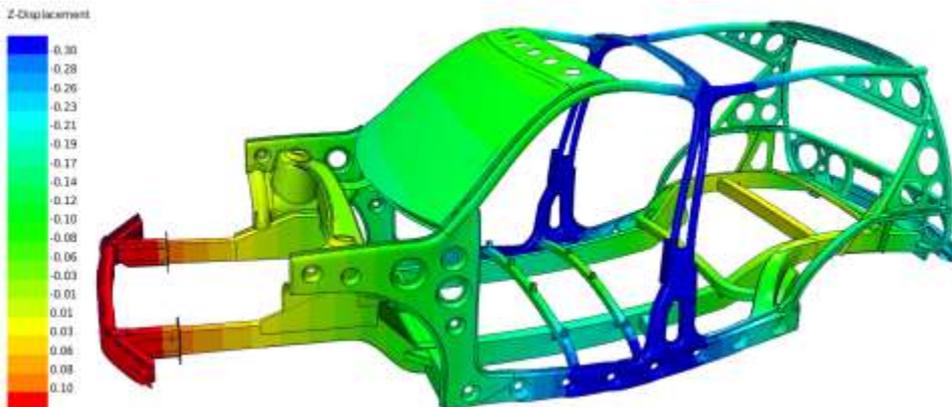


Крутильная жесткость кузова: $c = 8556 \text{ Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{град}}$

Крутильная жесткость кузова: $c = 13595 \text{ Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{град}}$

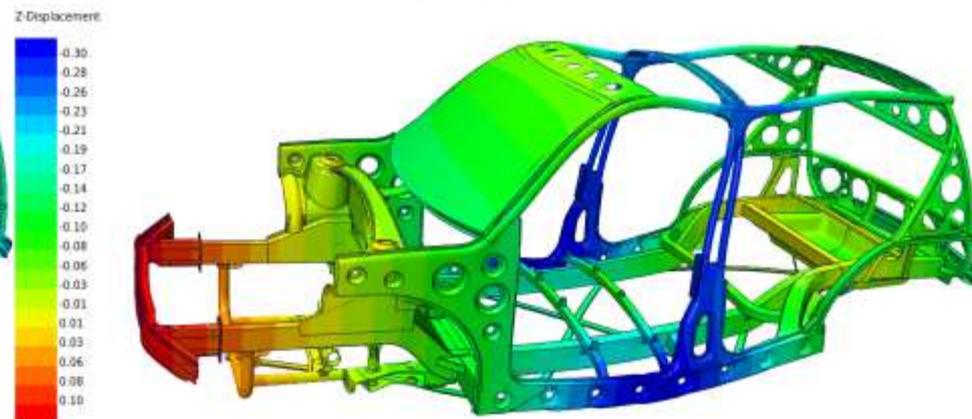
Изгибная жесткость

Конфигурация 1

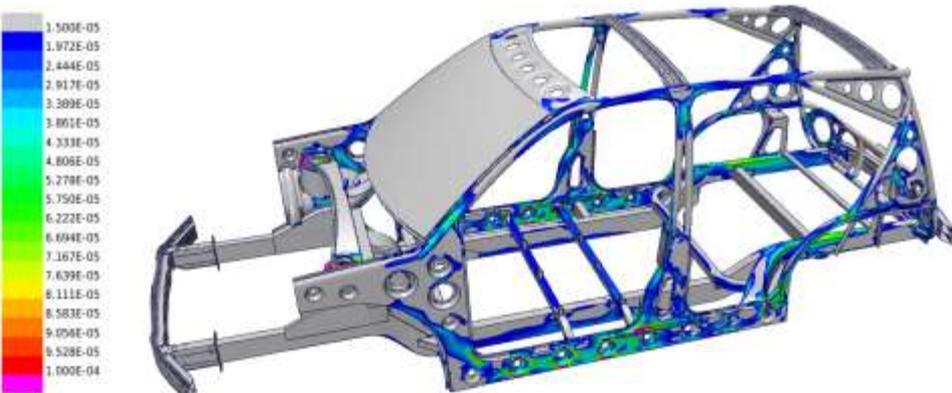


Распределение вертикальных перемещений, мм

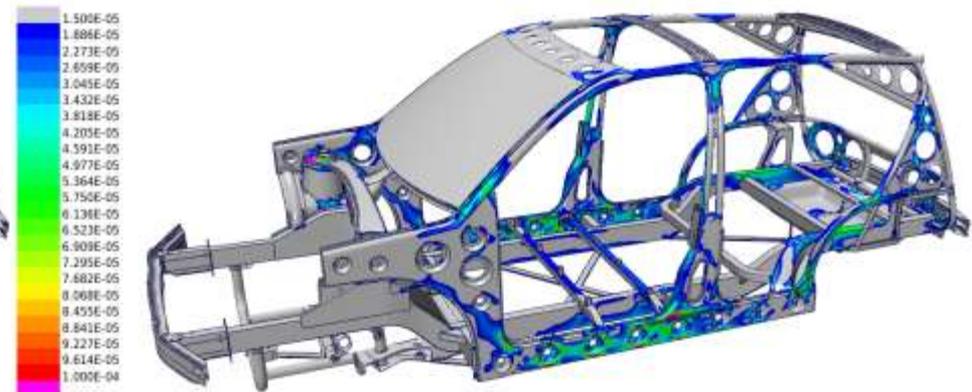
Конфигурация 4



Распределение вертикальных перемещений, мм



Распределение главных максимальных деформаций



Распределение главных максимальных деформаций

Изгибная жесткость кузова: $c = 5835$ Н/мм

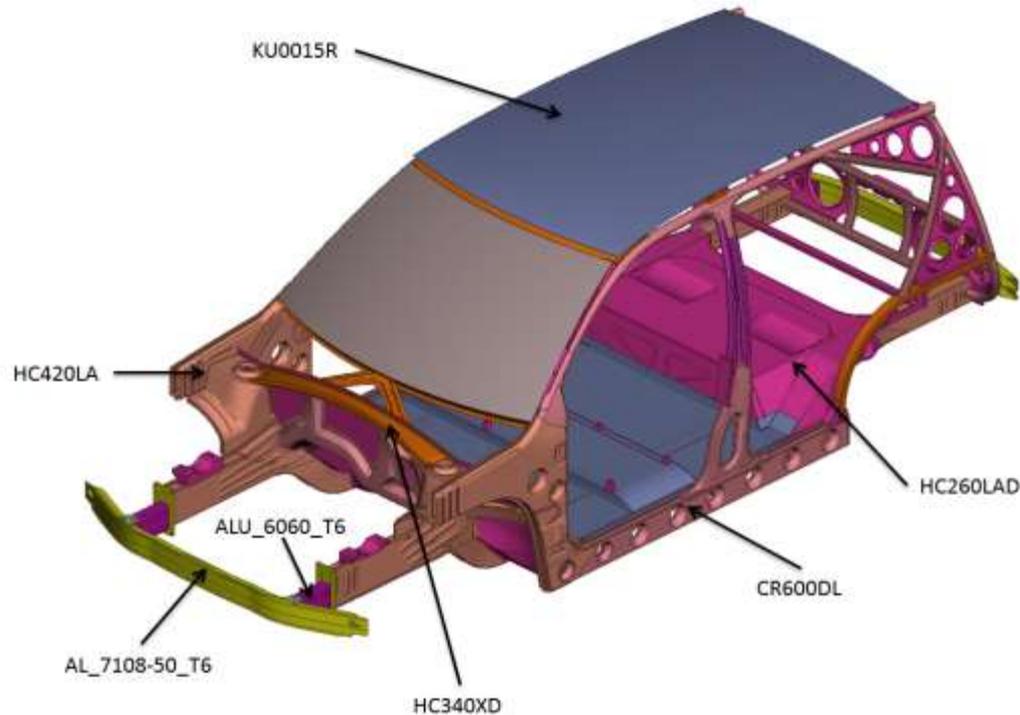
Изгибная жесткость кузова: $c = 6398$ Н/мм

Сравнение значений исследуемых параметров

	Первая изгибная	Вторая изгибная	Первая крутильная	Вторая крутильная
Конфигурация 1	49,20 Гц	59,62 Гц	30,79 Гц	68,88 Гц
Конфигурация 2	50,59 Гц	59,65 Гц	30,89 Гц	71,34 Гц
Конфигурация 3	50,52 Гц	59,18 Гц	30,89 Гц	72,64 Гц
Конфигурация 4	50,45 Гц	64,31 Гц	32,64 Гц	75,58 Гц
Изменение	2,7 %	7,9 %	5,8 %	9,7 %

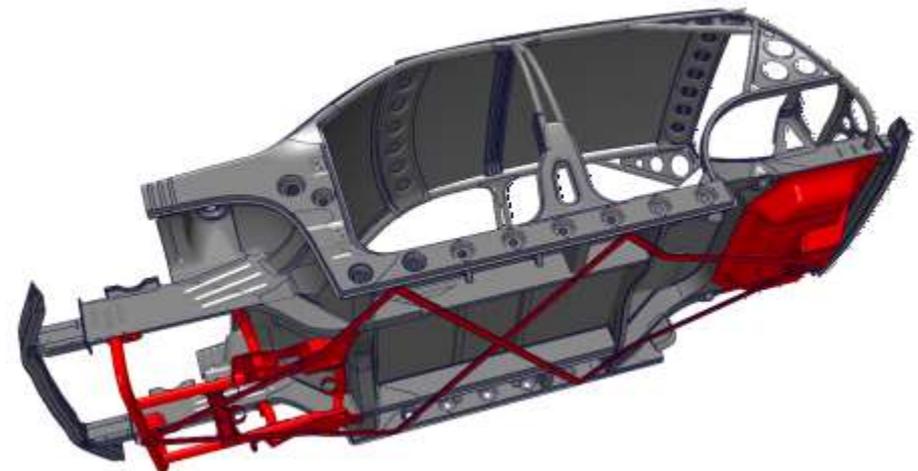
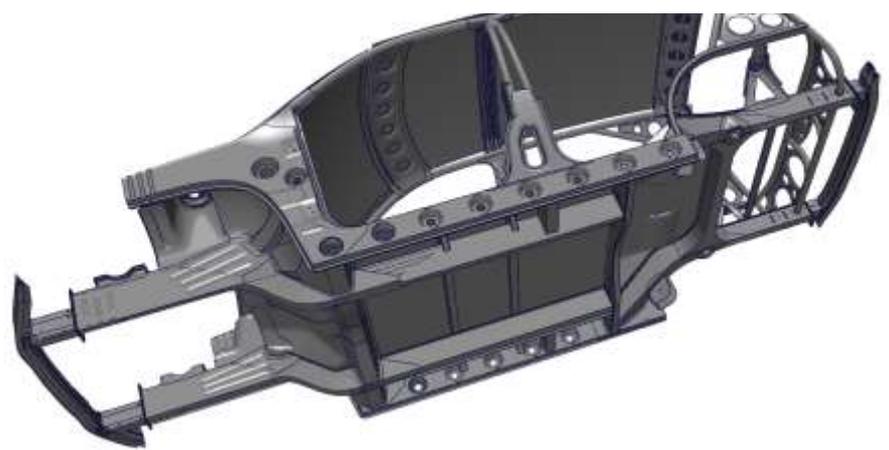
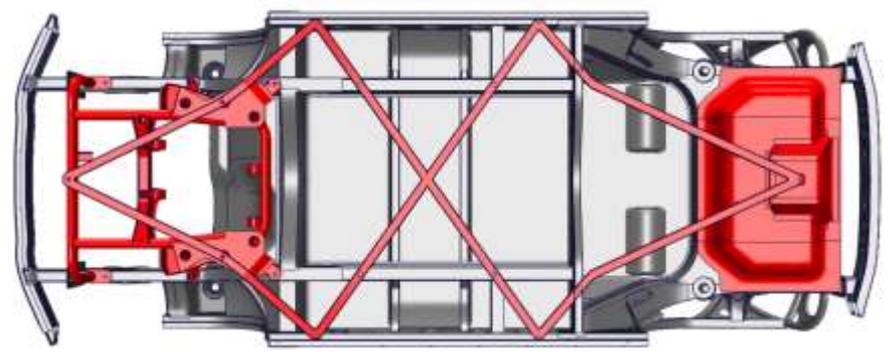
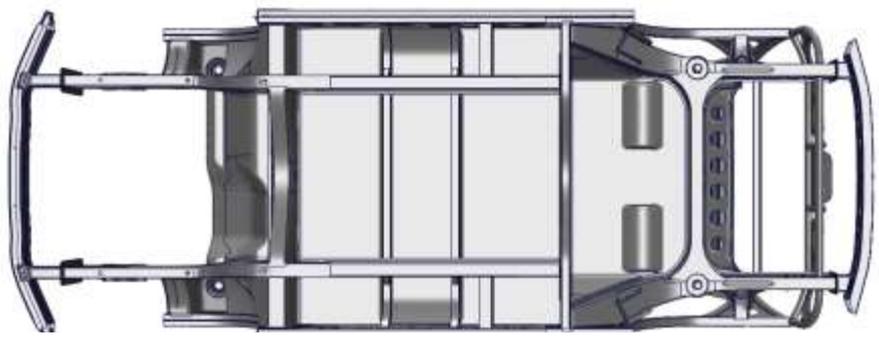
	Крутильная жесткость	Вторая изгибная
Конфигурация 1	$8556 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{град}}$	$5835 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$
Конфигурация 2	$8825 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{град}}$	$5864 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$
Конфигурация 3	$9196 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{град}}$	$5974 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$
Конфигурация 4	$13595 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{град}}$	$6398 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$
Изменение	58,9 %	9,6 %

КЭ модель кузова автомобиля, стадия прототипирования



- 574465 четырехугольных элементов типа SHELL
- 181 соединений типа недеформируемая связь, моделирующих болтовые соединения
- 3312 сварных и клеевых соединений, моделируемых при помощи 8015 твердотельных элементов и 27002 не вносящих дополнительных жесткостей связей
- 16 материалов, масса – 299.46 кг

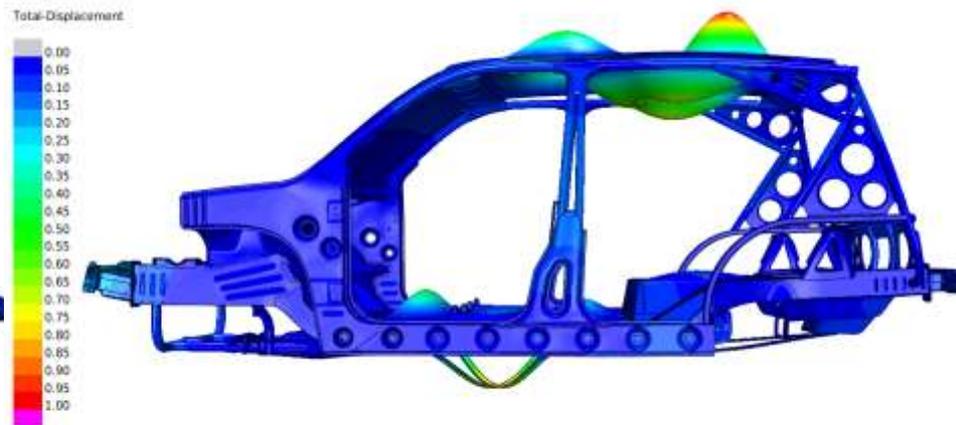
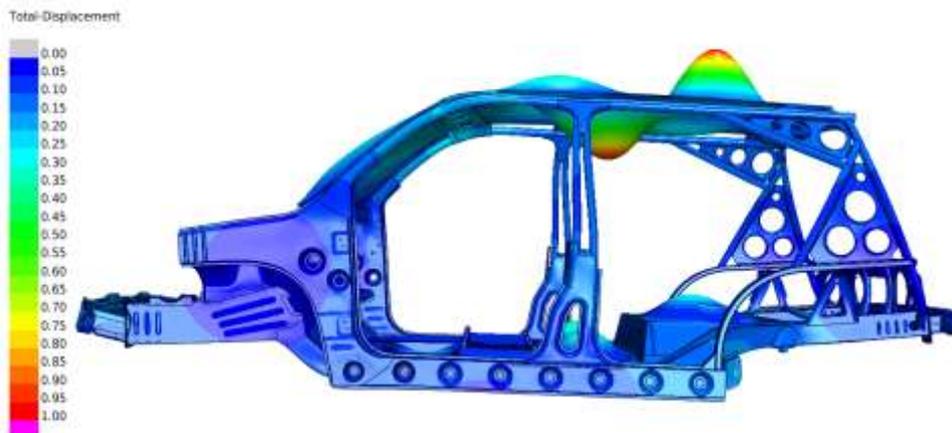
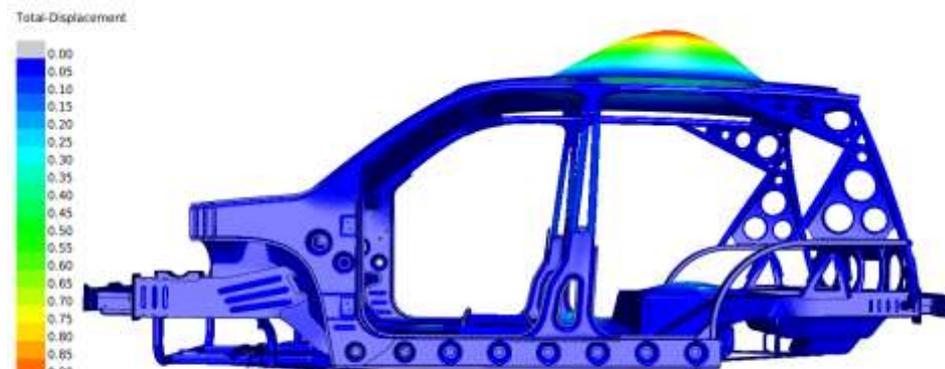
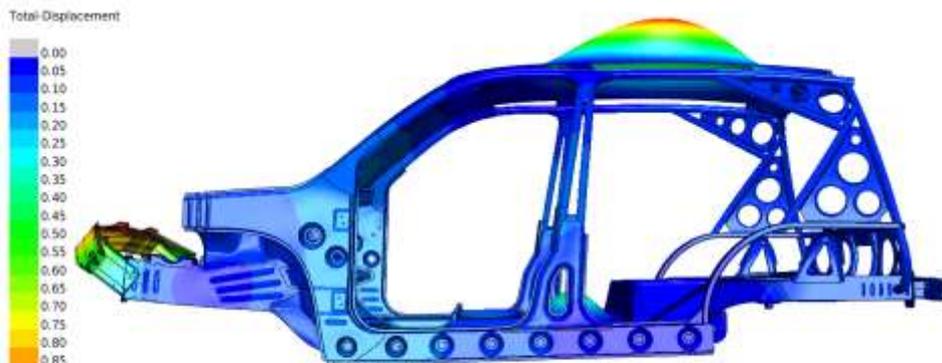
Модификация конструкции



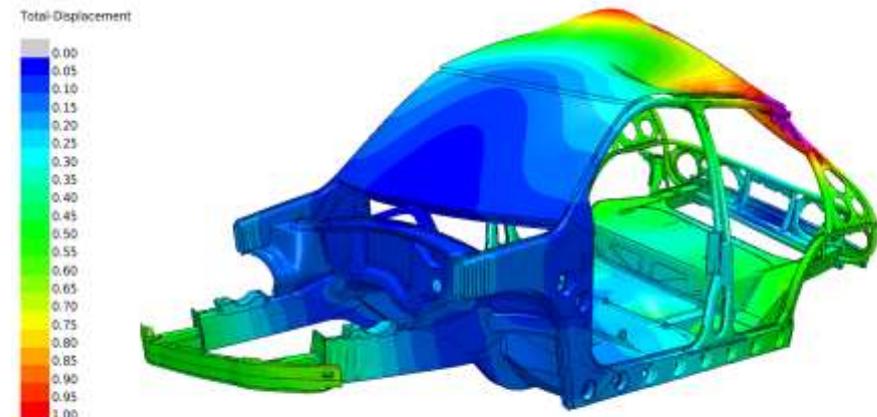
Прототипная модель

Модифицированная прототипная модель

Изгибные частоты

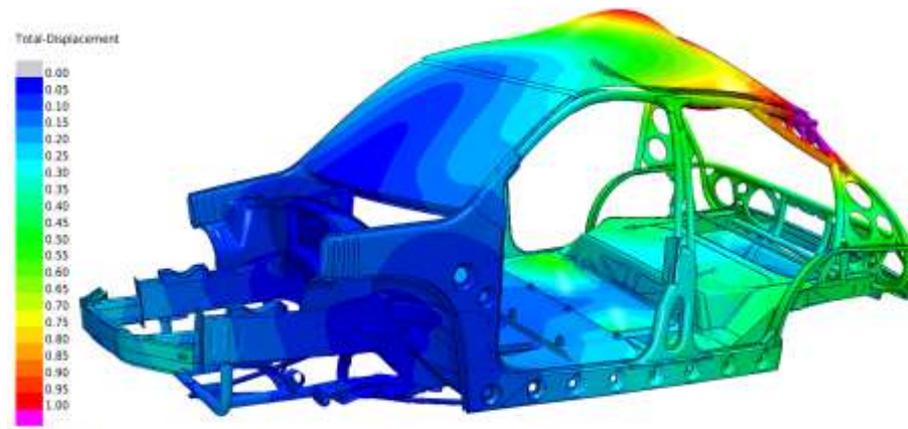


Крутильные частоты



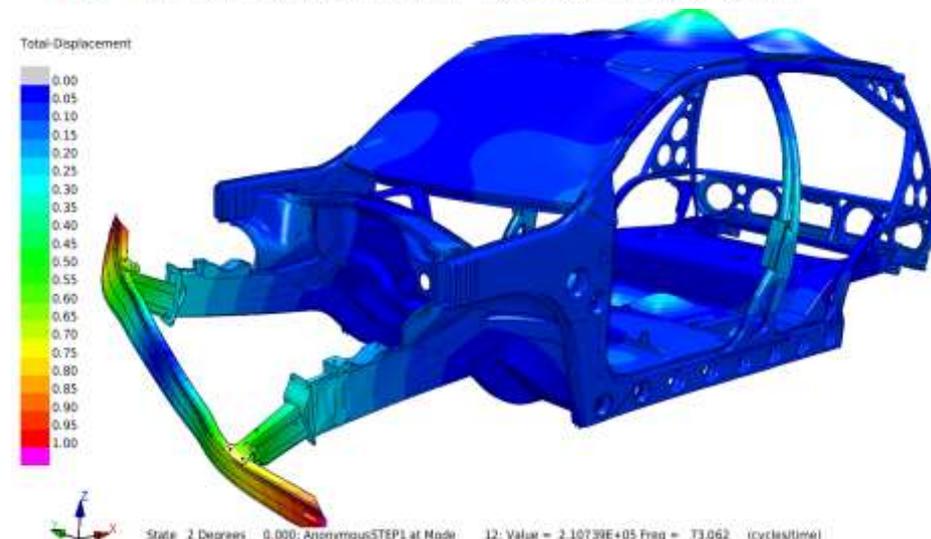
Прототипная модель, $f = 36,21$ Гц

State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 7: Value = 51766. Freq = 36.211 (cycles/time)



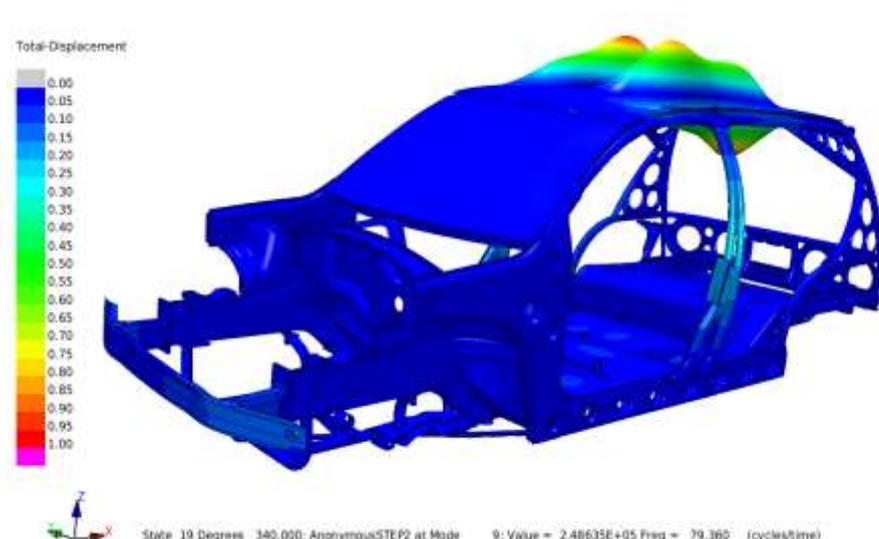
Модифицированная модель, $f = 37,92$ Гц

State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP2 at Mode 7: Value = 56766. Freq = 37.920 (cycles/time)



Прототипная модель, $f = 73,06$ Гц

State: 2 Degrees 0.000: AnonymousSTEP1 at Mode 12: Value = 2.10739E+05 Freq = 73.062 (cycles/time)

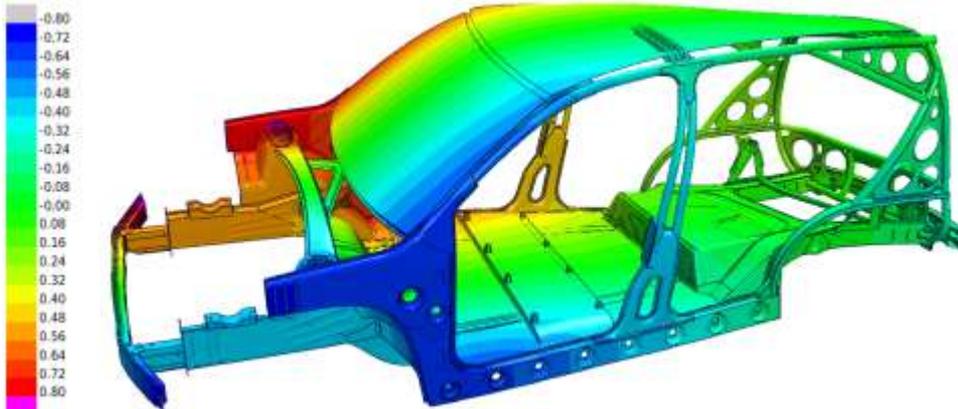


Модифицированная модель, $f = 79,36$ Гц

State: 19 Degrees 340.000: AnonymousSTEP2 at Mode 9: Value = 2.48635E+05 Freq = 79.360 (cycles/time)

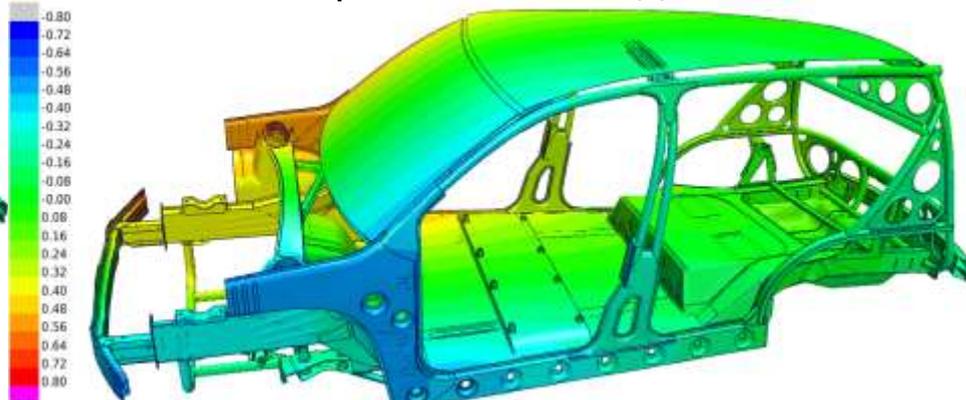
Крутильная жесткость

Прототипная модель

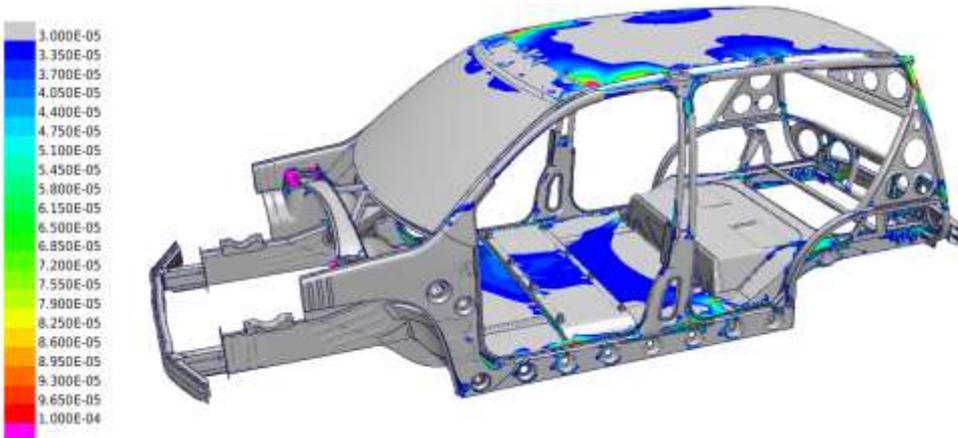


Распределение вертикальных перемещений, мм

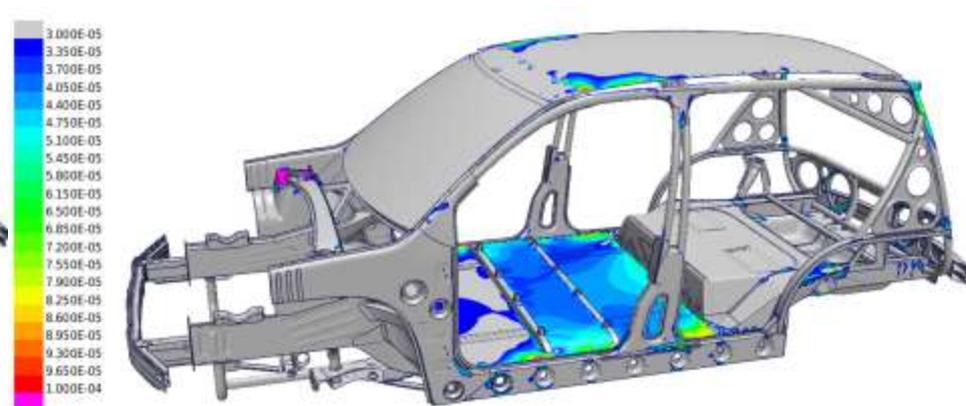
Модифицированная прототипная модель



Распределение вертикальных перемещений, мм



Распределение главных максимальных деформаций



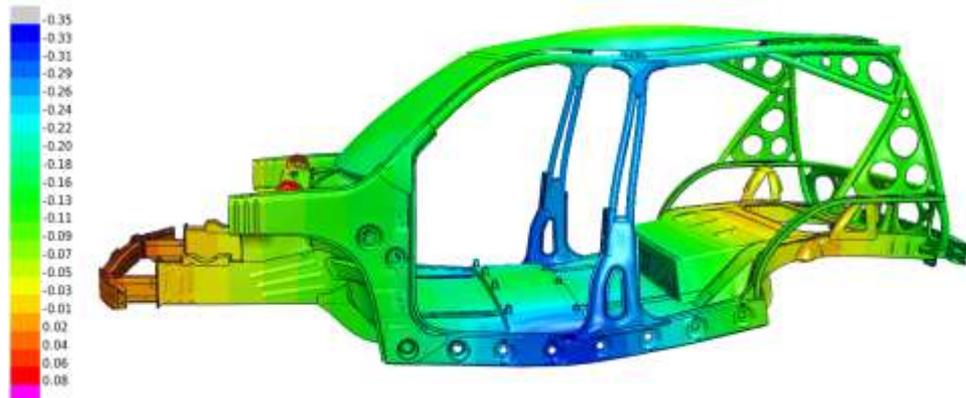
Распределение главных максимальных деформаций

Крутильная жесткость кузова: $c = 19057 \text{ Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{град}}$

Крутильная жесткость кузова: $c = 25117 \text{ Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{град}}$

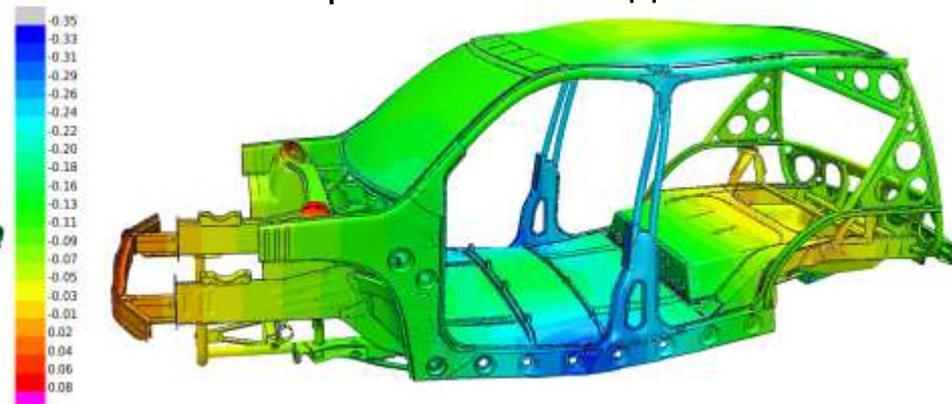
Изгибная жесткость

Прототипная модель

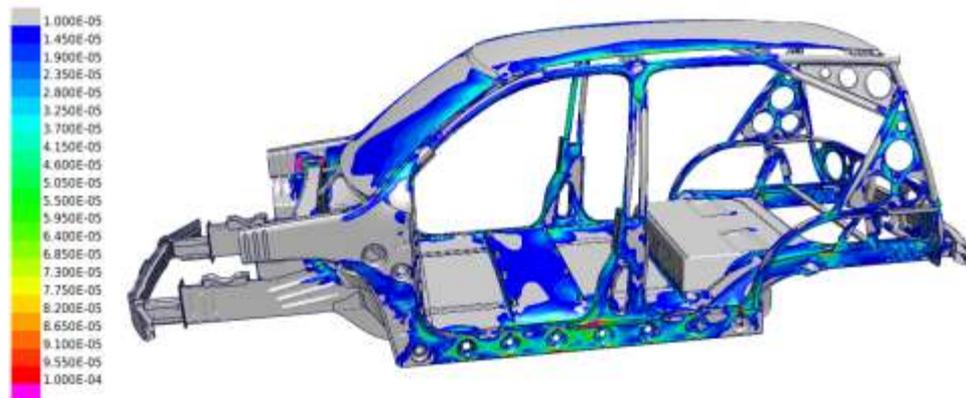


Распределение вертикальных перемещений, мм

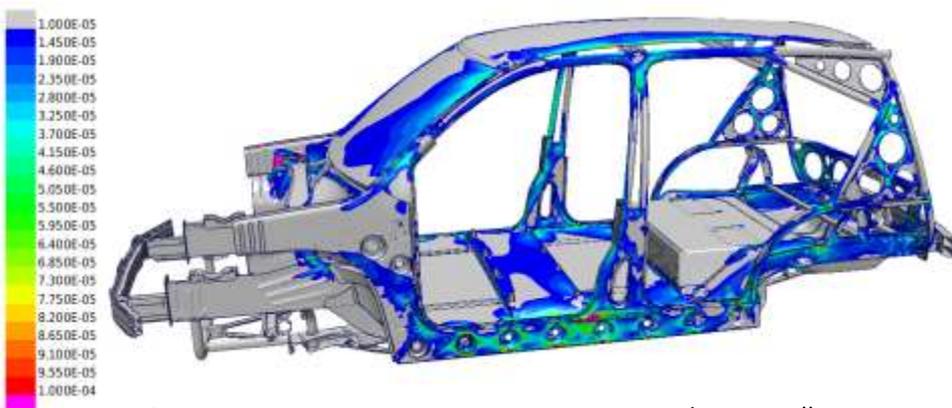
Модифицированная прототипная модель



Распределение вертикальных перемещений, мм



Распределение главных максимальных деформаций



Распределение главных максимальных деформаций

Изгибная жесткость кузова: $c = 7219$ Н/мм

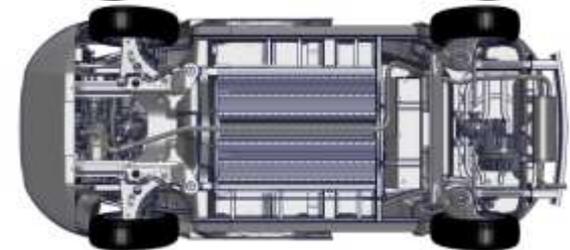
Изгибная жесткость кузова: $c = 7645$ Н/мм

Сравнение значений исследуемых параметров

	Первая изгибная	Вторая изгибная	Первая крутильная	Вторая крутильная
Прототипная модель	46,09 Гц	62,41 Гц	36,21 Гц	73,06 Гц
Модифицированная модель	47,25 Гц	64,25 Гц	37,92 Гц	79,36 Гц
Изменение	2,7 %	7,9 %	5,8 %	9,7 %

	Крутильная жесткость	Вторая изгибная
Прототипная модель	$19057 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{град}}$	$7219 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$
Модифицированная модель	$25177 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{град}}$	$7654 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$
Изменение	32 %	9,6 %

КЭ модель легкового автомобиля

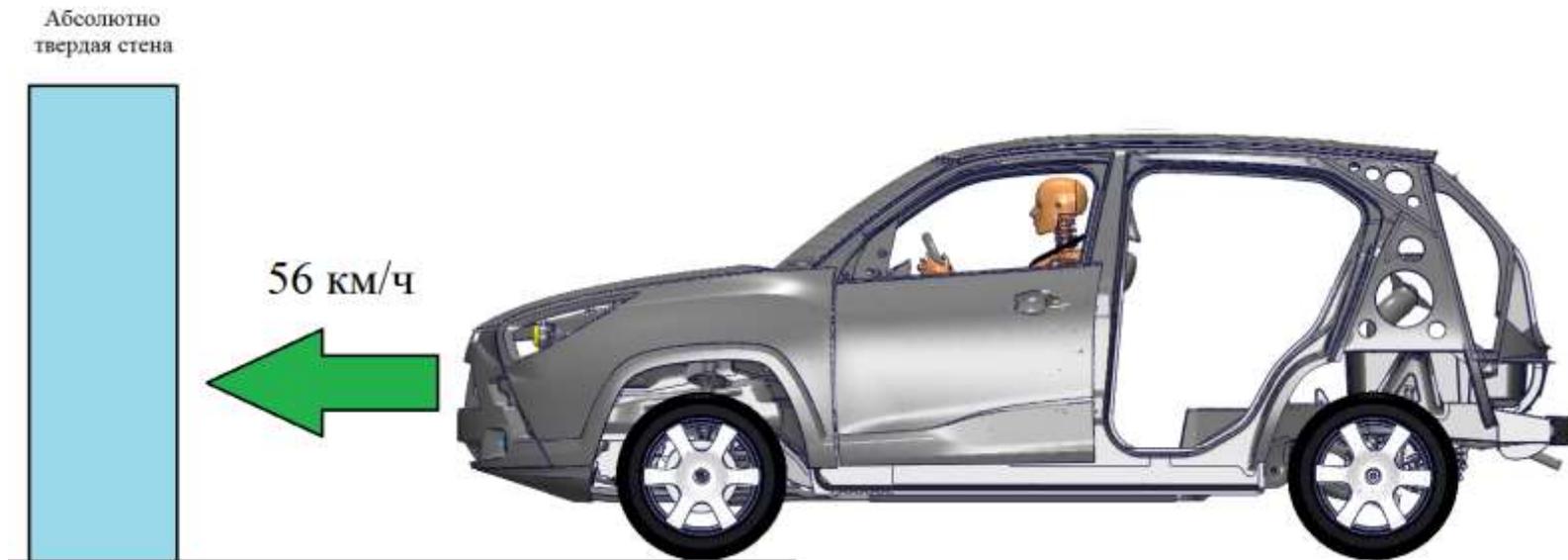


- 14122 различных деталей, состоящих из 1672161 элементов типа SHELL
- 264 деталей, состоящих из 776727 элементов типа SOLID
- 218 деталей, состоящих из 4490 элементов типа BEAM
- 17527 кинематических элементов, использованных для моделирования поведения сварных точек и кинематических связей
- 265 контактных связей, для моделирования связей между различными деталями, а так же общего контактного взаимодействия
- 1822 MPC-сетов для моделирования жестких связей (в основном используется в случае моделирования болтового соединения)
- 204 RIGID-сета (абсолютно твердое тело) для моделирования «костей» манекенов и для некоторых элементов двигателей автомобиля
- 1211 COHESIVE – элемента, использованных для моделирования клеевых соединений
- 82 различных материала

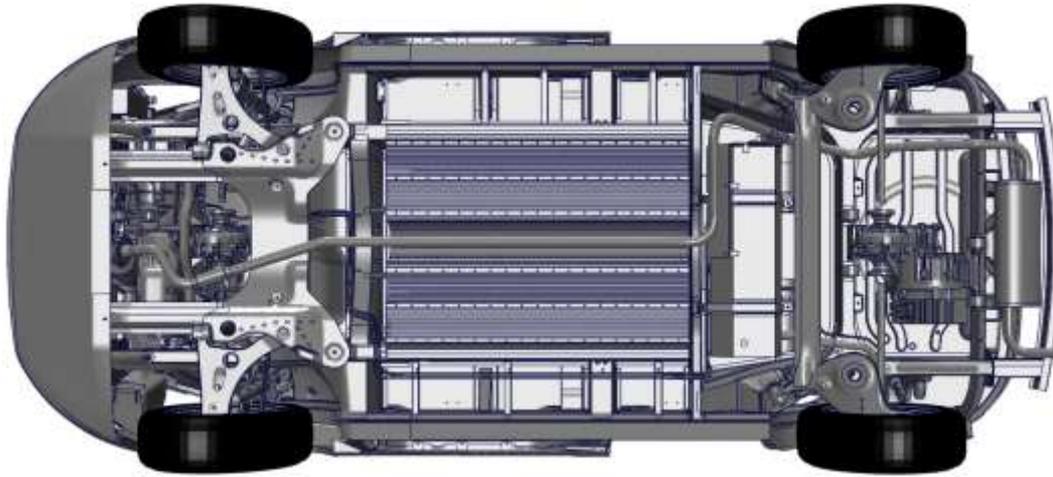
Масса – 1670 кг

Моделирование фронтального краш-теста

Стандарт FMVSS 208
2 манекена Hybrid III

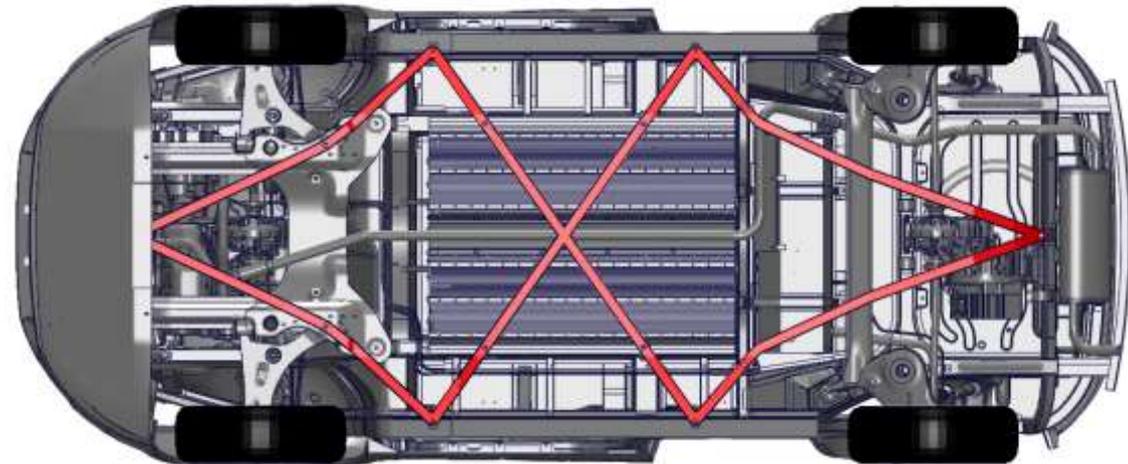


Модифицирование краш-модели



Краш-модель 1

Краш-модель 2



Моделирование фронтального краш-теста

Краш-модель 1

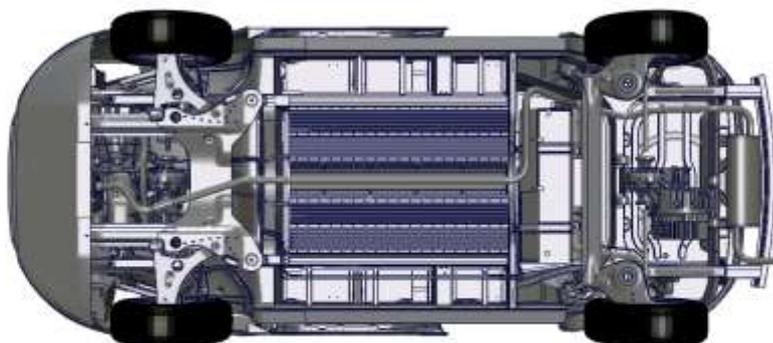


M95X_Header_CTRL at Incr. 0, Time = 0.000000

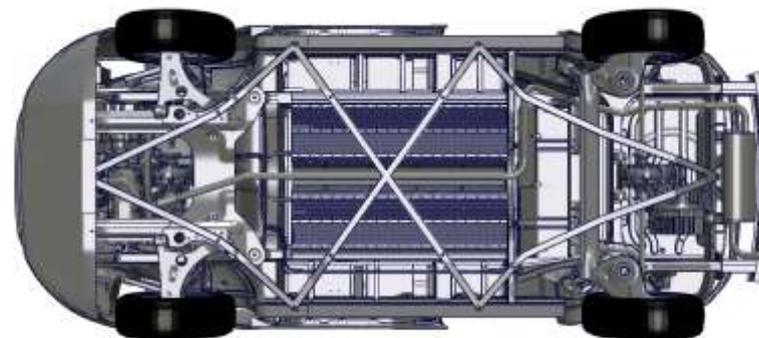
Краш-модель 2



M95X_Header_CTRL at Incr. 0, Time = 0.000000

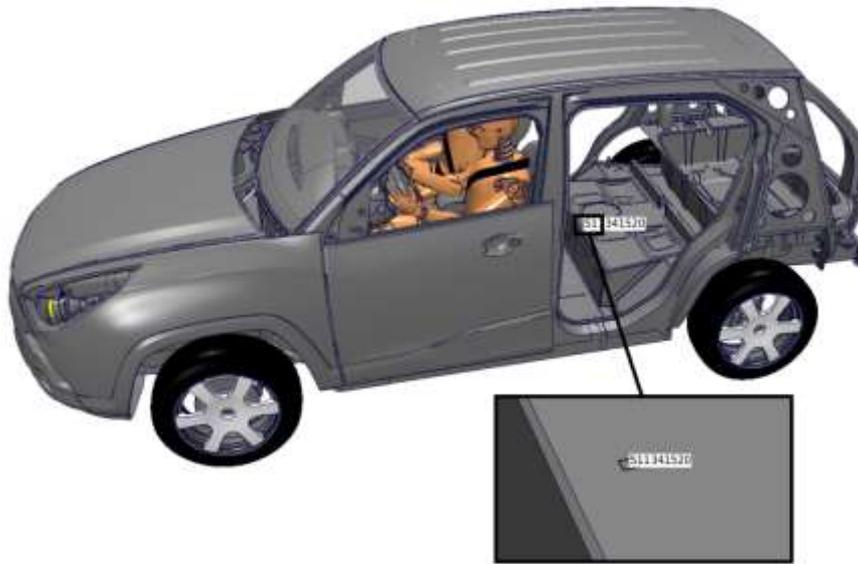


E:\Ankseen\master\master\7adb_rn1\999_901_15000_VEMK_Front_Crash_ODB_6.11-1_up.odt: s=CB SUBBEGINDOC



M95X_Header_CTRL at Incr. 0, Time = 0.000000

Сравнение параметров



Инерционные параметры автомобиля

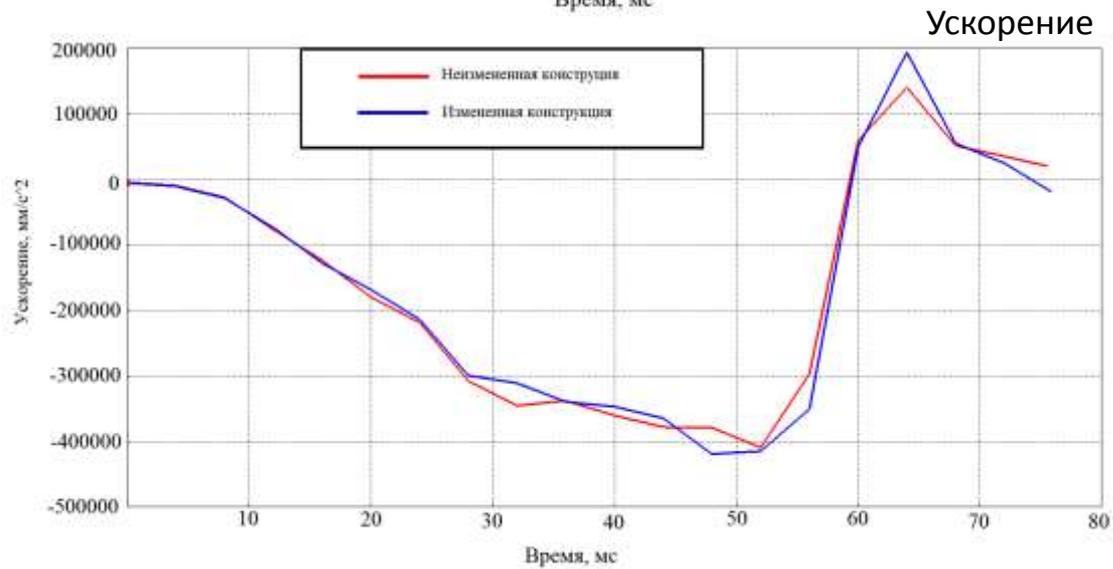
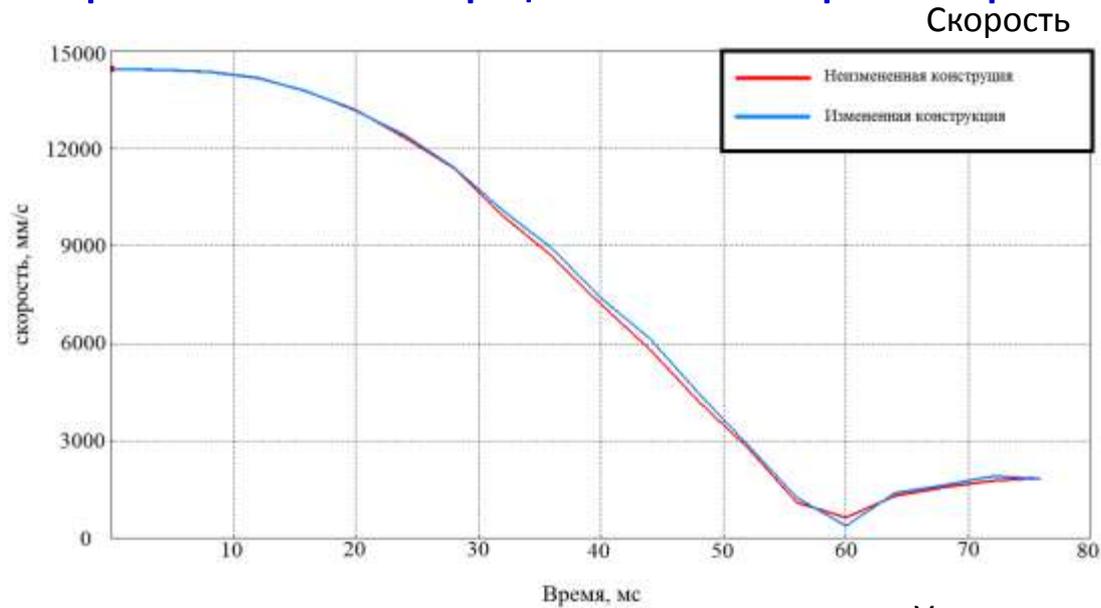
- Скорость
- Ускорение

Безопасность водителя (стандарт ECE R94)

- Критерий травмирования головы
- Критерий травмирования шеи растягивающим усилием
- Критерий травмирования шеи сдвигающим усилием
- Деформация груди

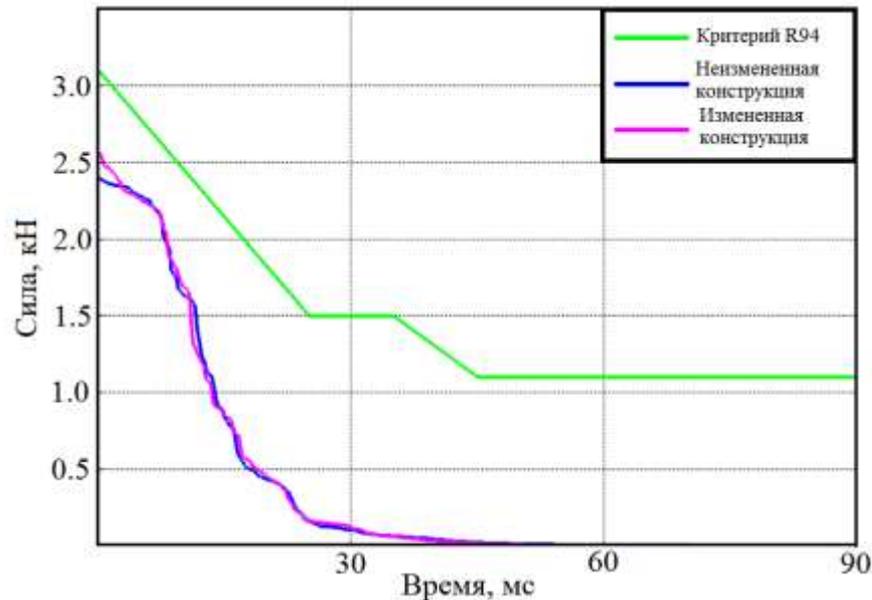


Сравнение инерционных параметров



Оценка безопасности водителя

	Краш-модель 1	Краш-модель 2
Критерий травмирования головы	Критерий удовлетворен	Критерий удовлетворен
Критерий травмирования шеи растягивающим усилием	Критерий не удовлетворен	Критерий не удовлетворен
Критерий травмирования шеи сдвигающим усилием	Критерий удовлетворен	Критерий удовлетворен
Деформация груди	Критерий удовлетворен	Критерий удовлетворен



Критерий травмирования шеи сдвигающим усилием

Итоги работы

- Поэтапно разработаны дополнительные детали кузова легкового автомобиля и проанализировано их влияние на значения основных собственных частот, крутильной и изгибной жесткостей.
- На этапе концепт модели смоделированы подрамник, ниша багажника и оценено их влияние на исследуемые параметры. Всего рассмотрено около 10 различных моделей, выбрана и представлена наиболее эффективная.
- Разработанные детали позволили увеличить крутильную жесткость на 59% (5039 Н*м/град), причем около 90% общего вклада в повышение жесткости внесено за счет эффективной конструкции торсионных стабилизаторов.
- Изгибная жесткость была повышена на 10%
- Значения основных собственных частот были увеличены на различные значения от 3% до 10%

- Разработанная и исследованная конструкция была внесена в прототипную модель и было оценено изменение значений исследуемых параметров
- Крутильная жесткость увеличивается на 32% (при этом на более высокую абсолютную величину, 6060 Н*м/град)
- Изгибная жесткость повышена на 6%
- Значения основных собственных частот выросли на различные значения от 2,5% до 9%

- Проведено конечно-элементное моделирование фронтального краш теста для двух конструкций кузова в составе сборки автомобиля
- Было проведено сравнение инерционных параметров автомобиля и критериев безопасности водителя, которое показало, что разработанная конструкция не оказывает негативного влияния на пассивную безопасность, следовательно разработанную конструкцию можно назвать эффективной и целесообразной