



Конечно-элементное моделирование и исследование конструкции поглощения энергии автомобиля при низкоскоростном фронтальном краш-тесте

Выполнил студент гр. 6055/11,
Руководитель, к.т.н., проф.
Соруководитель, асс.

А.В. Морозов
А.И. Боровков
О.И. Клявин



Содержание

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1

- 1.1 Решение динамической задачи с помощью метода конечных элементов
- 1.2 Типы конечных элементов
- 1.3 Модели материалов
- 1.4 Эквивалентная пластическая деформация

ГЛАВА 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НИЗКОСКОРОСТНОГО КРАШ-ТЕСТА

- 2.2 Конечно-элементная модель автомобиля
- 2.1 Конечно-элементная модель барьера
- 2.2 Граничные условия
- 2.2 Результаты эксперимента
- 2.3 Усеченная модель кузова
- 2.3.1 Сравнение результатов.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ АВТОМОБИЛЯ

- 3.1 Разные материалы краш-бокса
 - 3.1.1 HC340LAD
 - 3.1.2 HC260LAD
 - 3.1.3 Сравнение результатов
- 3.2 Исследование влияния геометрии балки бампера на механизм смятия краш-бокса
 - 3.2.1 Первый вариант бампера
 - 3.2.2 Второй вариант бампера
 - 3.2.3 Сравнение результатов
- 3.3 Исследование влияния толщины штампованных деталей краш-бокса на его энергопоглощающие свойства
 - 3.3.1 Толщина 1.25 мм
 - 3.3.2 Толщина 1.00 мм
 - 3.3.3 Сравнение результатов
- 3.4 Исследование влияния глубины гофра
 - 3.3.1 Глубина гофра $\delta = 7$ мм
 - 3.3.2 Глубина гофра $\delta = 6$ мм
 - 3.3.3 Глубина гофра $\delta = 4$ мм
 - 3.3.2 Сравнение результатов
- 3.5 Сравнение наилучшей конструкции с исходной моделью

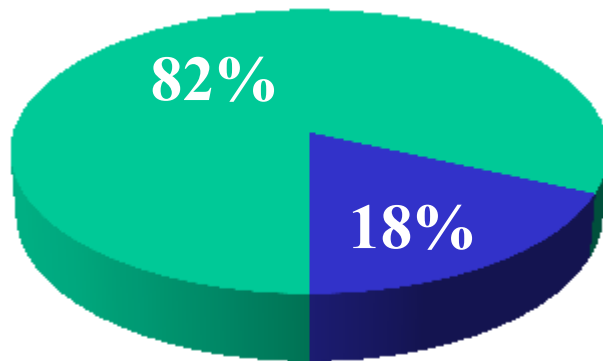
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Экономическая сторона проблемы

В среднем количество аварий в США в год составляет 16.5 млн

Средняя стоимость ремонта \$1500



- Без причинения вреда здоровью водителей пассажиров
- Более серьезные аварии

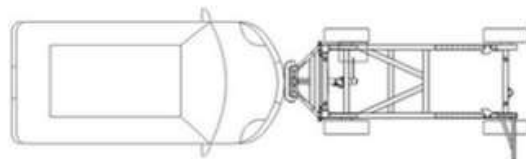


В Великобритании Страховщики в год выплачивают порядка 10 миллиардов долларов. Около 70% этих денег выплачиваются автовладельцам после легких аварий со средней стоимостью ремонта \$2000

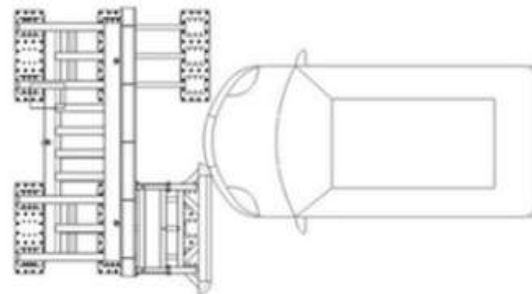
Варианты тестов бамперов



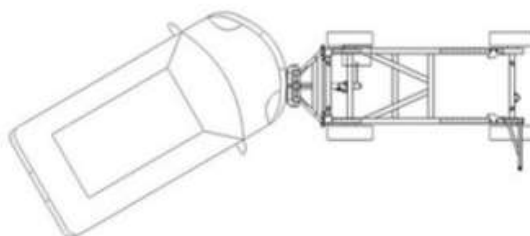
ECE-R42



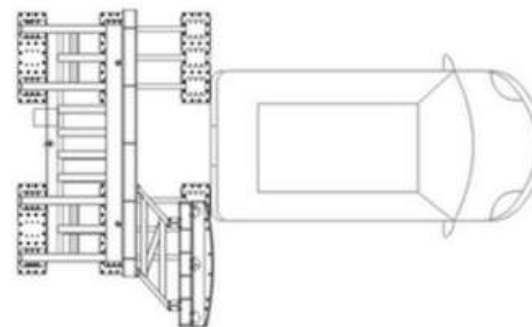
RCAR



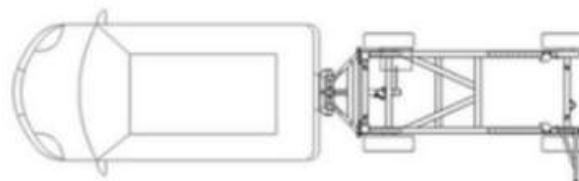
FMVSS Part 581



IIHS

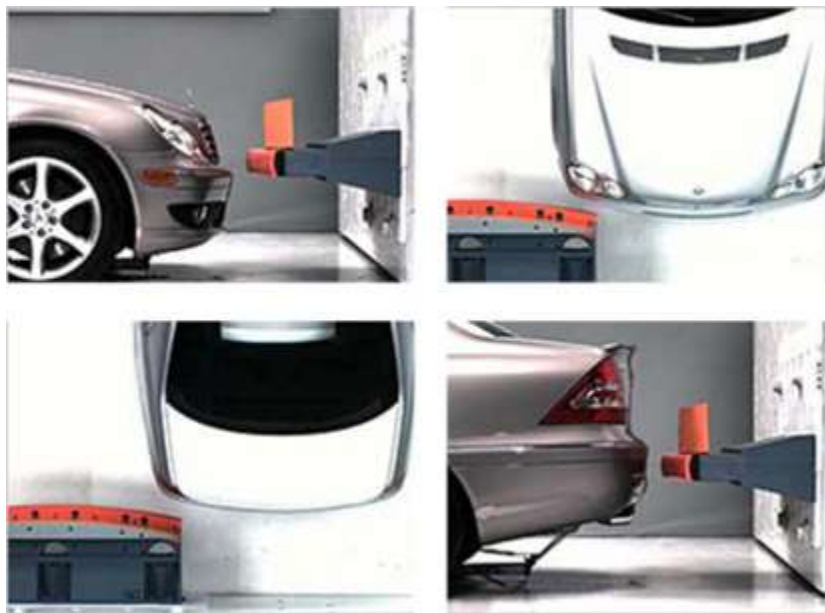


CMVSS 215



Низкоскоростной тест по правилу IHS

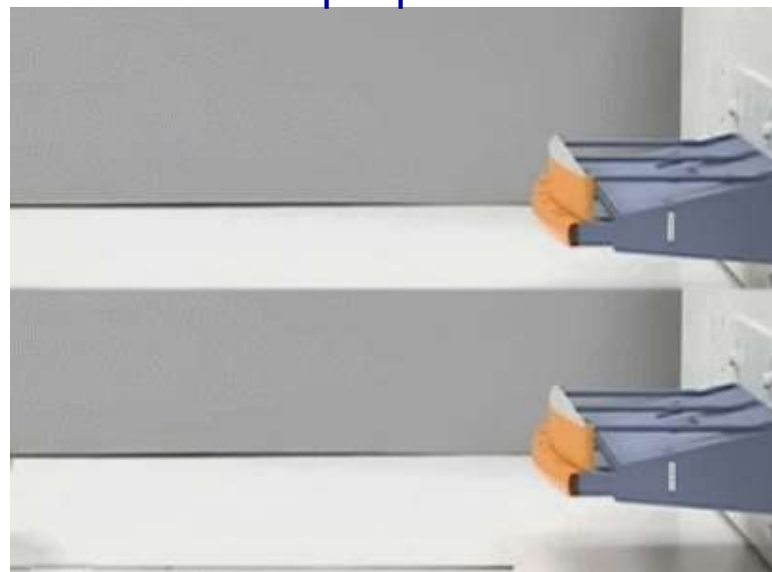
Варианты испытаний по правилу IHS



Тест переднего бампера с 15% перекрытием



Тест переднего и заднего бамперов без перекрытия

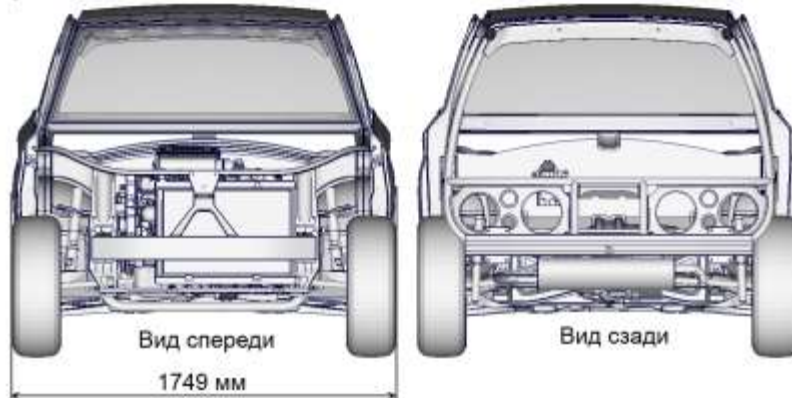
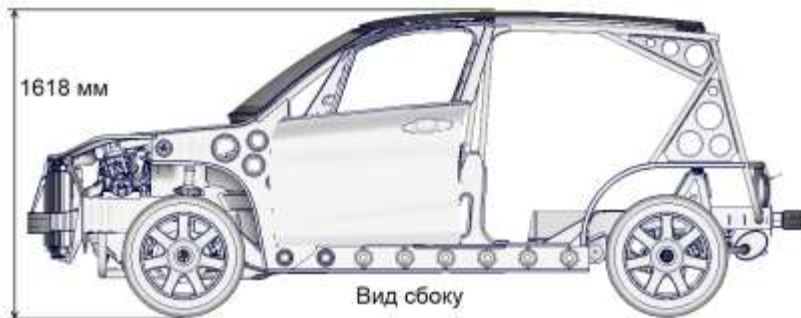


Градация оценок по стоимости ремонта

Хорошо		< 500\$
Допустимо		< 1000\$
Предельно допустимо		< 1500\$
Не допустимо		> 1500\$

Марка автомобиля год выпуска	Оценка	Передний без перекрытия	Передний угловой	Задний без перекрытия	Задний угловой	Средняя стоимость
MAZDA 6 2009		\$742	\$1,437	\$768	\$767	\$871
MITSUBISHI GALANT 2004-09		\$969	\$1,109	\$990	\$1,185	\$1,035
HONDA ACCORD 2009		\$941	\$1,461	\$974	\$1,507	\$1,133
HYUNDAI SONATA 2009		\$1,791	\$1,019	\$1,131	\$729	\$1,265
TOYOTACAMRY 2007-09		\$1,041	\$1,670	\$1,612	\$1,127	\$1,351
NISSAN MAXIMA 2009		\$997	\$1,787	\$2,494	\$1,352	\$1,687
VOLVO s40 2004-09		\$2,776	\$1,446	\$1,065	\$1,335	\$1,744
SUBARU LEGACY 2005-09		\$4,049	\$1,275	\$1,169	\$1,233	\$2,157
FORD FUSION 2010		\$2,529	\$1,889	\$2,610	\$1,073	\$2,207
VOLKSWAGEN PASSAT 2006-09		\$5,252	\$1,783	\$1,149	\$1,333	\$2,653
VOLKSWAGEN JETTA 2005-09		\$3,033	\$1,525	\$3,992	\$1,959	\$2,922

Конечно-элементная модель автомобиля



Полная масса данной конструкции 1166 кг.

Полная масса автомобиля, заявленная производителем 1670кг, поэтому в модель добавлена распределенная масса на детали кузова. Эта масса включает в себя:

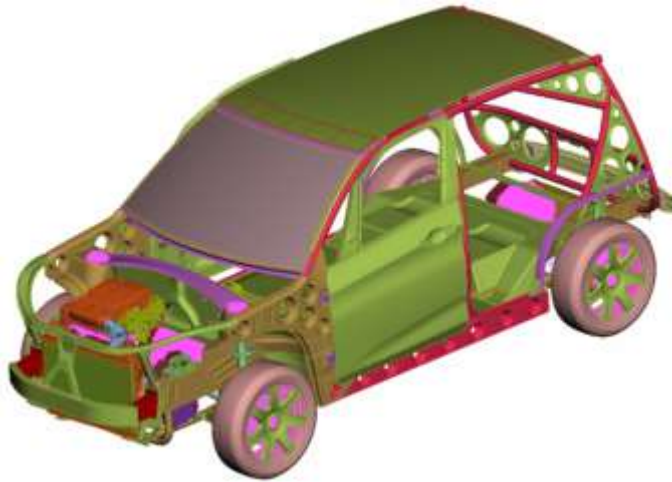
- Передняя панель 30 кг
- Передний и задний бампер с обвесом 80кг
- Двери, боковой обвес 200 кг
- Инструменты в багажнике 25 кг
- Осветительные приборы, электропроводка 30 кг
- Бензобак 52 кг

Параметры КЭ модели автомобиля

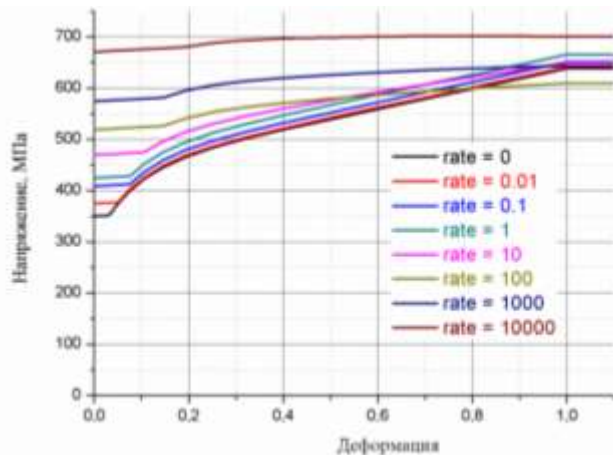
Число конечных элементов	NE = 1161836
Число узлов	NN = 1186698
Число степеней свободы	NDF = 6412432

Используемые модели материалов

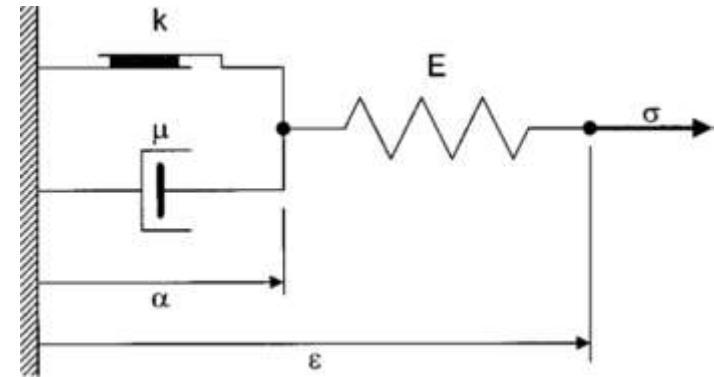
Различные материалы в модели автомобиля



Кривые относительной деформации в области пластичности материала HC260LAD



Реологическая модель материала Бингама



Описание через потенциал Гиббса и диссипативную функцию единицы объема

$$g = -\frac{\sigma^2}{2E} - \sigma\alpha, \quad d = k|\dot{\alpha}| + \frac{\mu}{2}\dot{\alpha}^2$$

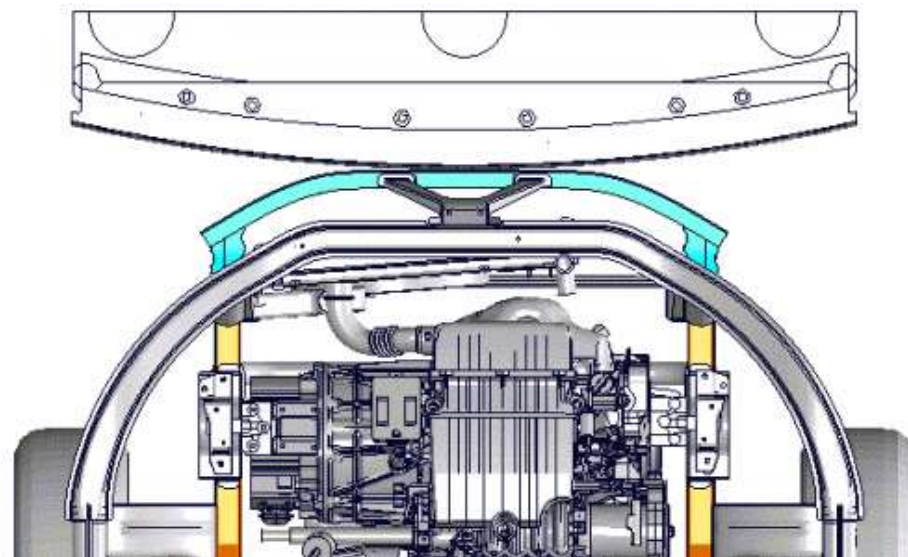
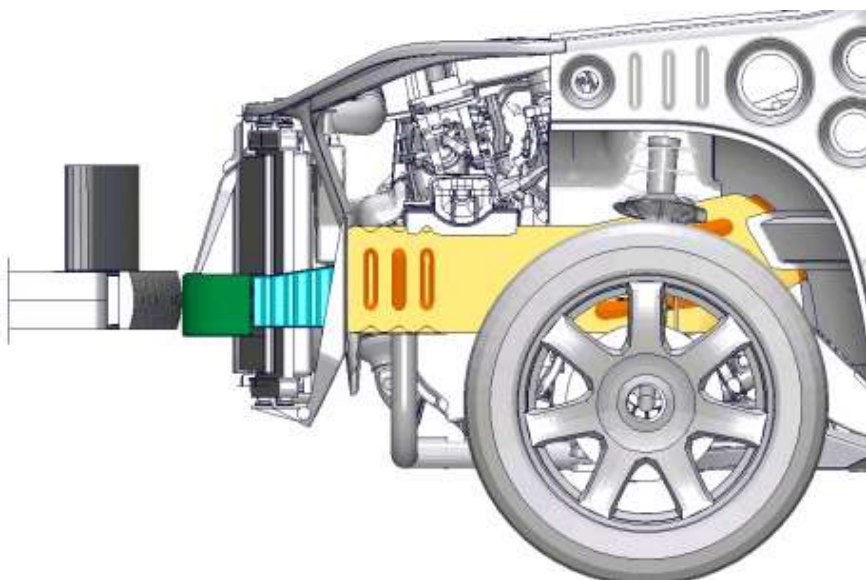
Напряжения и относительная деформация

$$\sigma = k \cdot \text{sgn}(\dot{\alpha}) + \mu\dot{\alpha}, \quad \epsilon = -\frac{\partial g}{\partial \sigma} = \frac{\sigma}{E} + \alpha$$

Упругие свойства материала

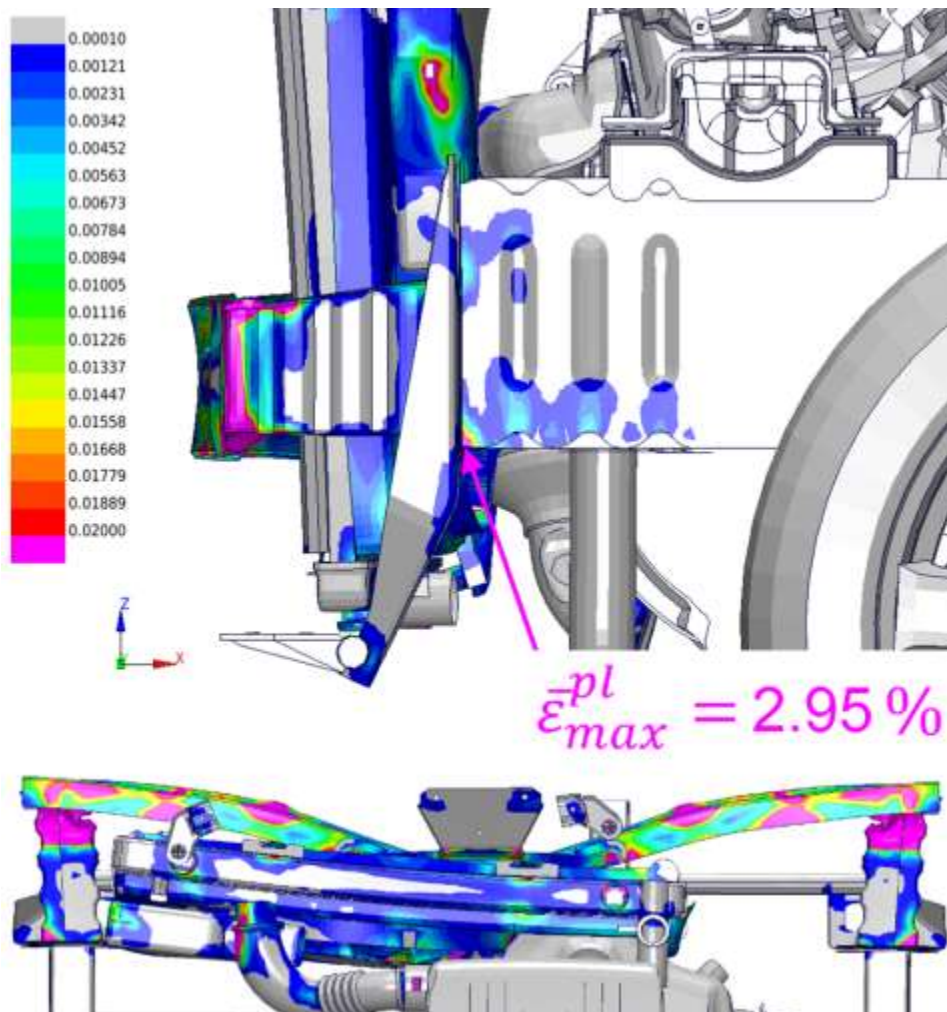
Плотность	$\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Модуль Юнга	$E = 210 \text{ ГПа}$
Коэффициент Пуассона	$\nu = 0.3$

Граничные и начальные условия

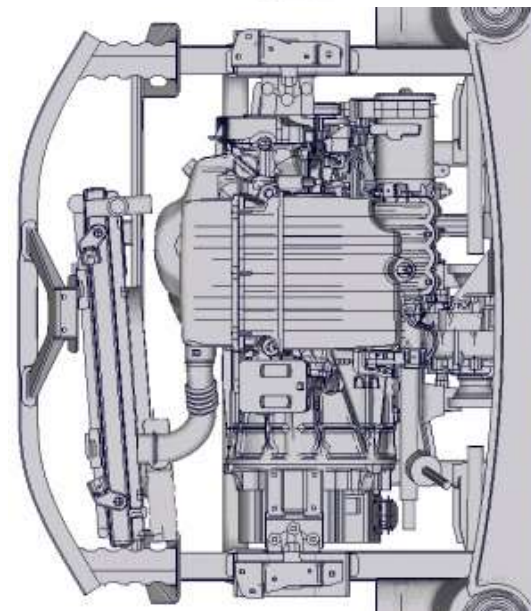
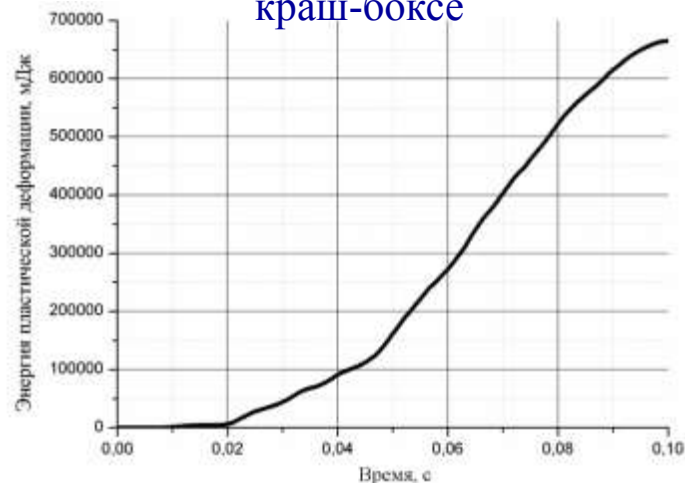


Результаты КЭ моделирования

Распределение пластических деформаций в передней части кузова автомобиля

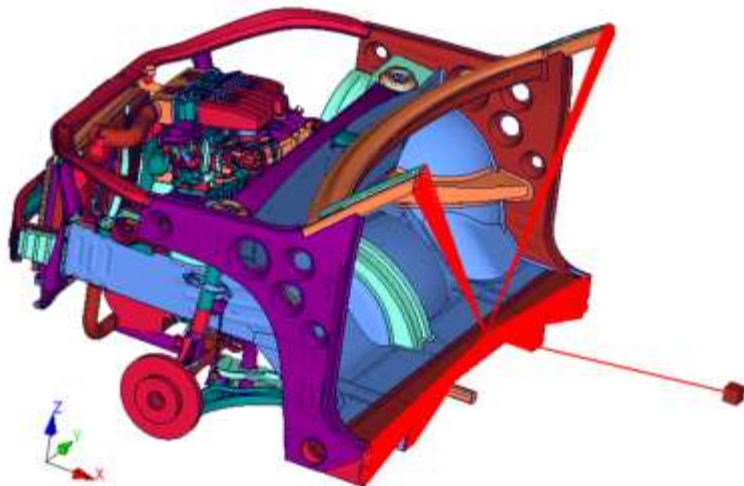


Энергия пластических деформаций в краш-боксе

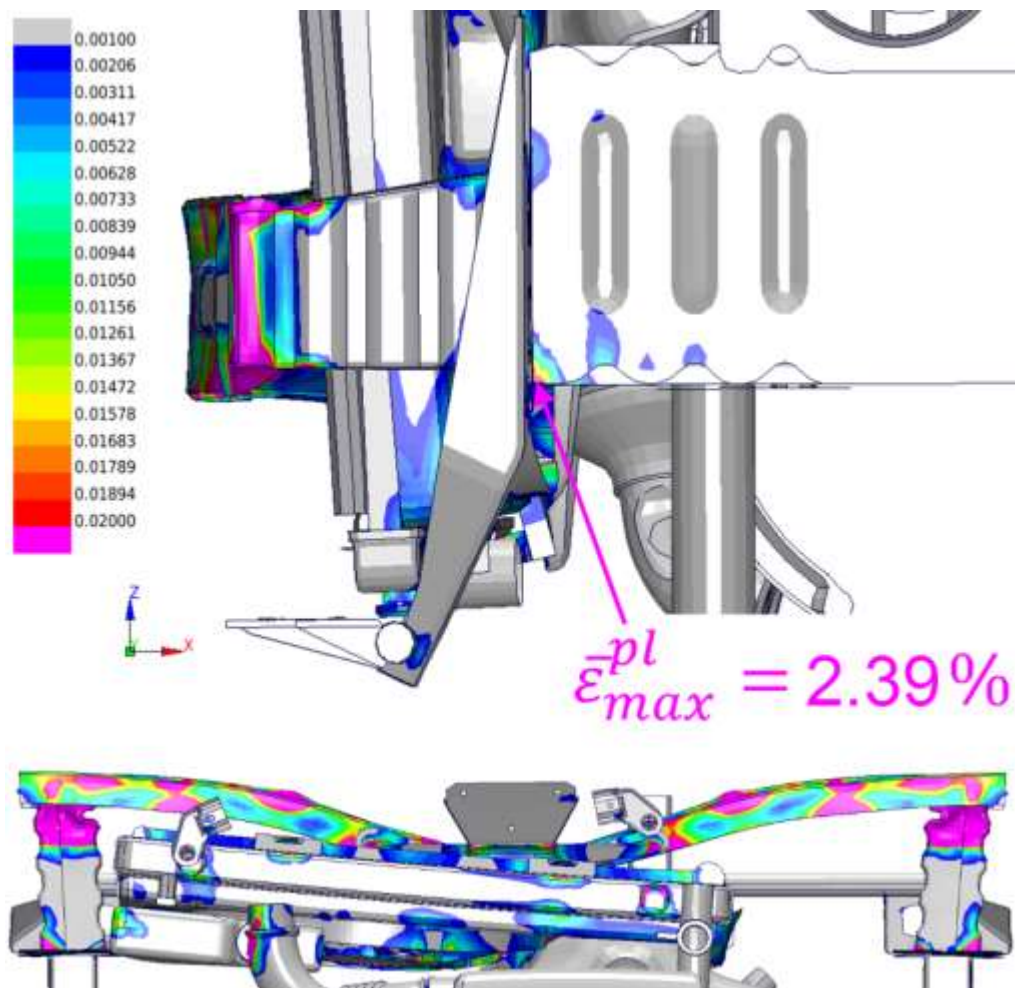


Усеченная модель автомобиля

Распределение пластических деформаций в передней части кузова автомобиля



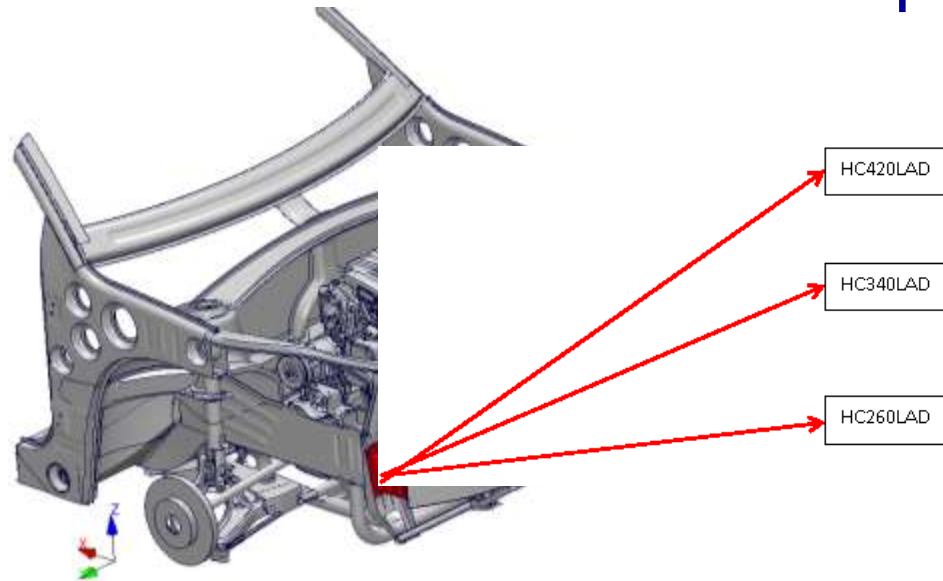
Энергия пластических деформаций в краш-боксе



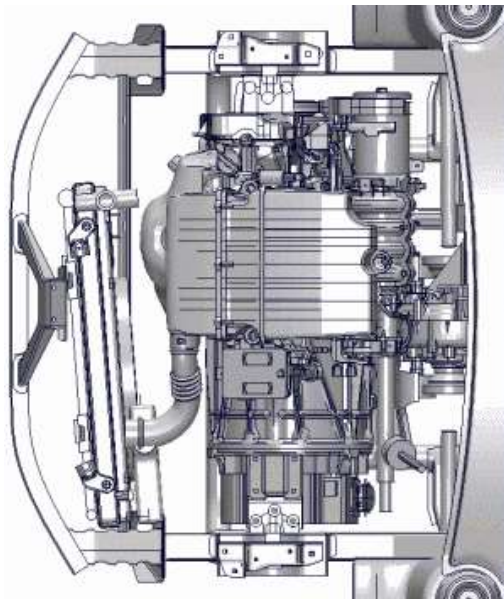
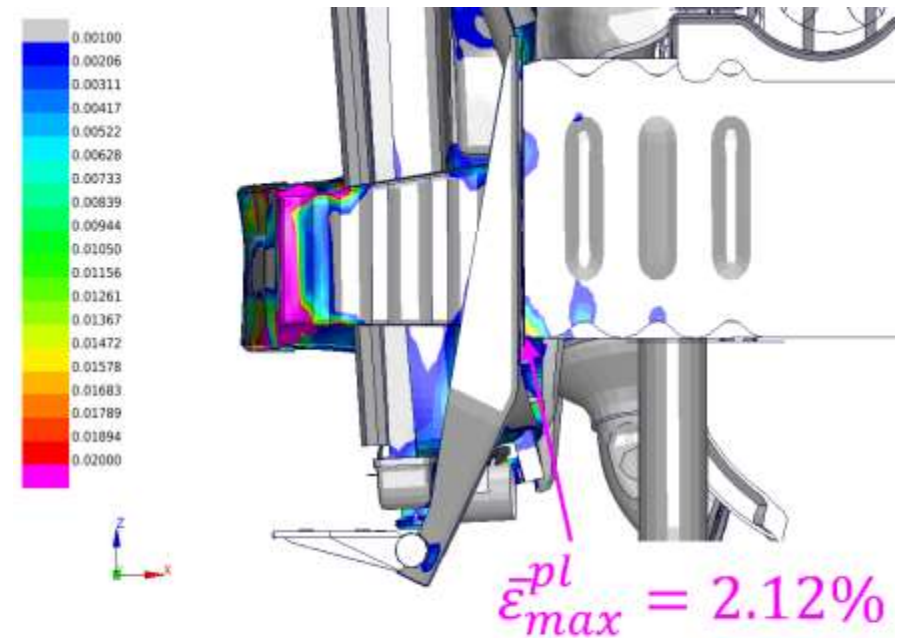
Возможные пути оптимизации конструкции бампера

- Изменение материала краш-бокса
- Изменение формы балки усилителя бампера
- Изменение толщины штампованных деталей краш-бокса
- Изменение глубины гофра в деталях краш-бокса

Различные материалы краш-бокса

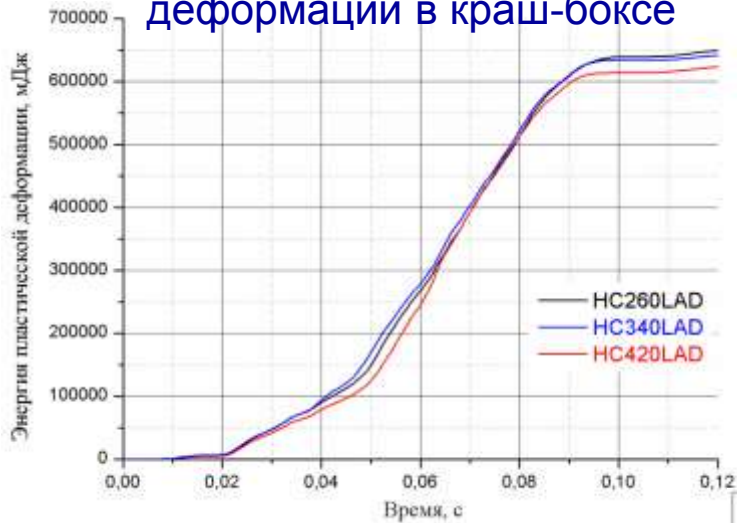


Распределение пластических деформаций в передней части кузова автомобиля при использовании стали HC260LAD



Различные материалы краш-бокса

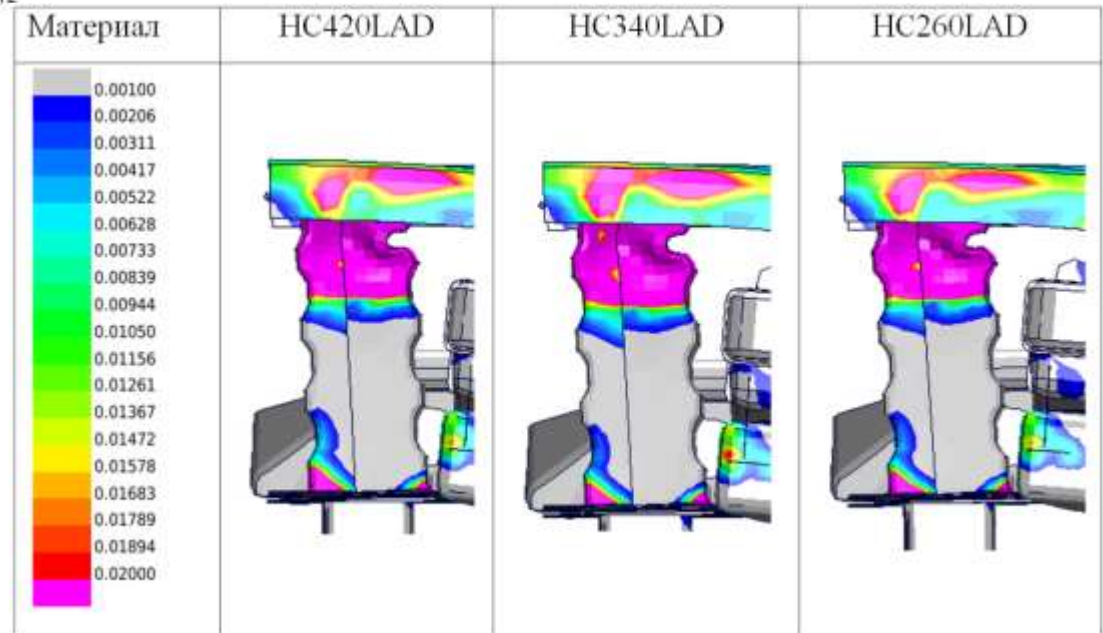
Энергия пластических деформаций в краш-боксе



Значения максимальной пластической деформации в лонжероне

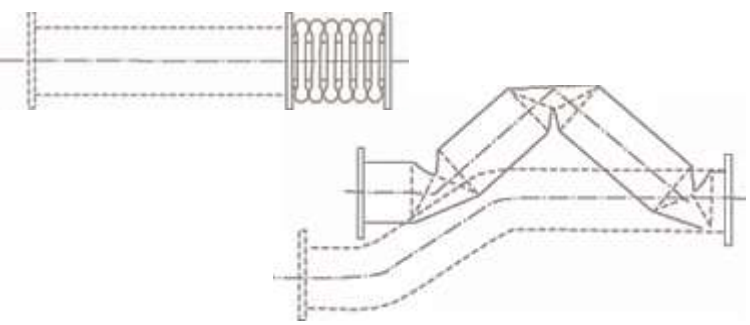
Материал краш-бокса	σ_T , МПа	$\bar{\epsilon}_{max}^{pl}$
HC420LAD	394	2.39%
HC340LAD	380	2.27%
HC260LAD	350	2.12%

Распределение пластических деформаций в краш-боксе

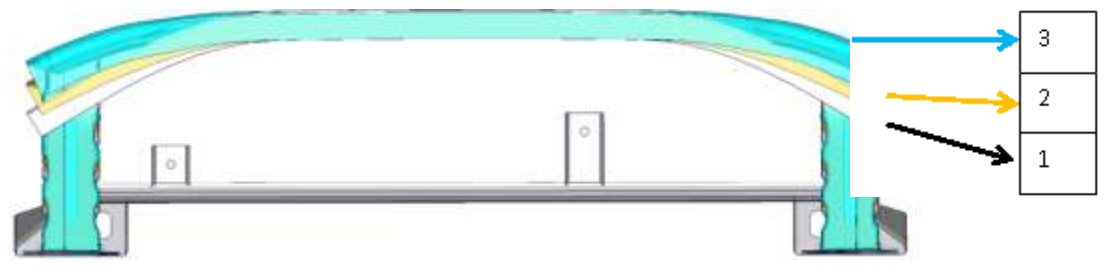


Различная геометрия балки бампера

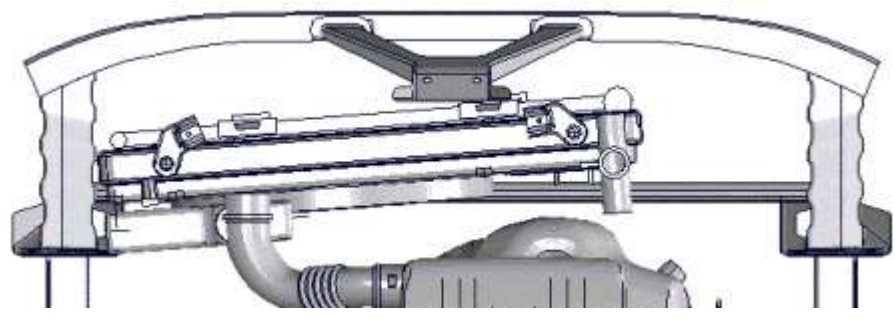
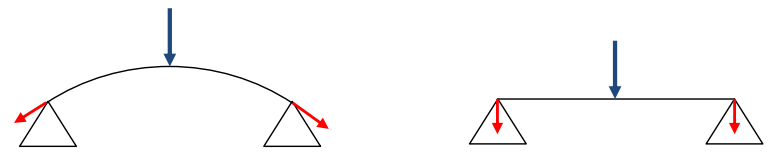
Механизмы поглощения энергии



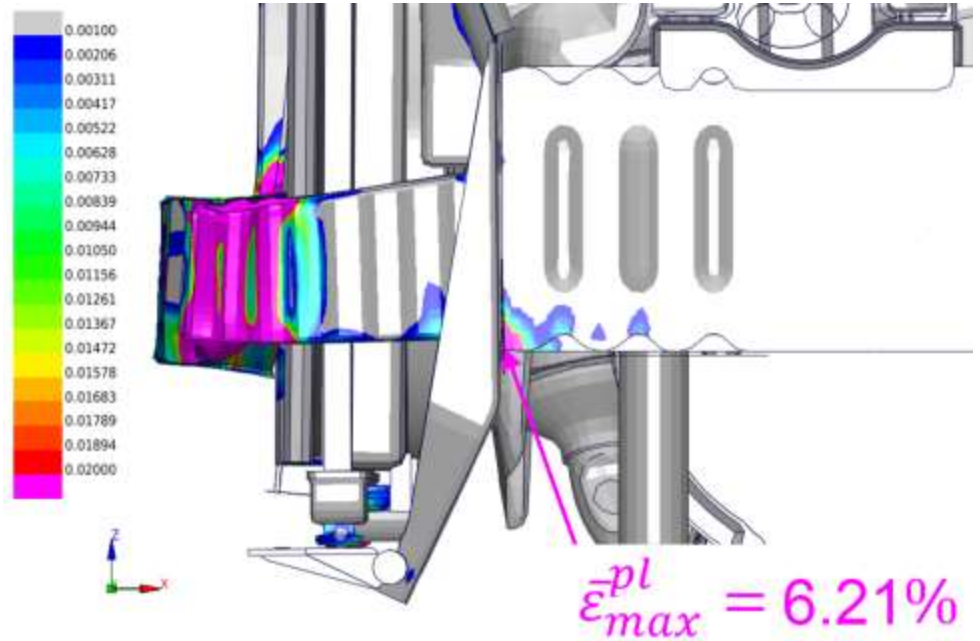
Варианты конструкции усилителя бампера



Силы, действующие на краш-бокс со стороны балки усилителя бампера

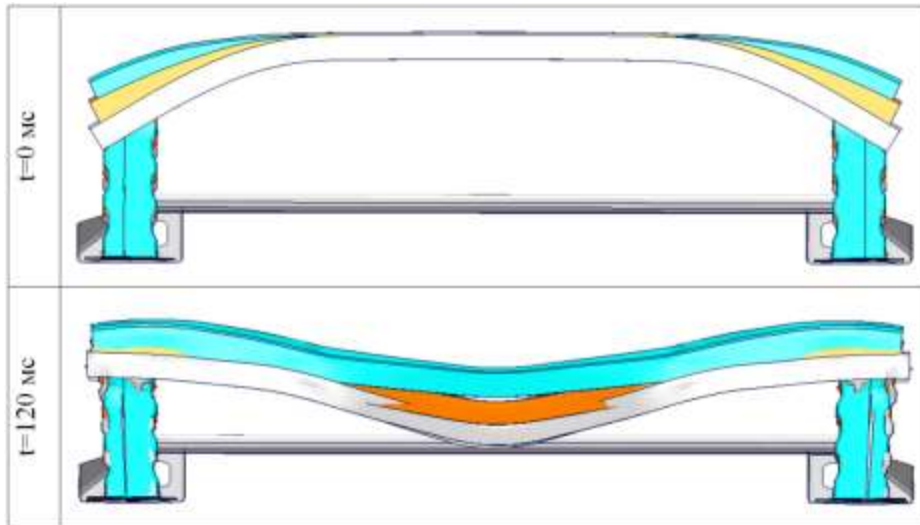


Распределение пластических деформаций в передней части кузова автомобиля при использовании 3-го варианта

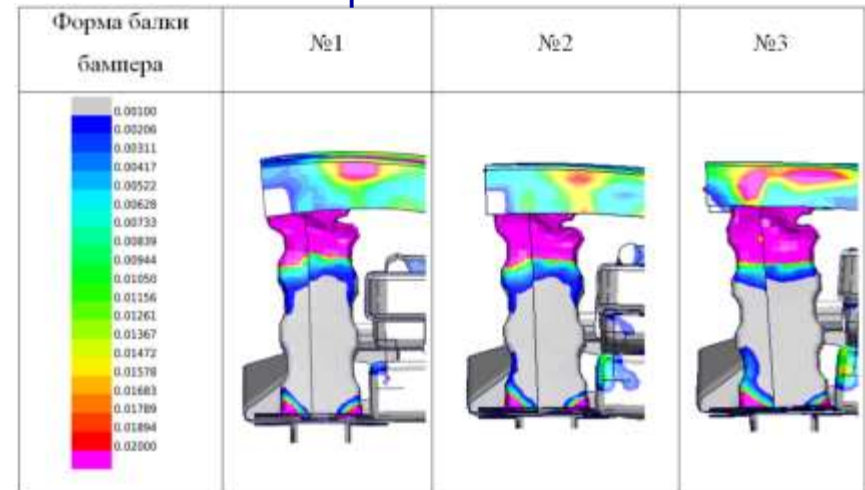


Различная геометрия балки бампера

Проникновение в подкапотное пространство



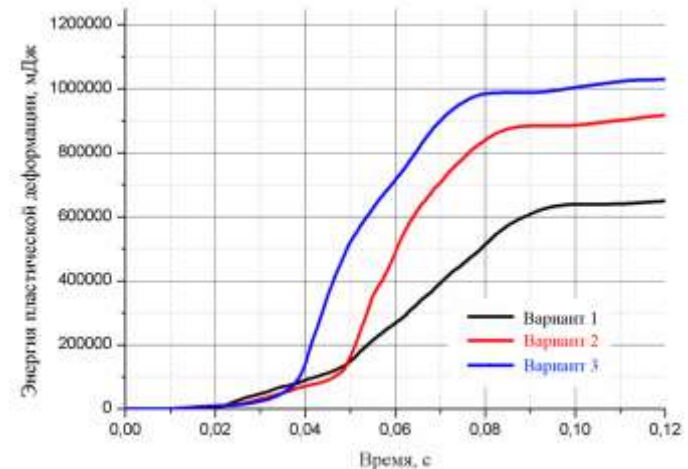
Распределение пластических деформаций в краш-боксе



Значения максимальной пластической деформации в лонжероне

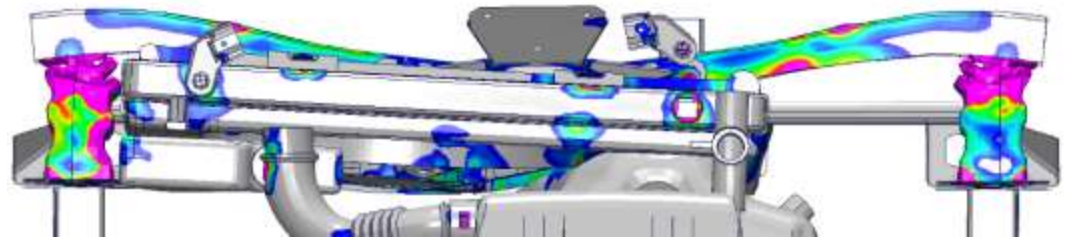
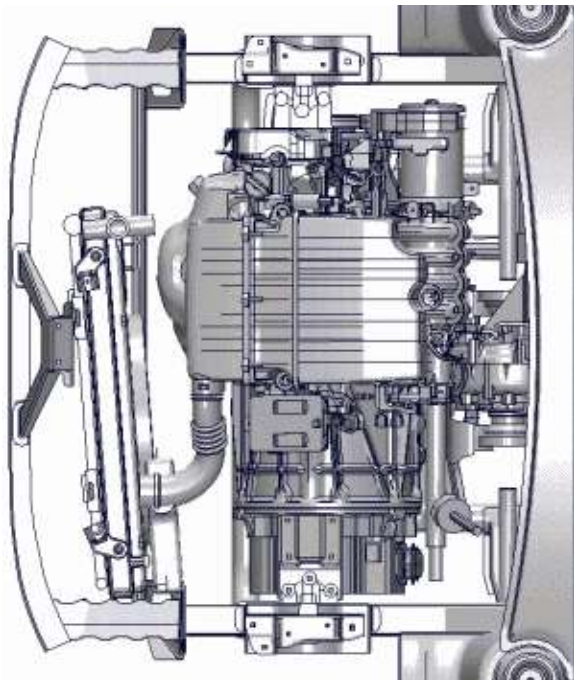
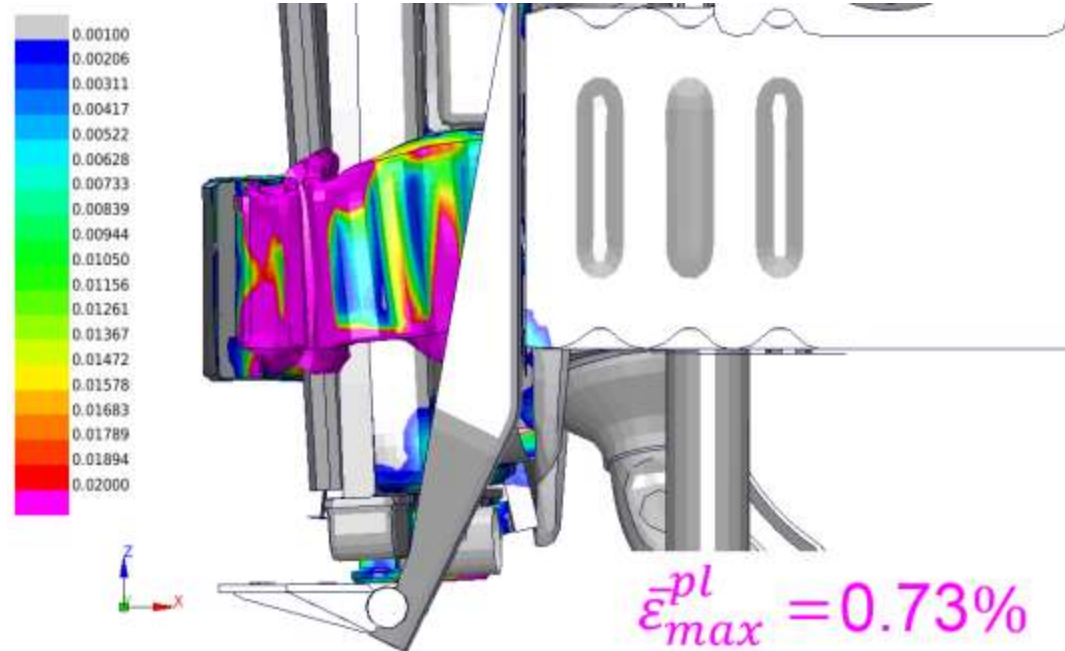
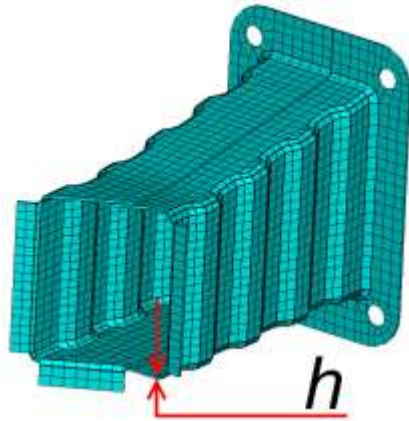
Модель балки усилителя бампера		ϵ_{pl}^{max}
1		2.12%
2		5.23%
3		6.21%

Энергия пластических деформаций в краш-боксе



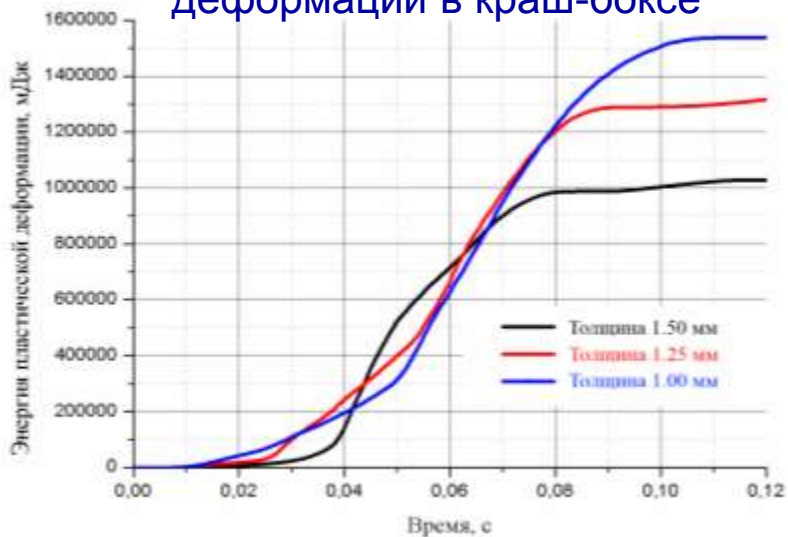
Различная толщина штампованных деталей краш-бокса

Распределение пластических деформаций в передней части кузова автомобиля

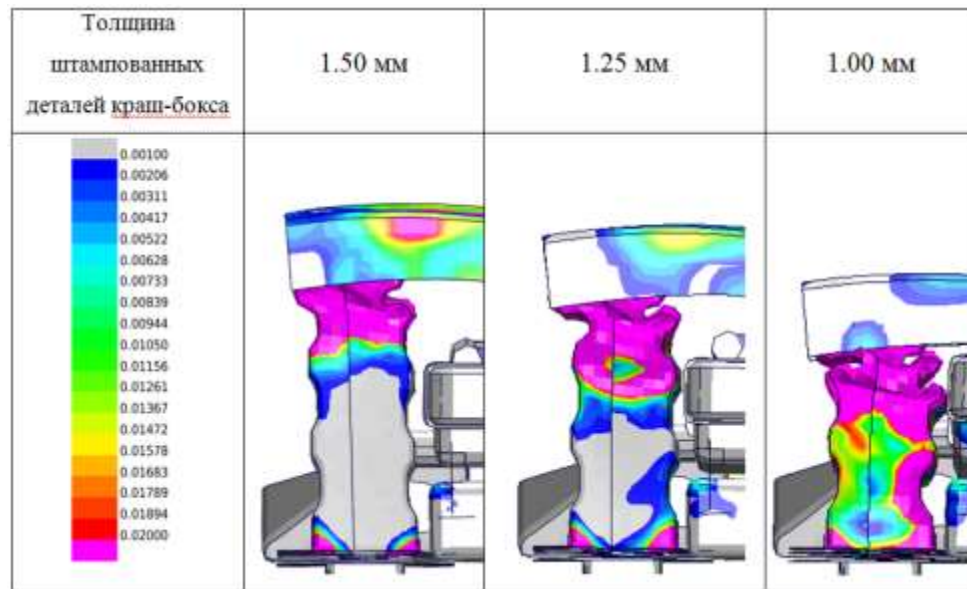


Различная толщина штампованных деталей краш-бокса

Энергия пластических деформаций в краш-боксе



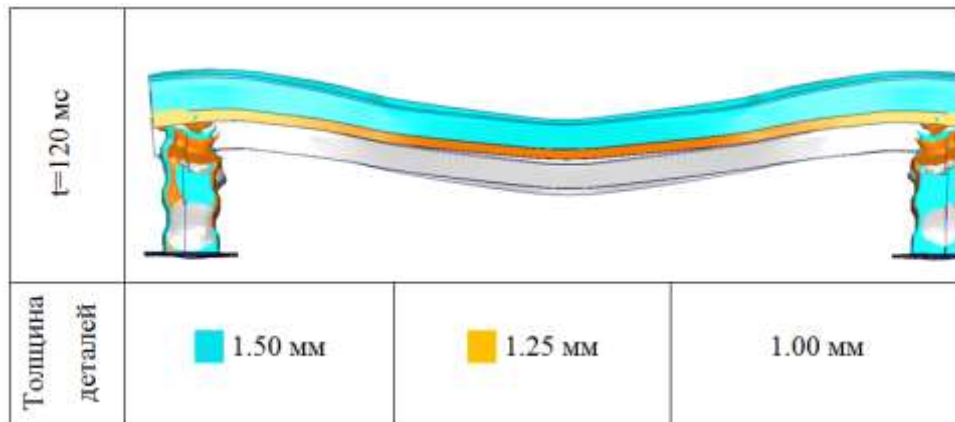
Распределение пластических деформаций в краш-боксе



Значения максимальной пластической деформации в лонжероне

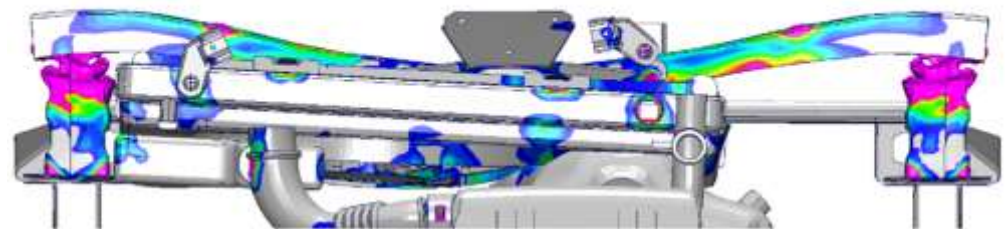
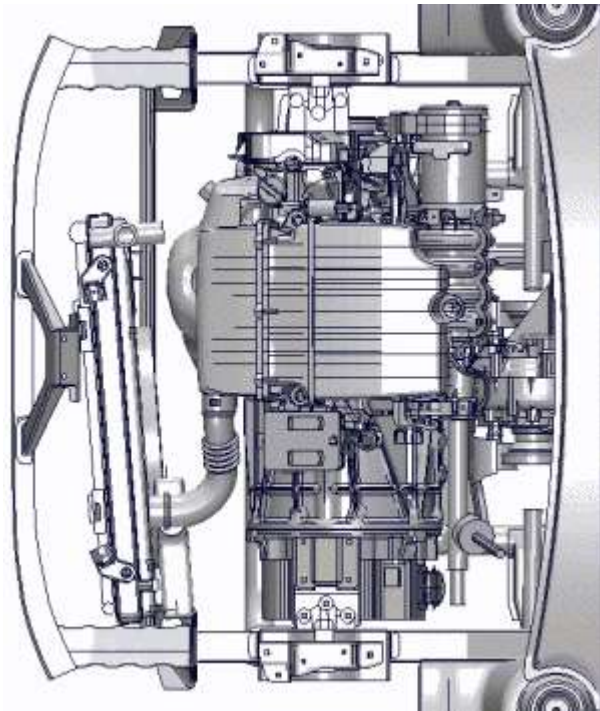
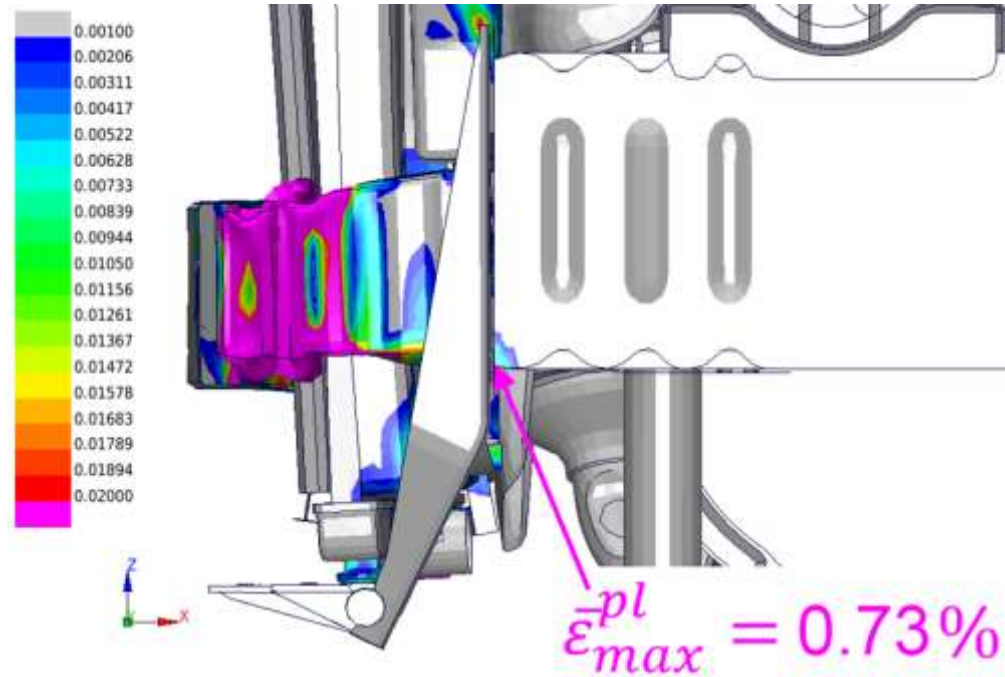
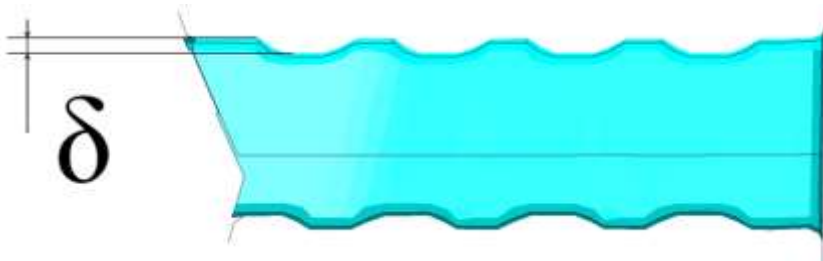
Толщина штампованных деталей краш-бокса	ϵ_{max}^p
1.50 мм	6.21 %
1.25 мм	2.64 %
1.00 мм	0.73 %

Проникновение в подкапотное пространство



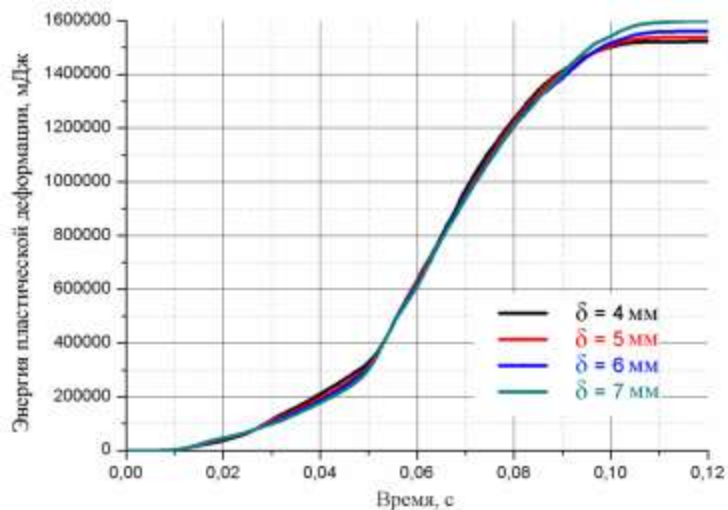
Различная глубина гофра краш-бокса

Распределение пластических деформаций в передней части кузова автомобиля при $\delta=4$ мм

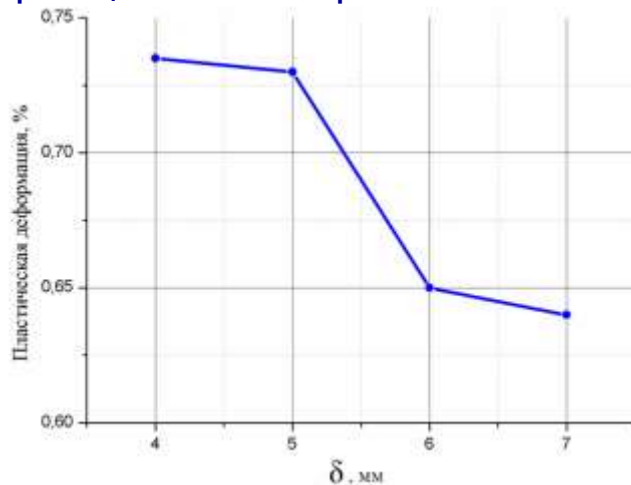


Различная глубина гофра краш-бокса

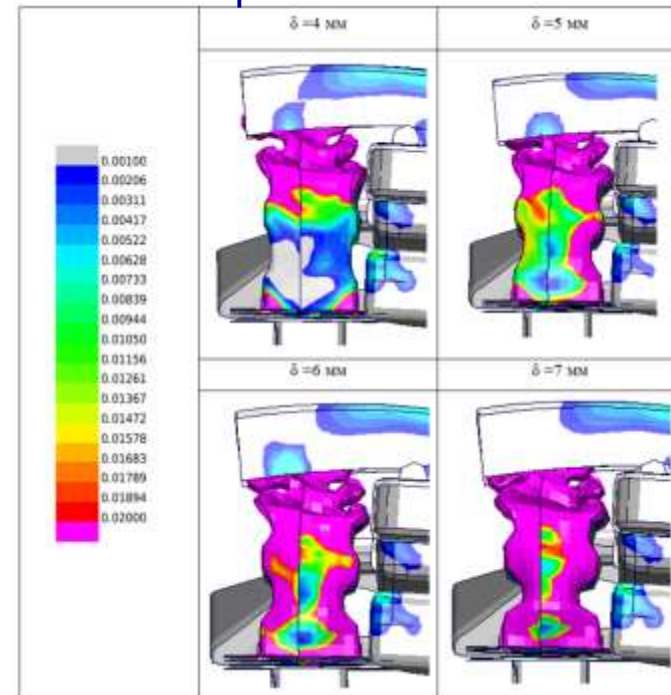
Энергия пластических деформаций в краш-боксе



Значения максимальной пластической деформации в лонжероне от величины δ



Распределение пластических деформаций в краш-боксе

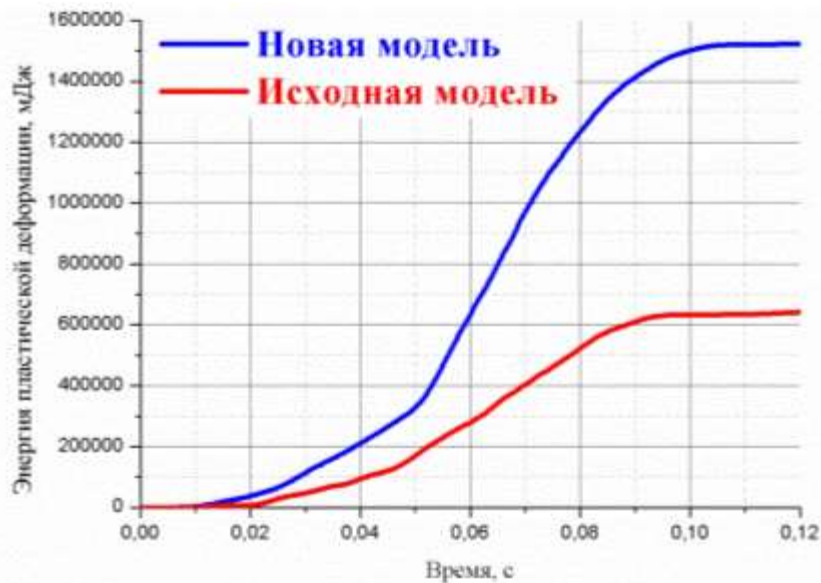


Деформированное состояние в результате столкновения



Сравнение результатов

Энергия пластических деформаций в краш-боксе



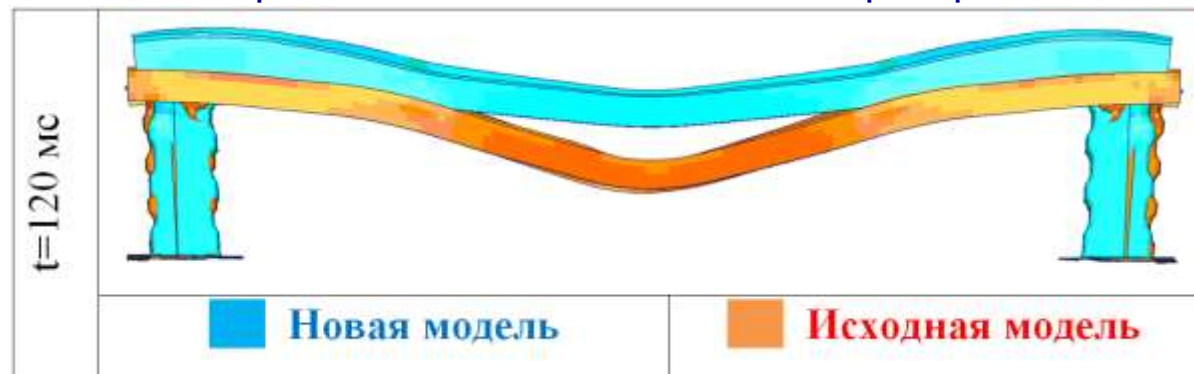
Распределение пластических деформаций в краш-боксе



Значения максимальной пластической деформации в лонжероне

	сталей
Новая модель	0.73 %
Исходная модель	2.64%

Проникновение в подкапотное пространство





Выводы

- Проведено исследование конструкции поглощения энергии автомобиля.
- Была решена серия задач, в которых предлагались различные материалы и толщины штампованных деталей краш-бокса с целью уменьшения жесткости конструкции поглощения энергии.
- Было проведено исследование влияния формы балки усилителя бампера на механизм смятия краш-бокса.
- В результате решения серии динамических задач контактного взаимодействия, получена зависимость значений максимальной эквивалентной пластической деформации в лонжероне от глубины гофра штампованных деталей краш-бокса.
- В результате исследования была выбрана лучшая из рассмотренных вариантов конструкция бампера. Было показано, что по сравнению с исходной моделью, максимальная поглощаемая энергия увеличилась в 2.5 раза, максимальная эквивалентная пластическая деформация в лонжероне уменьшилась в 3 раза, а проникновение барьера в подкапотное пространство автомобиля уменьшилось на 65 мм.



Спасибо за внимание!