



Бакалаврская работа
по направлению 150300 «Прикладная механика»

Конечно-элементное моделирование и исследование системы
крепления топливного бака автомобиля при циклических
нагрузках и боковом краш-тесте

Выполнил студент гр. 4053/1
Руководитель, к.т.н., проф.
Соруководитель, асс.

К.С. Матейкович
А. И. Боровков
О. И. Клявин

Санкт-Петербург
2013



Содержание

Введение

Глава 1. Теоретические основы расчетов. Метод конечных элементов

Глава 2. Типы конечных элементов и явный метод решения задач в программном комплексе ABAQUS

Глава 3. КЭ моделирование задачи столкновения шара с пластиной

3.1 Описание проблемы

3.2 КЭ постановка задачи. Численное решение

3.3 Модельная задача о высокоскоростном ударе с пробиванием металлической пластины

Глава 4. Конечно-элементное моделирование системы крепления топливного бака автомобиля

4.1 Введение

4.2 Описание проблемы

4.3 КЭ анализ системы крепления топливного бака автомобиля при циклических нагрузках

4.4 Конечно-элементный анализ поведения системы крепления топливного бака автомобиля при боковом краш-тесте EuroNCAP

Заключение

Список использованной литературы

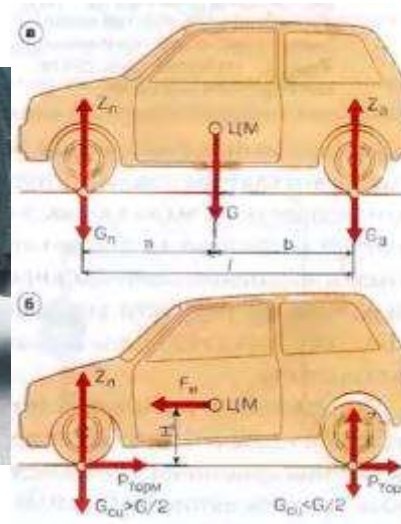
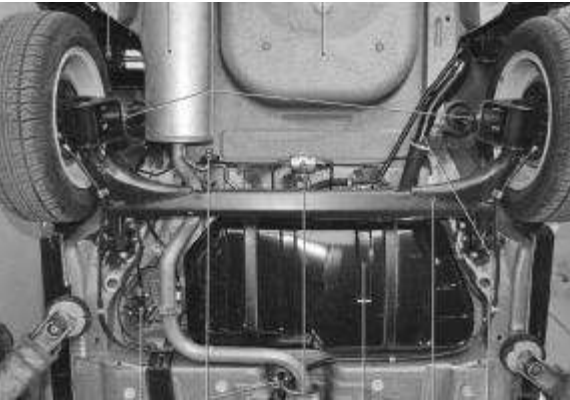


Цели работы

- 1) Исследование поведения системы крепления топливного бака при циклических нагрузках. Определение усталостной прочности.
- 2) Исследование поведения системы крепления топливного бака при ударных воздействиях. Оценка таких параметров как: пластические деформации, максимальные напряжения, прочность в условиях проведения бокового краш-теста EuroNCAP.



КЭ анализ системы крепления топливного бака автомобиля при циклических нагрузках



Для определения расчетного количества циклов (минимальное количество циклов нагружения, которое должна выдерживать система крепления) рассмотрим автомобиль с пробегом 100 тыс. км. Предположим, что проезд через выступающее препятствие на дороге приходится осуществлять по 10 раз на каждый километр пробега. Равномерное ускорение-торможение – тоже по 10 раз. Повороты на высокой скорости – 1 раз на 10 километров, а экстренное торможение – 1 раз на каждые 100 километров. Пересчитаем предложенные значения на 100 тыс. км пробега, получим:

Проезд через выступающее препятствие – 10^6 циклов, равномерное разгон-торможение – 10^6 циклов, экстренный поворот на большой скорости – 10^5 , аварийное торможение – 10^3 циклов.



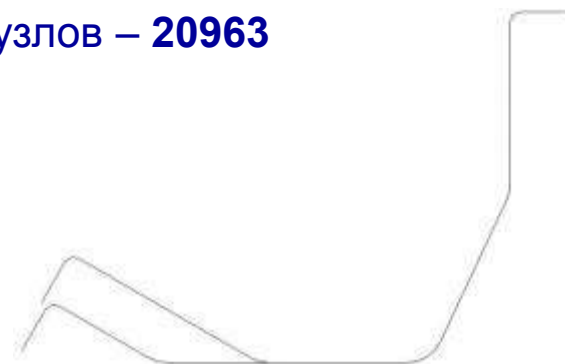
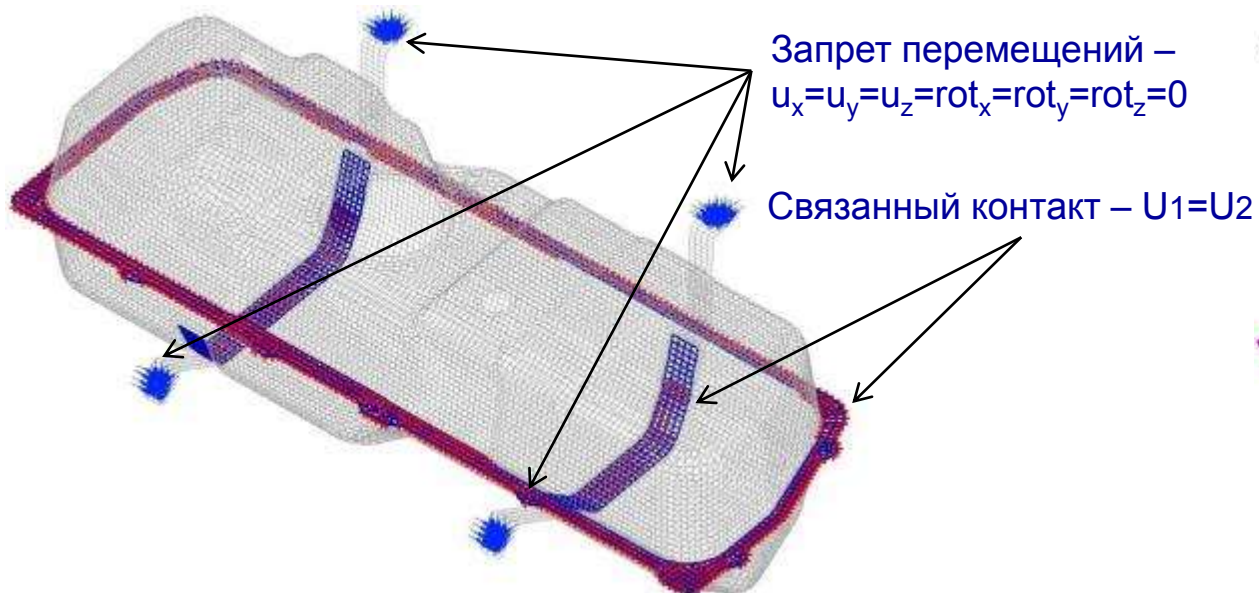
КЭ постановка задачи



Количество КЭ – **20593**
(S4 – 20149, S3 – 444)

количество узлов – **20963**

КЭ модель топливного бака и системы крепления



Профиль хомутов крепления

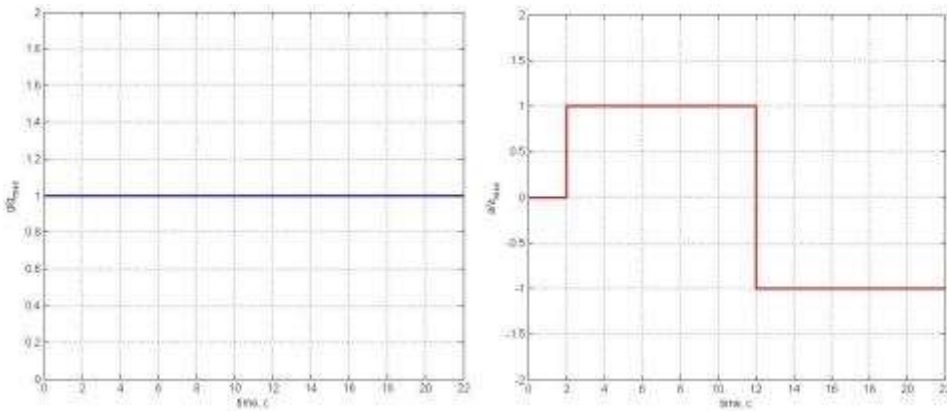


КЭ модель с заданными граничными условиями

КЭ модель с распределенной массой

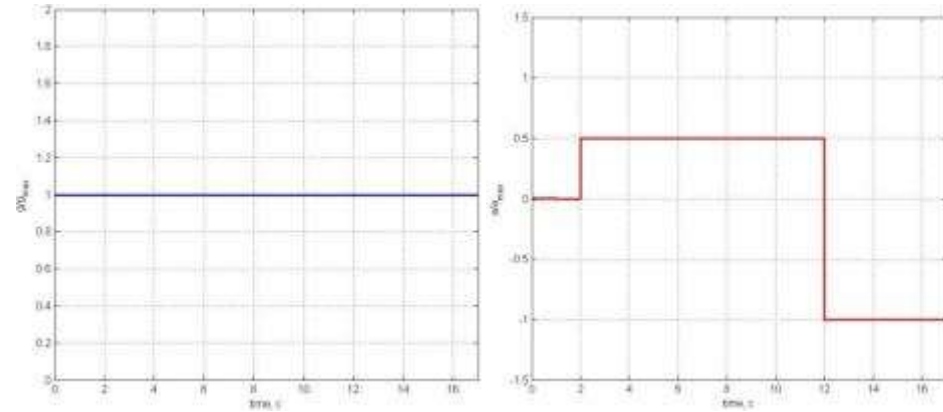


1) Штатное ускорение-торможение



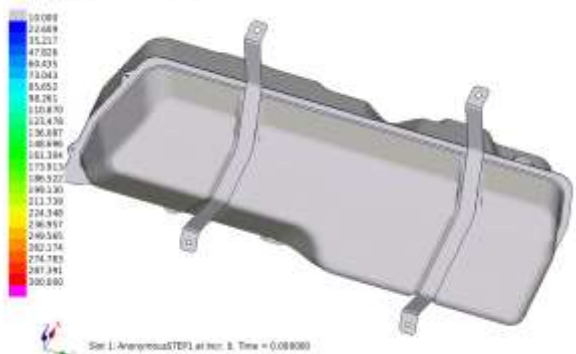
Зависимость ускорений от времени

2) Аварийное торможение



Зависимость ускорений от времени

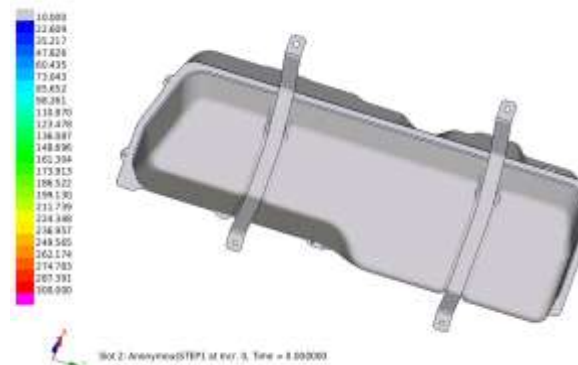
Element: Stress components (E) Von Mises @ Max



Поля напряжений и смещений в зависимости от времени

$$\sigma_{max} = 171.4 \text{ МПа}$$

Element: Stress components (E) Von Mises @ Max



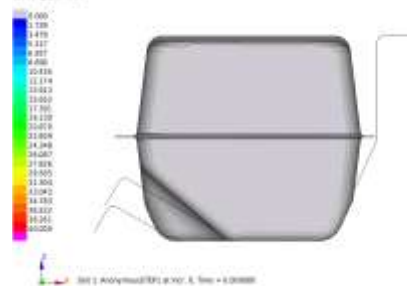
Поля напряжений и смещений в зависимости от времени

$$\sigma_{max} = 246.5 \text{ МПа}$$

Total Displacement



Total Displacement



Total Displacement

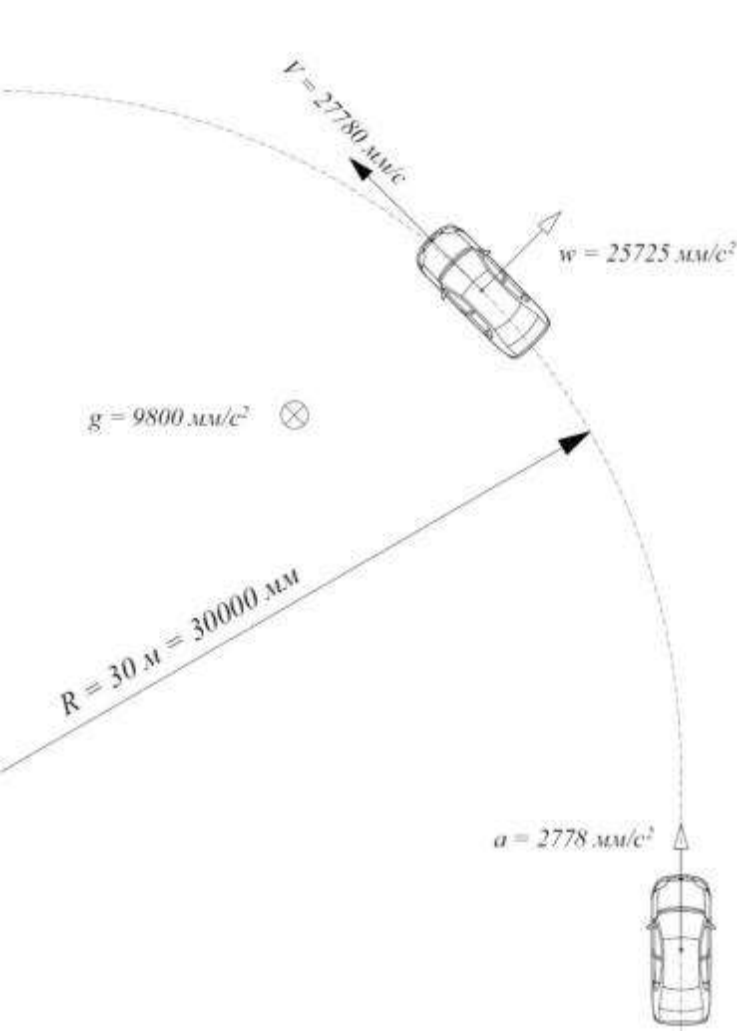


Total Displacement

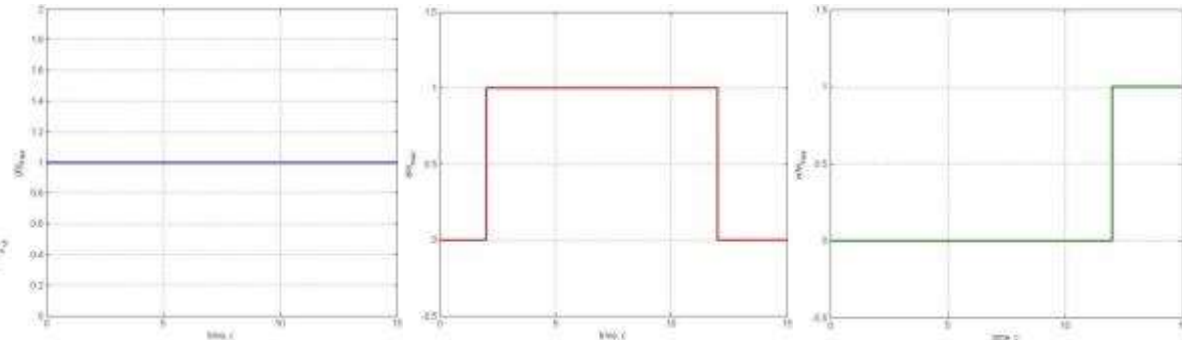




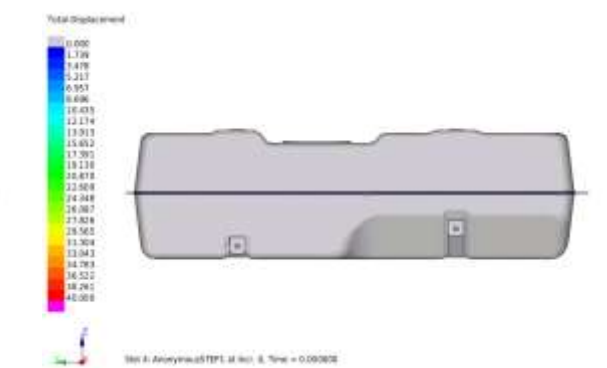
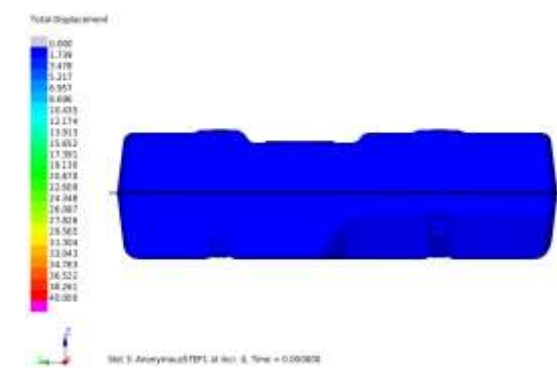
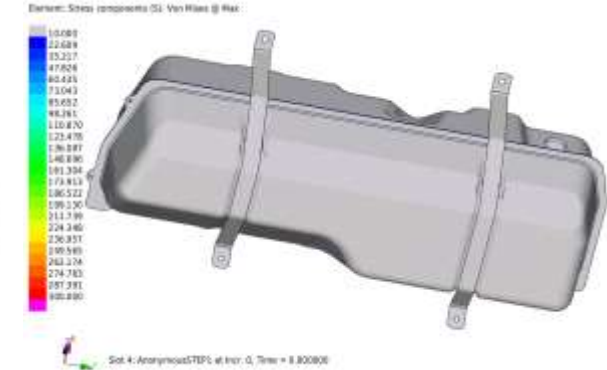
3) Прохождение поворота на высокой скорости



Схематичное изображение моделируемой ситуации

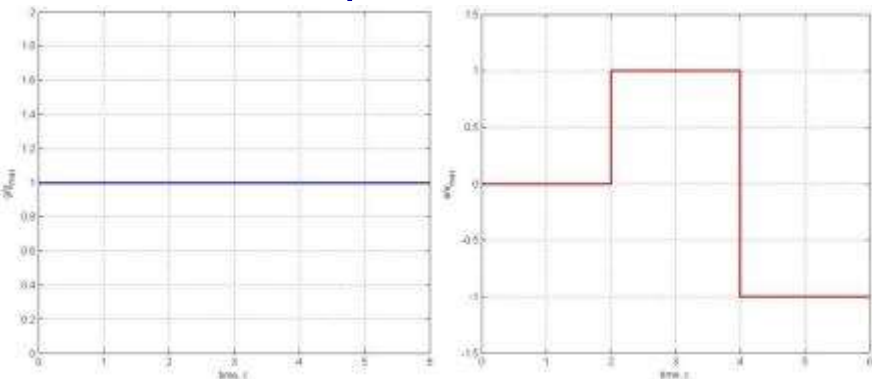


Зависимость ускорений от времени





4) Проезд через выступающее препятствие



Зависимость ускорений от времени

Element, Stress Components (SI), Von Mises (M) Max



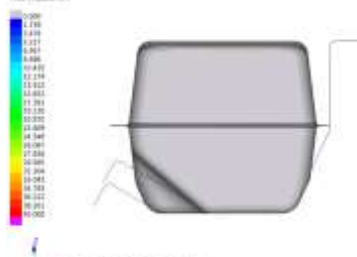
Поля напряжений и смещений в зависимости от времени

$$\sigma_{max} = 210.5 \text{ МПа}$$

Total Displacement

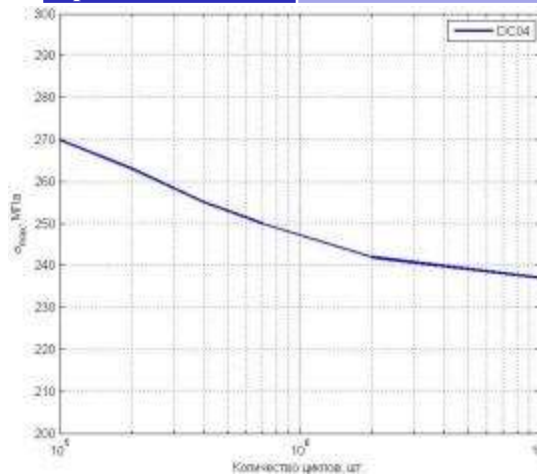


Total Deformation



Сравнение результатов

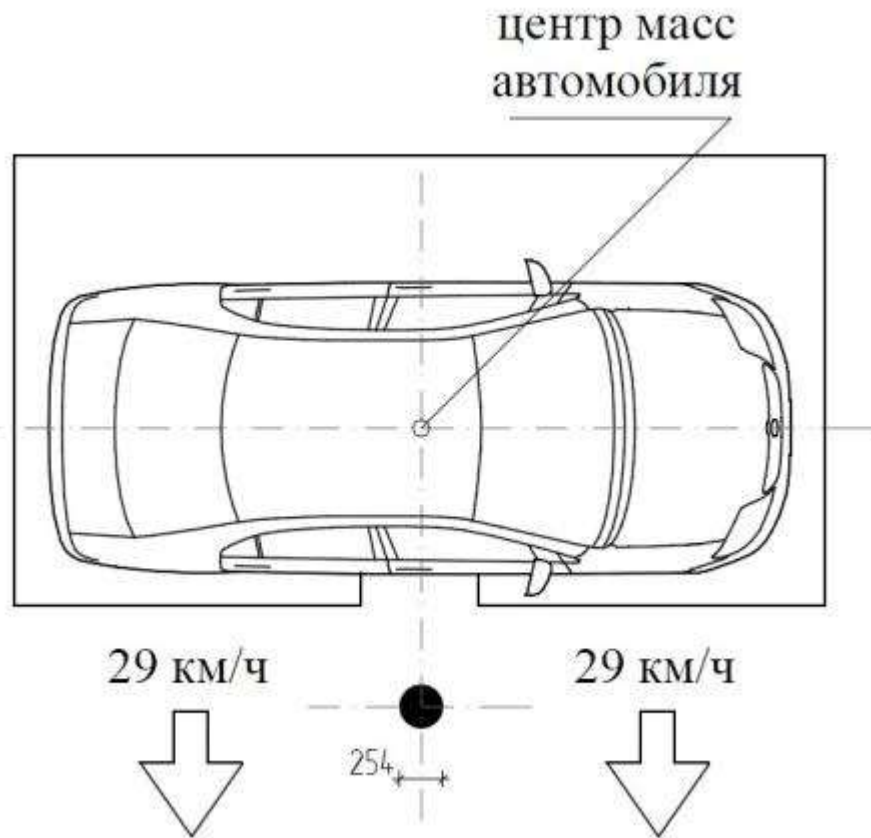
Моделируемый процесс	Максимальное значение напряжения, МПа	Расчетное количество циклов, шт.	Количество циклов, полученное методом КЭ анализа, шт.
Равномерное ускорение и торможение	197.5	10^6	$>10^7$
Аварийное торможение	246.5	10^3	10^6
Левый поворот на высокой скорости	215.1	10^4	$>10^7$
Правый поворот на высокой скорости	184.9	10^4	$>10^7$
Проезд через выступающее препятствие	210.5	10^6	$>10^7$



Кривая усталости для стали марки 08кп



КЭ анализ системы крепления топливного бака автомобиля при боковом краш-тесте

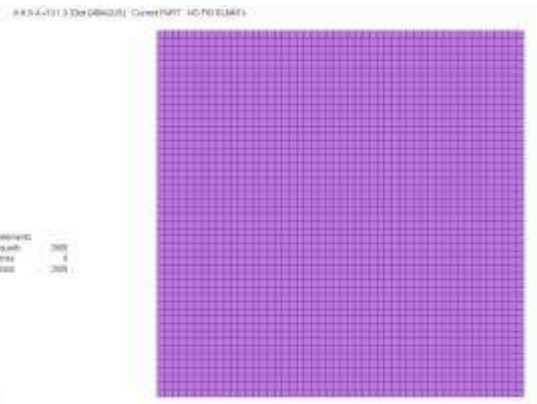


Не допускается:

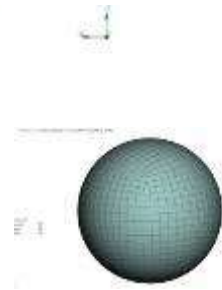
- 1) Контактное взаимодействие бака с частями кузова
- 2) Пробой топливного бака
- 3) Разрушение системы крепления



Модельная задача



КЭ модель



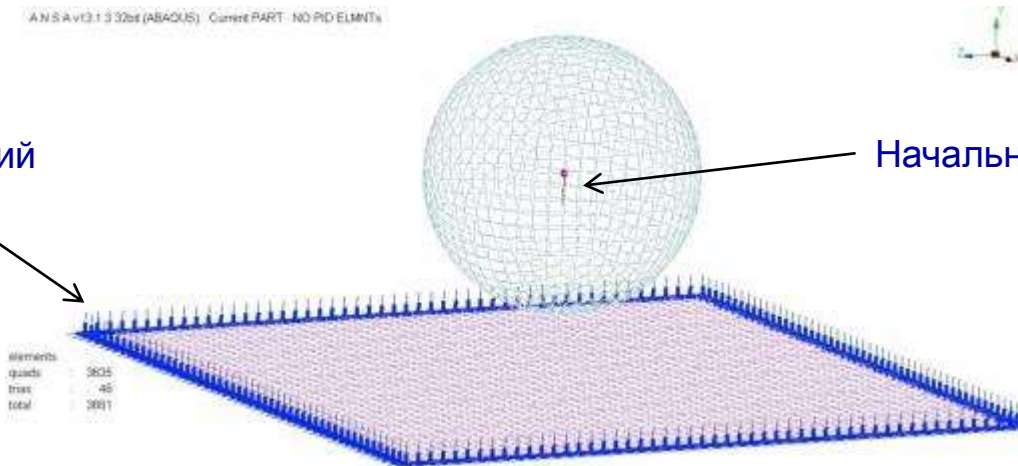
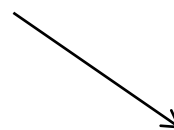
Пластина:
количество КЭ – **2500**; количество узлов – **2601**.
Шар:
количество КЭ – **1181**; количество узлов – **1160**.

Пластина 100x100 мм
Шар радиусом 20 мм

материал – сталь (плотность – $7.8 \cdot 10^{-9}$ т/мм³; модуль Юнга – $2.1 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона – 0.3)

Начальная скорость шара 100 м/с.

Запрет перемещений

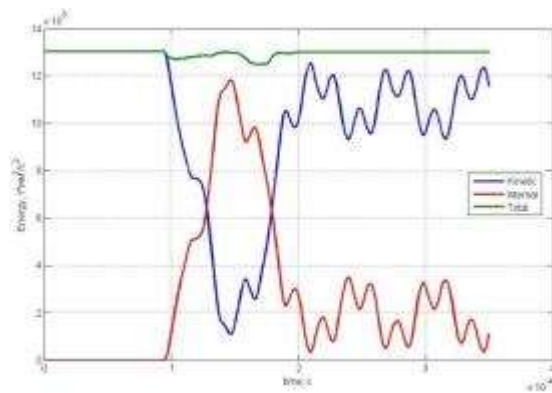
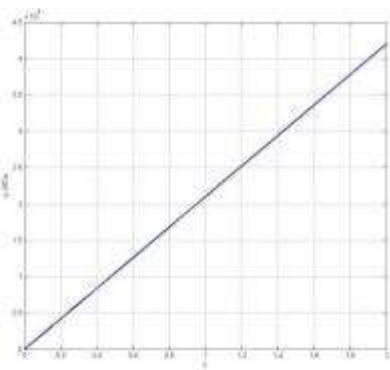


Начальная скорость $V_0=100$ м/с

КЭ модель с заданными граничными и начальными условиями



1) Упругая модель пластины



Зависимость энергии системы от времени

2) Упруго-пластическая модель пластины

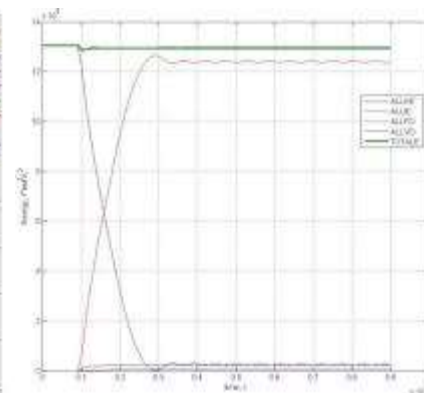
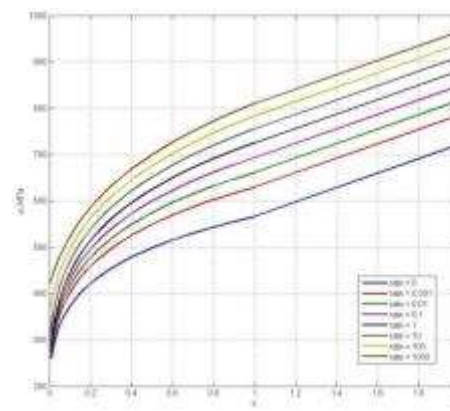
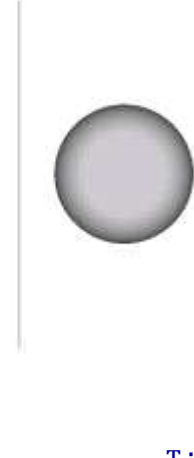
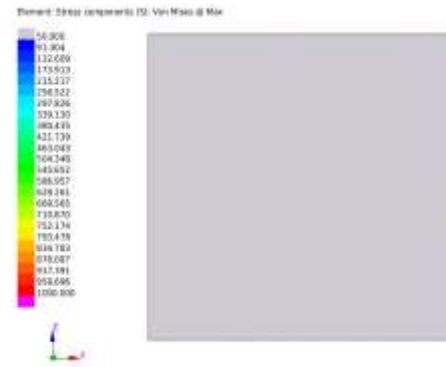
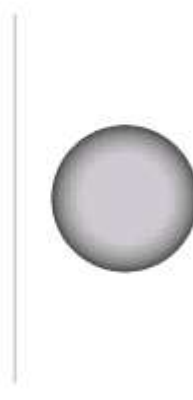
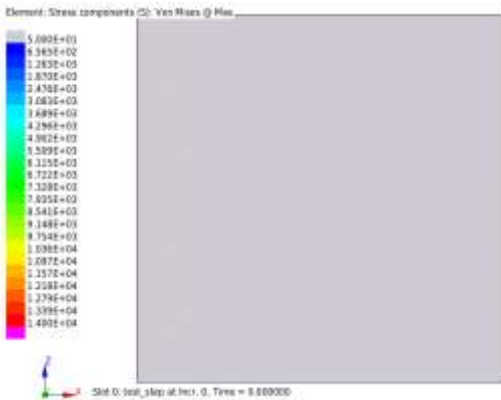


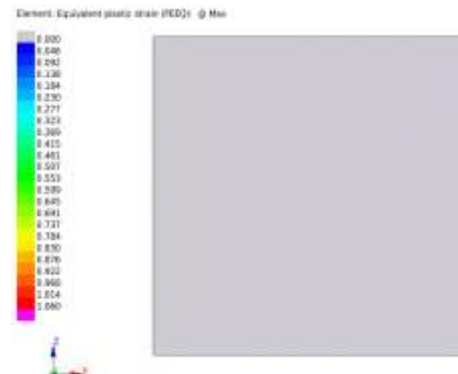
диаграмма зависимостей напряжения деформации



$$E = m \frac{V^2}{2} = 1306900 \frac{\text{Т} \cdot \text{мм}^2}{\text{с}^2}$$

$$E_{\text{кЭ}} = 1302303 \frac{\text{Т} \cdot \text{мм}^2}{\text{с}^2}$$

Максимальное напряжение, возникающее в пластине в процессе взаимодействия с шаром, равно 13760 МПа.
Разница энергий 0.003%



$$E = m \frac{V^2}{2} = 1306900 \frac{\text{Т} \cdot \text{мм}^2}{\text{с}^2}$$

$$E_{\text{кЭ}} = 1294735 \frac{\text{Т} \cdot \text{мм}^2}{\text{с}^2}$$

Максимальное напряжение, 811 МПа.
Разница энергий 0.093%



3) Упруго-пластическая модель пластины с условиями разрушения

Критерии разрушения:

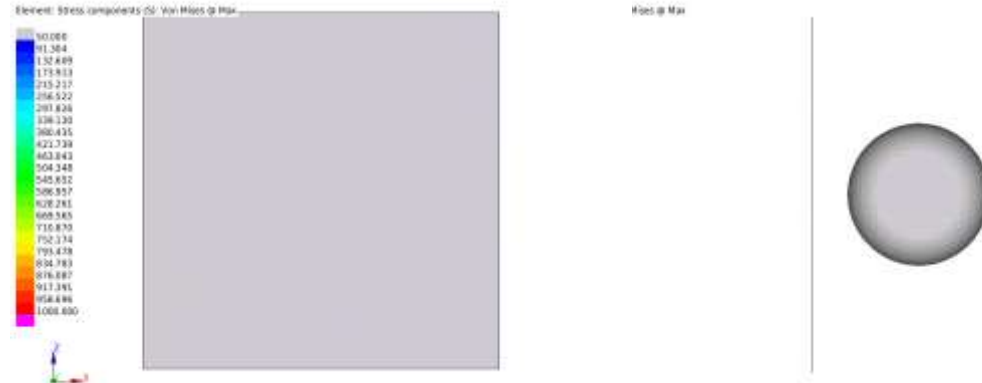
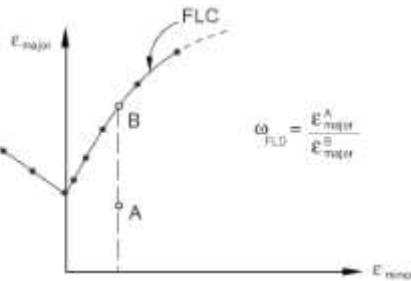
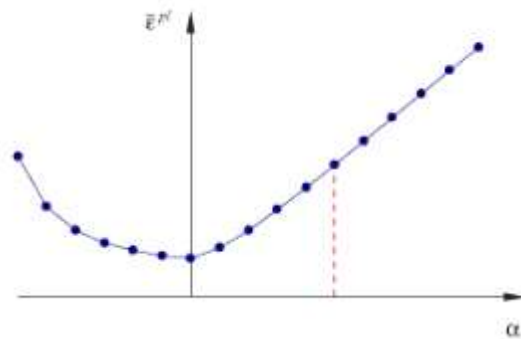


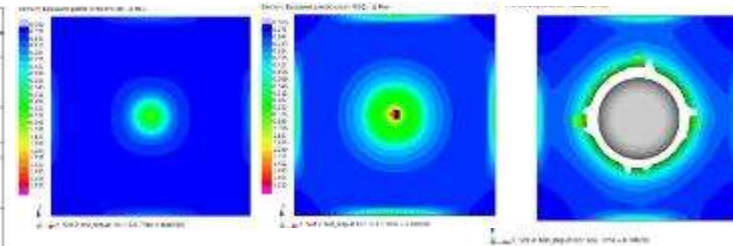
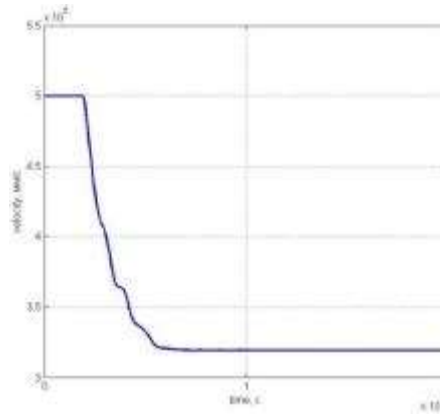
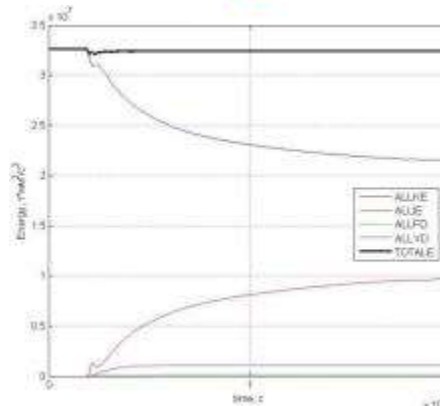
Диаграмма предельного формования

$$\omega_{FLD} = \frac{\epsilon_{major}}{\epsilon_{major}^{FLD}(\epsilon_{minor})} = 1$$



диаграмму предельного формования
Мюшенборна-Зонне

$$\omega_{MSFLD} = \frac{\bar{\epsilon}^{pl}}{\bar{\epsilon}_{MSFLD}^{pl}(\alpha)} = 1$$



Эквивалентные пластические деформации
при скорости 100 м/с, 195 м/с, 500 м/с.

$$V_0 = 500000 \frac{\text{MM}}{\text{c}}; V_k = 319295 \frac{\text{MM}}{\text{c}}$$

$$\frac{V_0 - V_k}{V_0} = \frac{180705}{500000} \approx 0.36$$

где V_0 – начальная скорость шара, V_k –
конечная скорость шара. В результате
взаимодействия с пластиной, шар потерял
36% своей скорости. Это означает, что
 $(1 - 0.64 \cdot 0.64) \cdot 100\% = 59.04\%$ его
кинетической энергии перешло пластине.



Модельная задача о высокоскоростном ударе с пробиванием металлической пластины

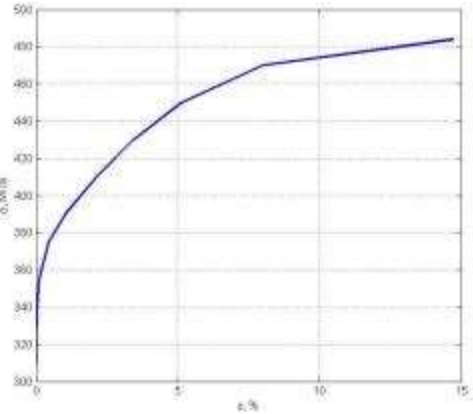
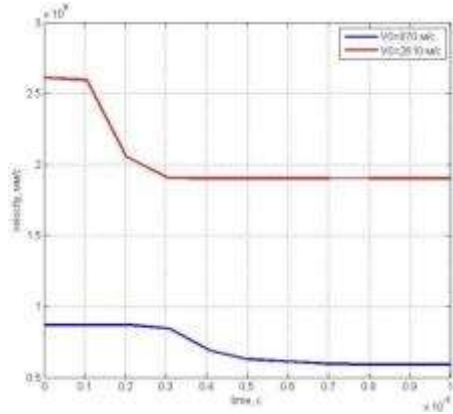
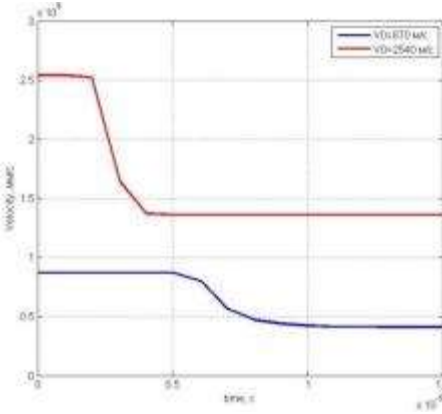


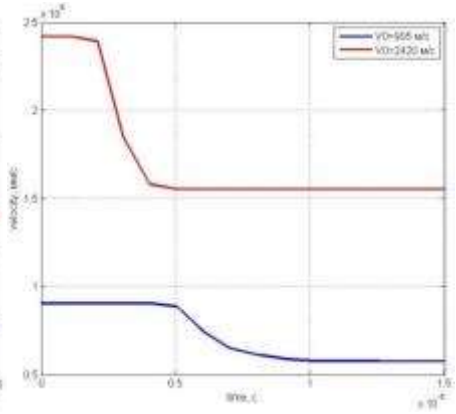
диаграмма зависимостей
напряжения-деформации для
сплава AL 2024-T3



d=6.35 мм, h=3.18 мм



d=6.35 мм, h=6.35 мм



d=9.52 мм, h=3.18 мм

Скорость ударника в зависимости от времени

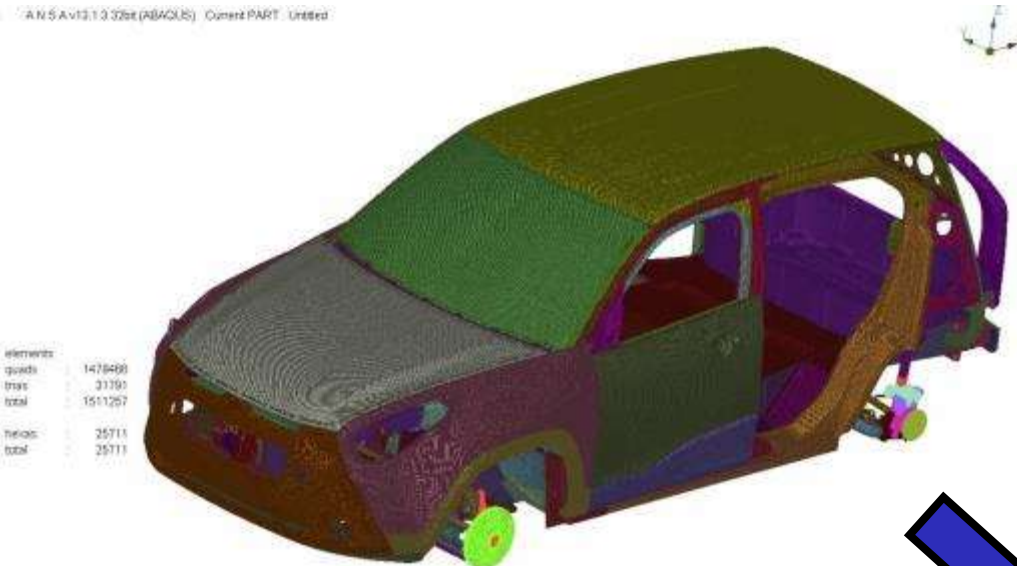
Диаметр ударника (d), мм	Толщина пластины (h), мм	Начальная скорость ударника (V0), *10 ³ мм/с	Конечная скорость ударника (Vk), *10 ³ мм/с	Конечная скорость ударника (Vk), *10 ³ мм/с	Разница результатов, %	Конечная скорость ударника (Vk), *10 ³ мм/с	Разница результатов, %
6.35	3.18	870	595	685	13	595	0
		2610	1910	2230	14	1937	1
	6.35	870	415	457	9	411	1
		2540	1370	1900	28	1499	8
9.52	6.35	905	580	688	15	566	2
		2420	1590	1775	10	1681	5
			Численное решение	Эксперимент. данные*		Аналитич. результаты*	

* - Awerbuch J., Bodner S.R. – International Journal Solids Structures, 1974, v. 10, p. 685-699.



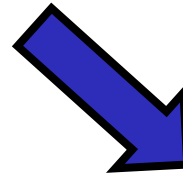
Построение КЭ модели

ANSYS Av12.1.0.326e (ABAQUS) - Cment PART: Untitled

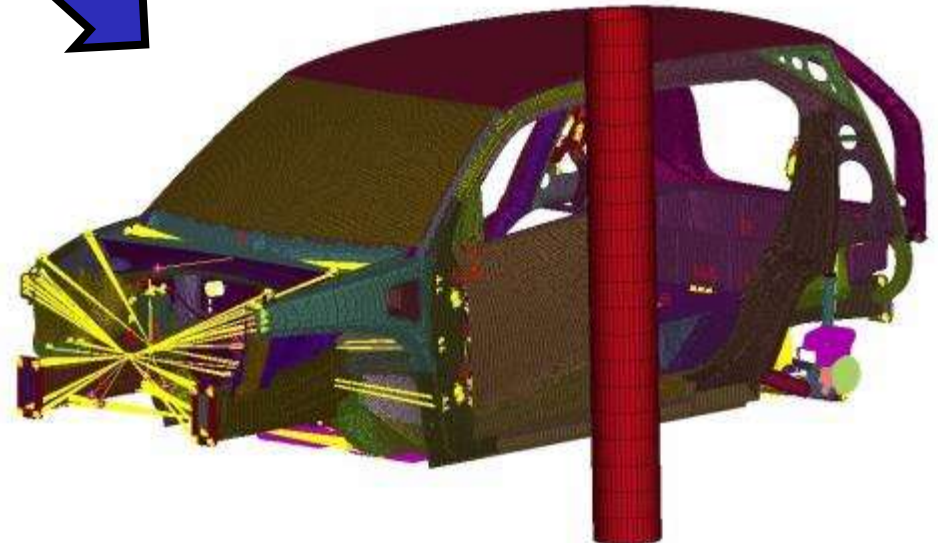


elements	1470498
quads	31791
total	1502289
nodes	25711
total	25711

КЭ модель автомобиля
разработанная инженерами
лаборатории CompMechLab



КЭ модель, используемая при решении
задачи

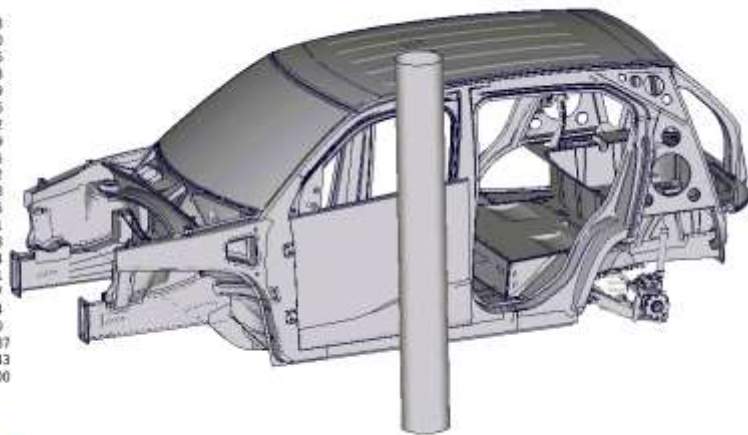
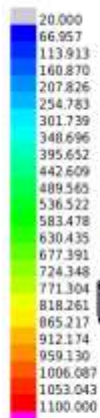


Модель содержит **1013498** оболочечных
КЭ и **2509** твердотельных элемента



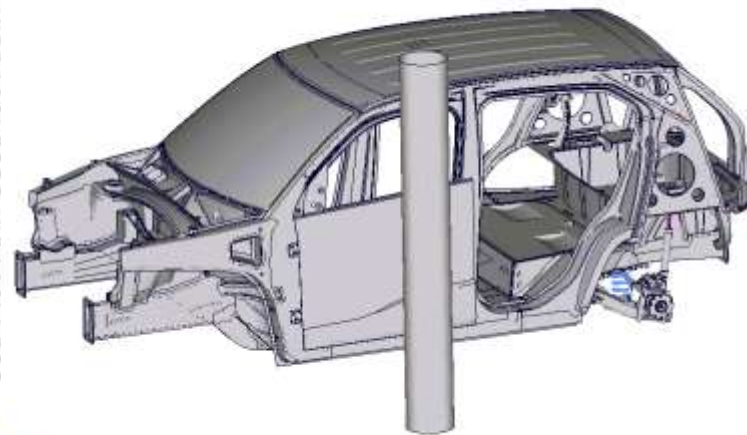
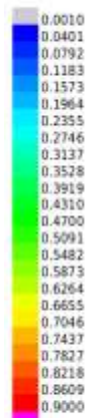
Результаты КЭ решения

Element: Stress components (S): Von Mises @ Max



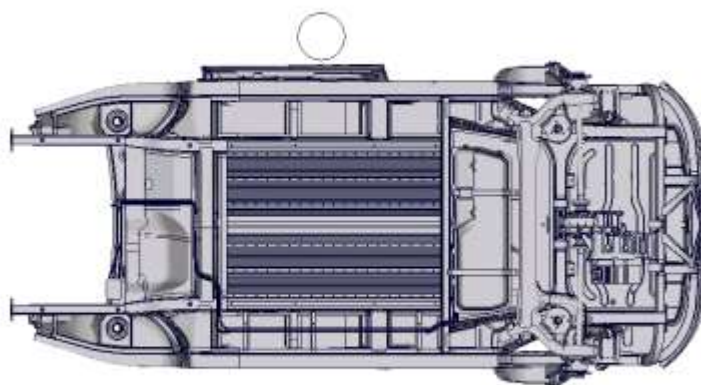
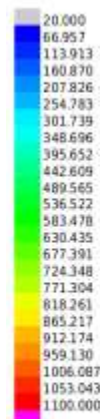
Slot 2: test_step at Incr. 0, Time = 0.000000

Element: Equivalent plastic strain (PEEQ): @ Max



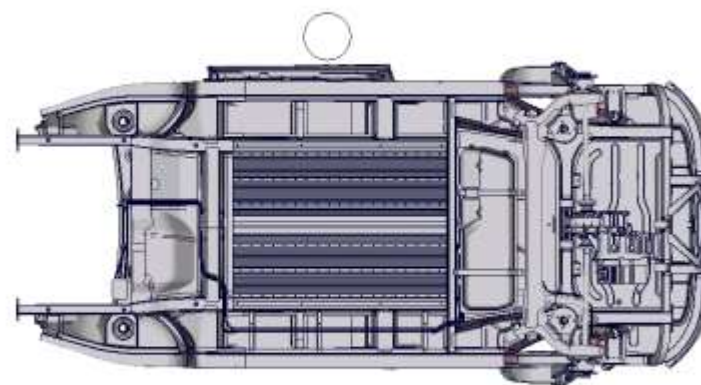
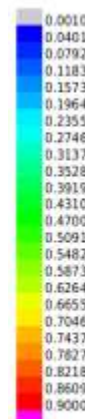
Slot 2: test_step at Incr. 0, Time = 0.000000

Element: Stress components (S): Von Mises @ Max



Slot 2: test_step at Incr. 0, Time = 0.000000

Element: Equivalent plastic strain (PEEQ): @ Max



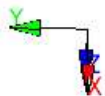
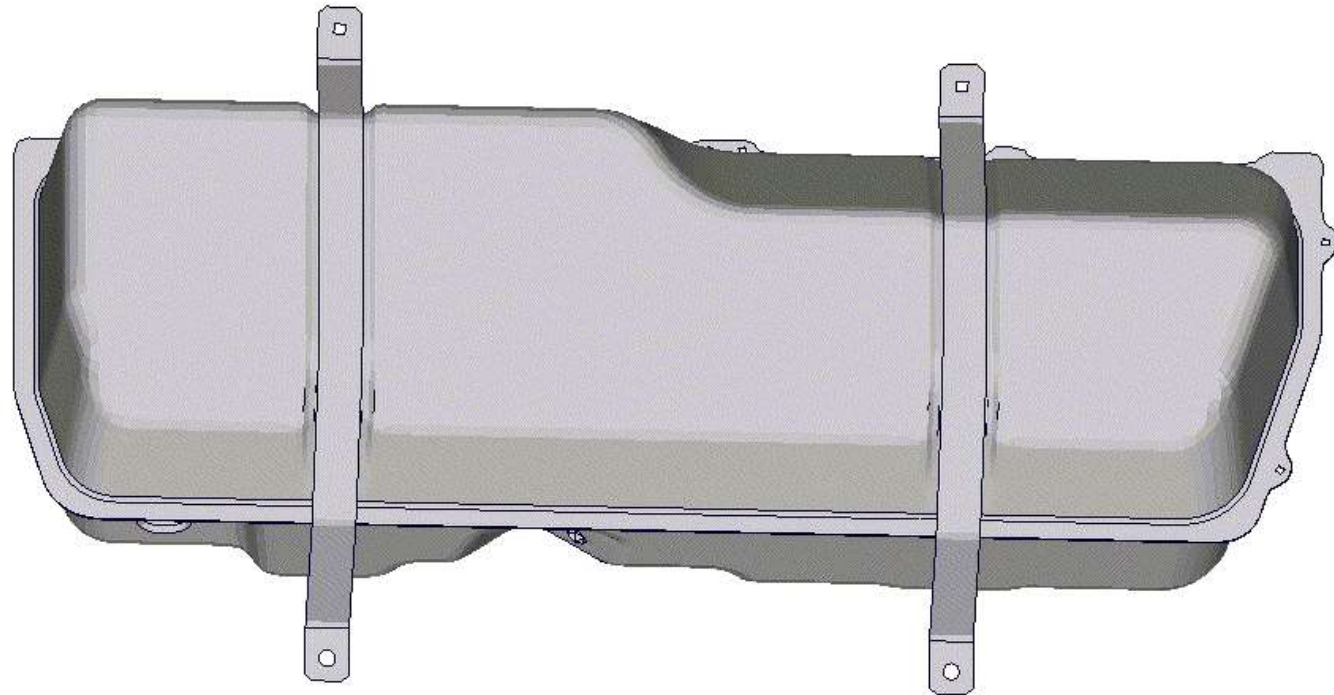
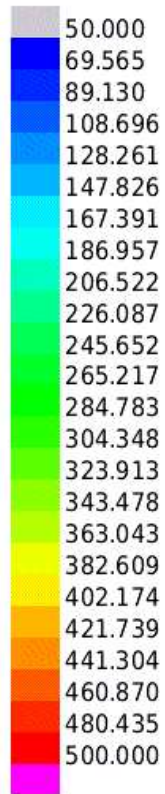
Slot 2: test_step at Incr. 0, Time = 0.000000

Поля эквивалентных по Мизесу напряжений

Поля эквивалентных пластических деформаций



Element: Stress components (S): Von Mises @ Max

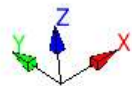
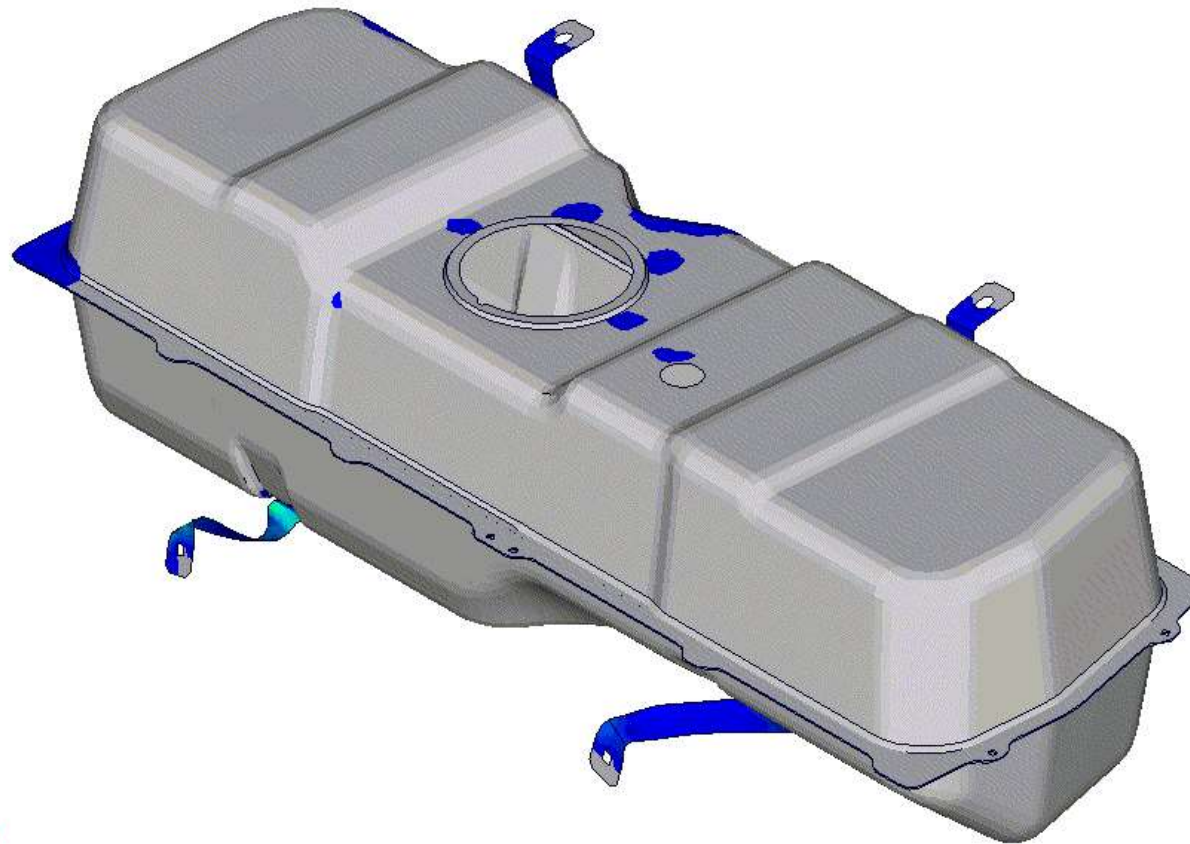
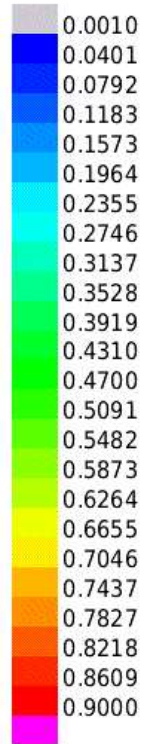


Slot 2: test_step at Incr. 0, Time = 0.000000

Поля эквивалентных по Мизесу напряжений в зависимости от времени. Максимальное напряжение $\sigma|_{t=0.12} = 486.309$ МПа

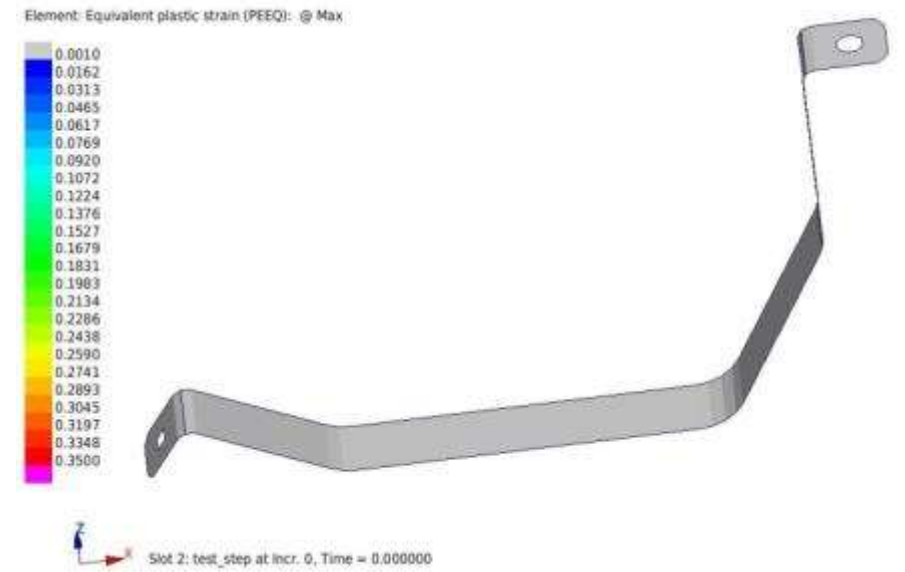
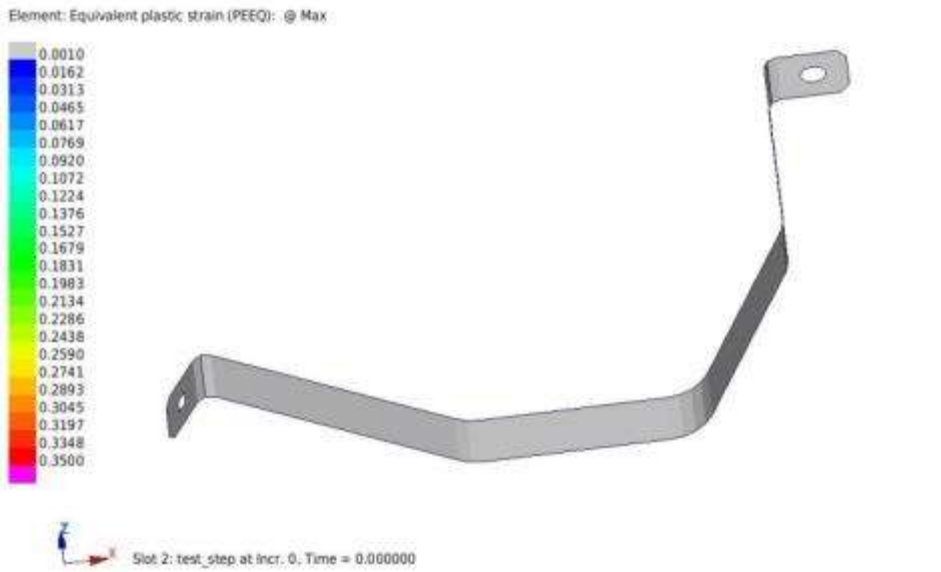


Element: Equivalent plastic strain (PEEQ): @ Max

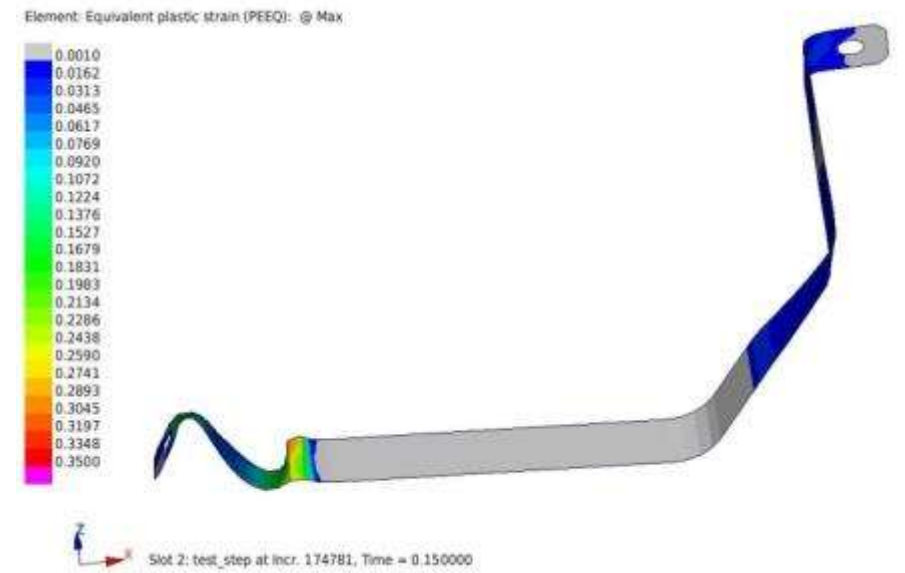
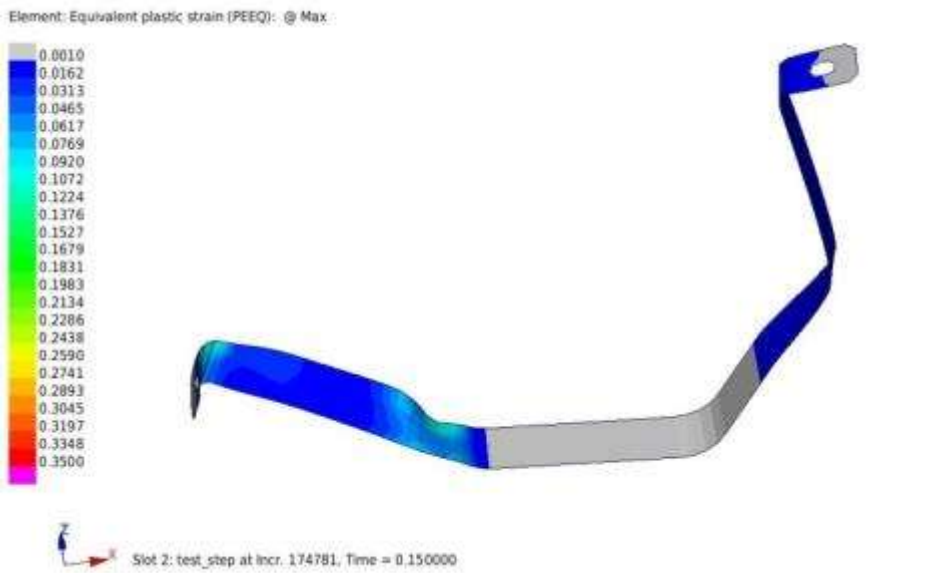


Slot 2: test_step at Incr. 174781, Time = 0.150000

Поля эквивалентных пластических деформаций в зависимости от времени. Максимальная деформация 0.3025



Форма хомутов крепления до и после удара





Заключение

- 1) В данной работе было проведено конечно-элементное моделирование динамического процесса соударения шара и пластины. Рассмотрены различные варианты постановки задачи. Исследованы напряженные состояния, возникающие в пластине в процессе взаимодействия с шаром. В процессе исследования была рассмотрена модель динамического разрушения пластины. Описаны применяемые критерии разрушения.
- 2) Также, было проведено конечно-элементное моделирование эксперимента по пробиванию алюминиевой пластины металлическим пробойником. Приведено сравнение результатов, полученных экспериментальным, аналитическим и численным путем. Анализ полученных данных позволил объяснить расхождения с результатами эксперимента. Выводы, полученные при решении такой модельной задачи, были использованы в следующем КЭ моделировании.
- 3) Был проведен КЭ анализ системы крепления топливного бака автомобиля при аварийных ситуациях. Рассмотрено поведение и напряженное состояние хомутов крепления при резком торможении и повороте автомобиля. Полученные результаты позволили определить количество циклов нагружения, которые система крепления способна выдержать до разрушения. Были определены наиболее напряженные (а следовательно и опасные) участки системы крепления топливного бака.
- 4) В работе представлено КЭ моделирование бокового краш-теста автомобиля. При этом моделировалось контактное ударное взаимодействие с недеформируемым столбом. Было определено поведение топливного бака и его системы крепления, определены пластические деформации хомутов после взаимодействия. Выявлены наиболее опасные участки крепления.
- 5) На основе проведенных исследований было сделано заключение об исправной работе системы крепления топливного бака в рассматриваемых задачах.

В качестве продолжения работы, можно рассмотреть возможные варианты улучшения конструкции крепления топливного бака. Постараться уменьшить перемещения бака при боковом ударе, а также рассмотреть его поведения при других краш-тестах, предусмотренных EuroNCAP. В качестве магистерской работы можно подробно остановиться на рассмотрении свойств и поведения клеевого соединения, которое прикрепляет бак к хомутам.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!