

Выпускная работа бакалавра техники и технологии

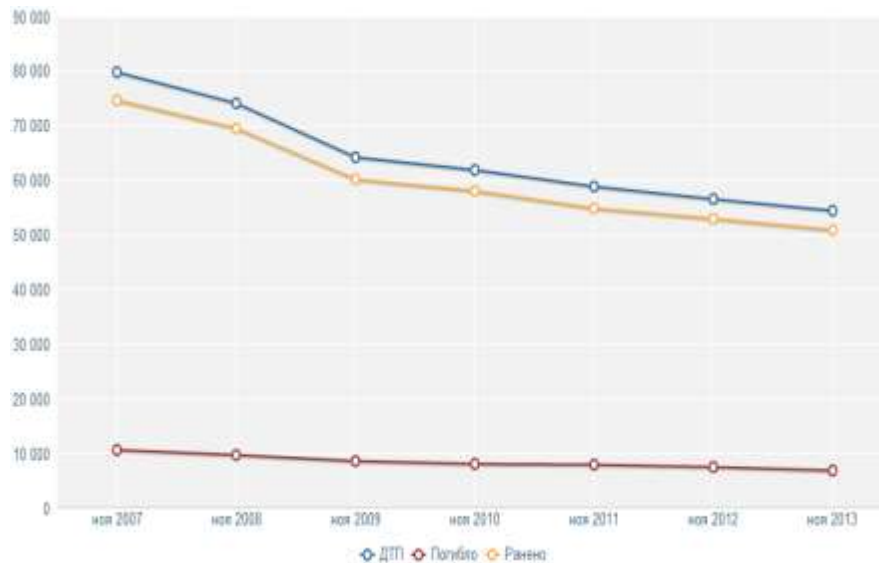
Многовариантная оптимизация капота легкового автомобиля с целью обеспечения безопасности пешеходов и сохранения функциональных свойств

Направление: 151600 – Прикладная механика

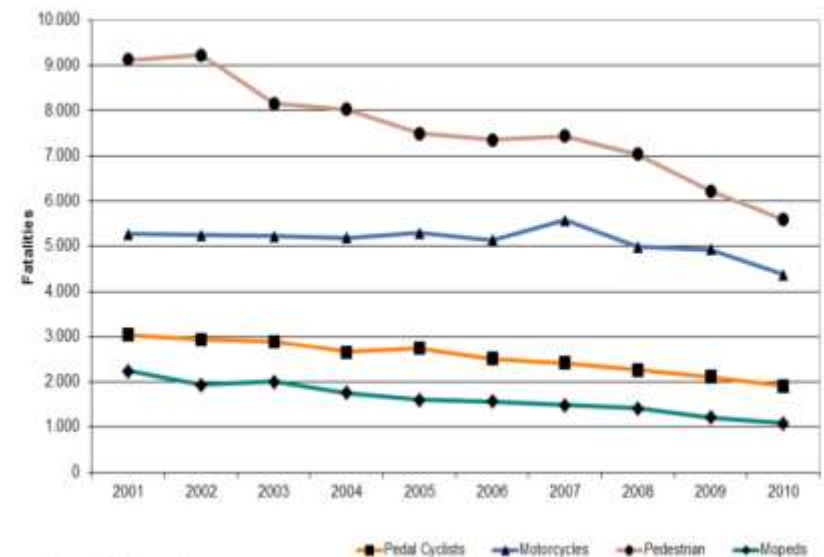
**Выполнил студент гр. 43602/2 И.Ф. Шандер
Руководитель, к.т.н., проф. А.И. Боровков
Соруководитель, О.И. Клявин**

**Санкт-Петербург
2014**

Введение

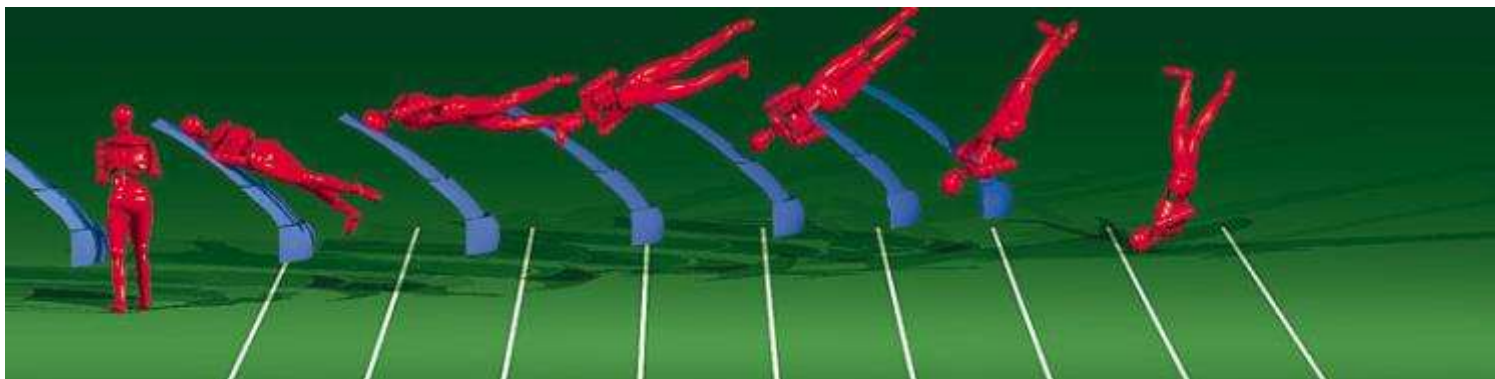


Динамика показателей смертности с наездами на пешеходов за 7 лет



Динамика показателей смертности участников дорожного движения в Европе с 2001 по 2010 год

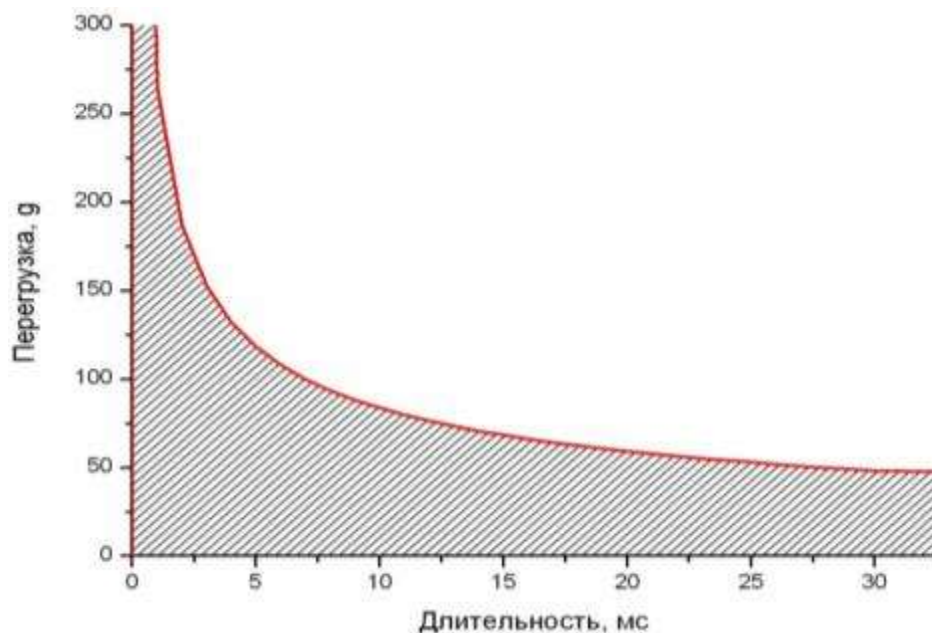
Кинематика наезда на пешехода



Критерий вероятности травмирования головы НИС

$$HIC = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2.5} \cdot (t_2 - t_1)$$

Кривая Уэйн-Стейта значений критической перегрузки в зависимости от времени её действия



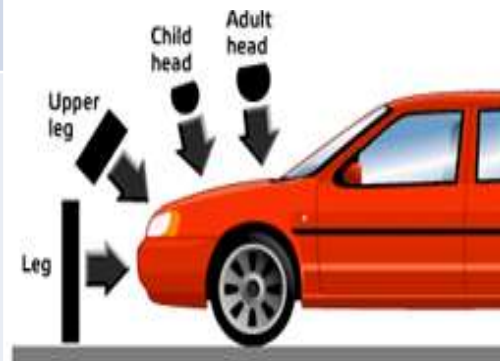
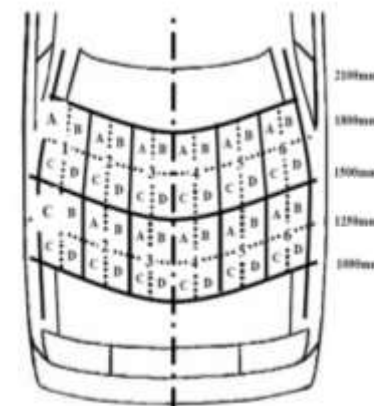
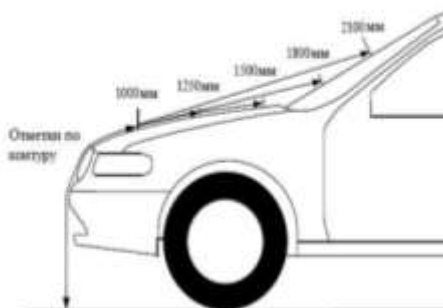
Следует отметить, что НИС, как и кривая Уэйн-Стейта, носит статистический характер и отображает лишь вероятную оценку травм головы.

Вероятность травмы головы при различных значениях НИС

НИС	Легкая травма	Средняя травма	Тяжелая травма	Смерть
0	0%	0%	0%	0%
250	40%	20%	0%	0%
500	80%	40%	2%	0%
750	95%	70%	4%	0%
1000	98%	90%	8%	2%
1250	100%	95%	10%	2%
1500	100%	98%	20%	4%
1750	100%	100%	45%	10%
2000	100%	100%	70%	30%
2250	100%	100%	90%	70%
2500	100%	100%	95%	90%
2750	100%	100%	98%	95%
3000	100%	100%	100%	100%

Оценка безопасности пешеходов при наезде автомобиля по международным сертификационным тестам EuroNCAP

Требования директивы ЕС 2003/102/EC Phase II



Масса ударника головы, кг

2.5/4.8

(Детский /Взрослый)

Скорость, м/с

11.11

Угол удара к горизонтали

65°/50°

(Взрослый/детский)

Максимально допустимый НИС

Хорошие результаты: <1000

Удовлетворительные: >1000

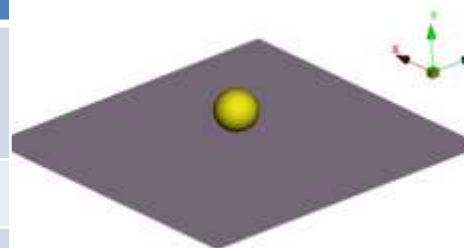
<1350

Плохие результаты:

> 1350

Модельная задача

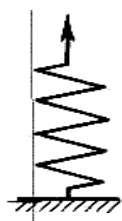
	Шар	Пластина
Геометрические размеры	d=260мм	1500мм*1500мм *1,2мм
Масса, кг	4	—
Скорость, км/ч	40	—



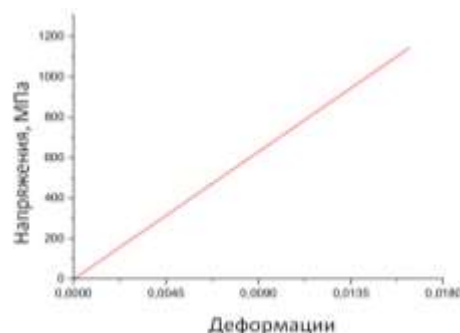
Модели материалов

Упругие свойства материала			
Материал	E, МПа	ρ, кг/м³	ν
Алюминий	7·10 ⁴	2700	0.33

Упругий материал



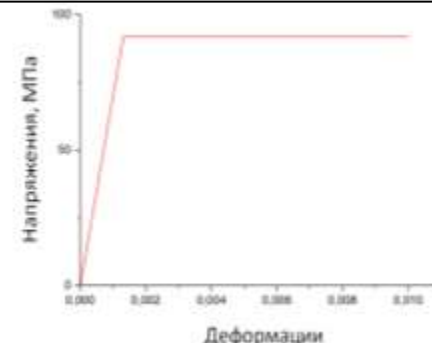
$$\sigma = E\varepsilon$$



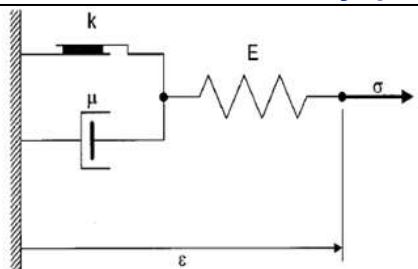
Упруго-пластичный материал



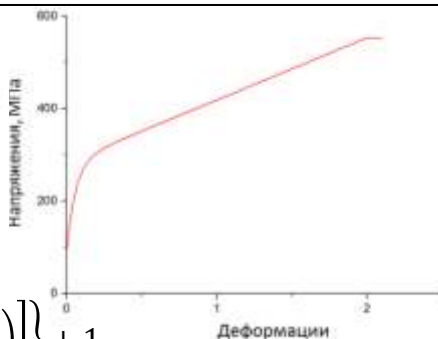
$$\begin{aligned} \sigma < \sigma_T & \quad \sigma = E\varepsilon \\ \sigma \geq \sigma_T & \quad \sigma = \sigma_T \end{aligned}$$



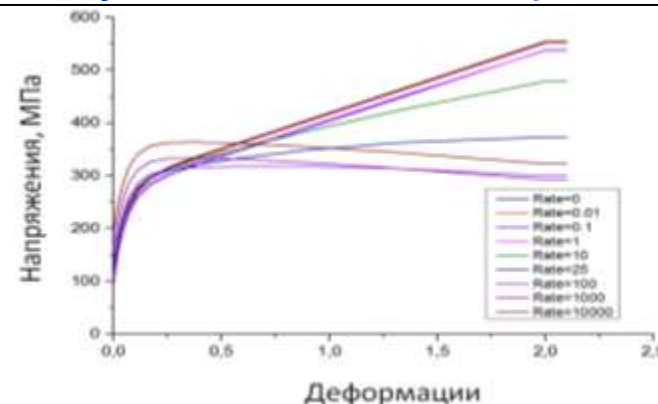
Упруго-пластичный материал с кинематическим упрочнением

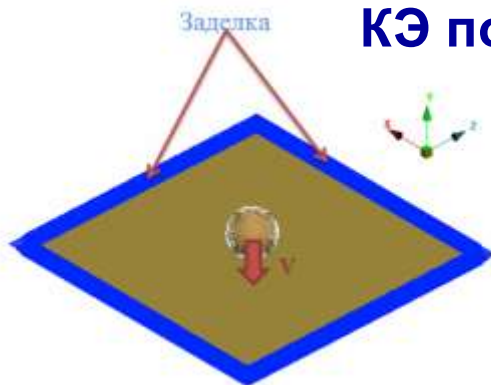


$$\frac{\sigma}{k} = \frac{\mu \dot{\varepsilon}}{k} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{k}{\mu \dot{\varepsilon}} \left(1 - \frac{E\varepsilon}{k} \right) \right] \right\} + 1$$



Упруго-пластичный материал с кинематическим упрочнением с учетом зависимости от скорости деформации





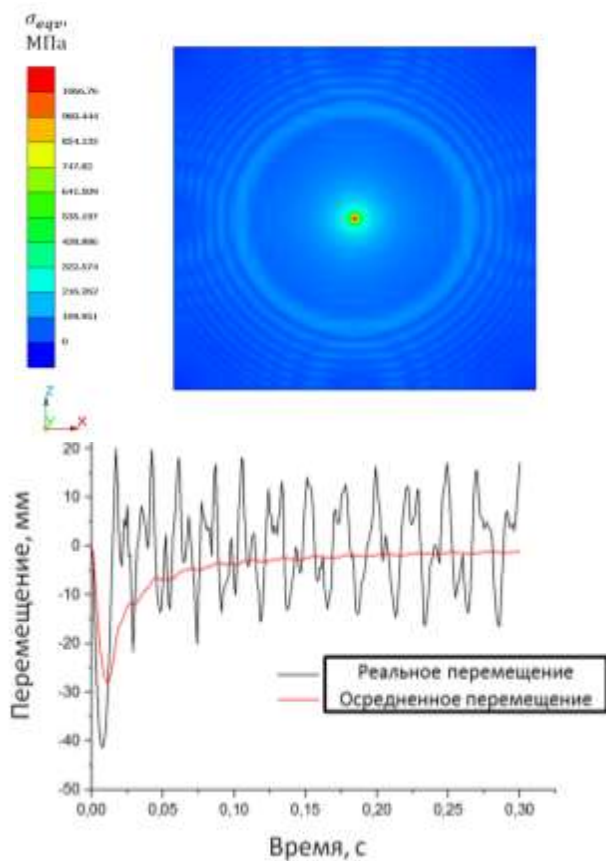
КЭ постановка и решение модельной задачи

Число элементов	Число узлов	Число степеней свободы
95133	98484	590904

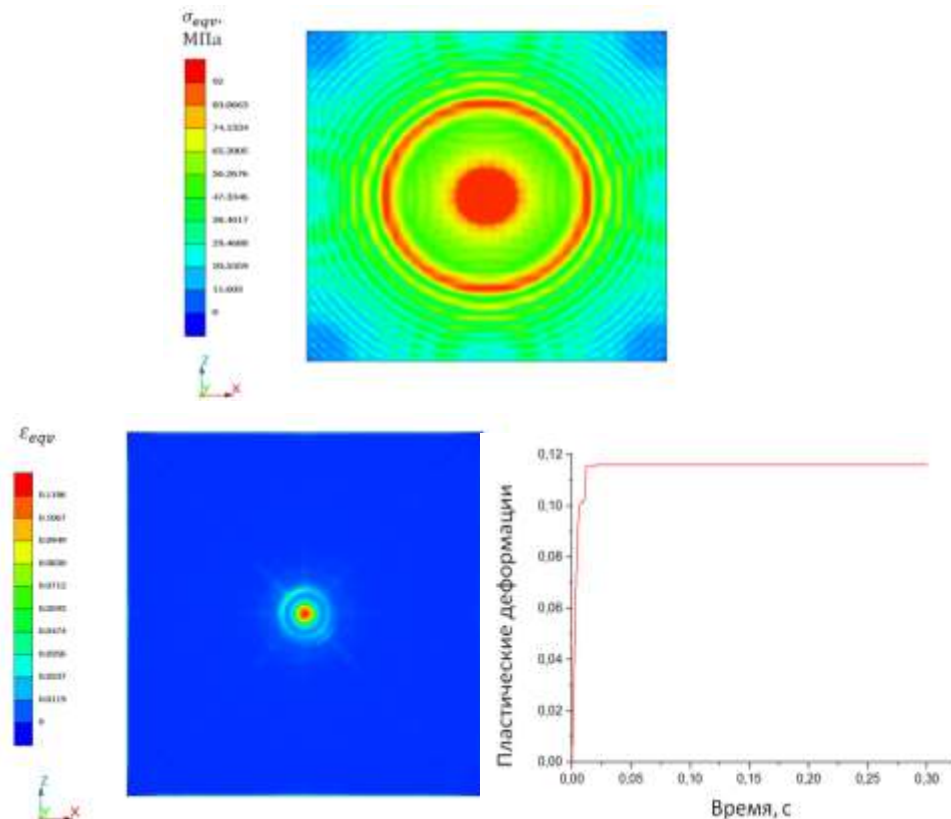


КЭ решение задачи

Упругий материал

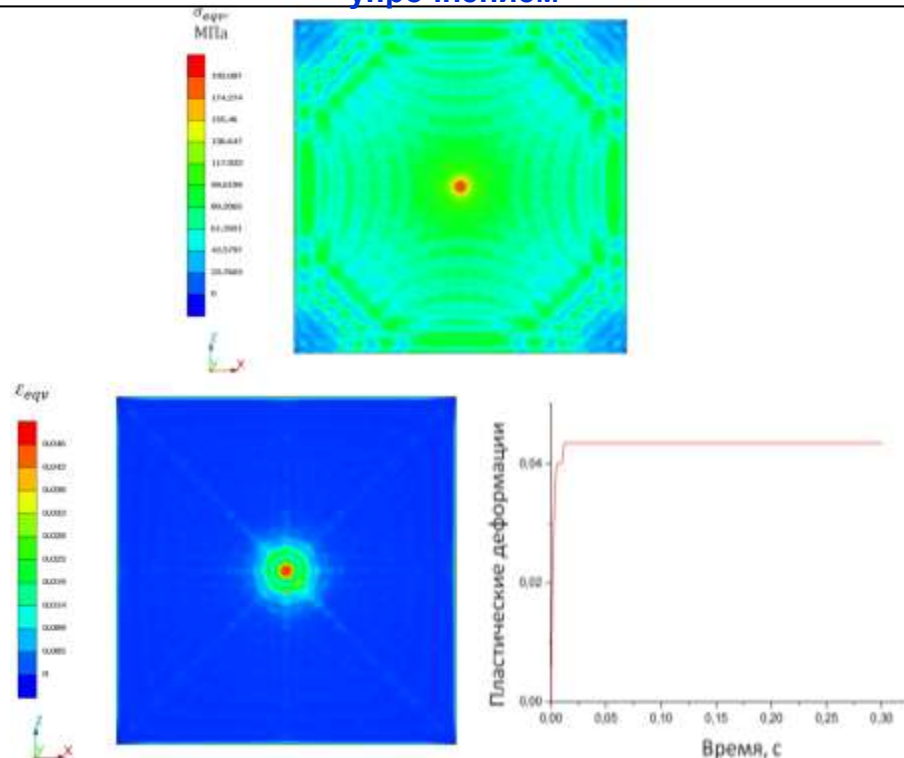


Упруго-пластичный материал

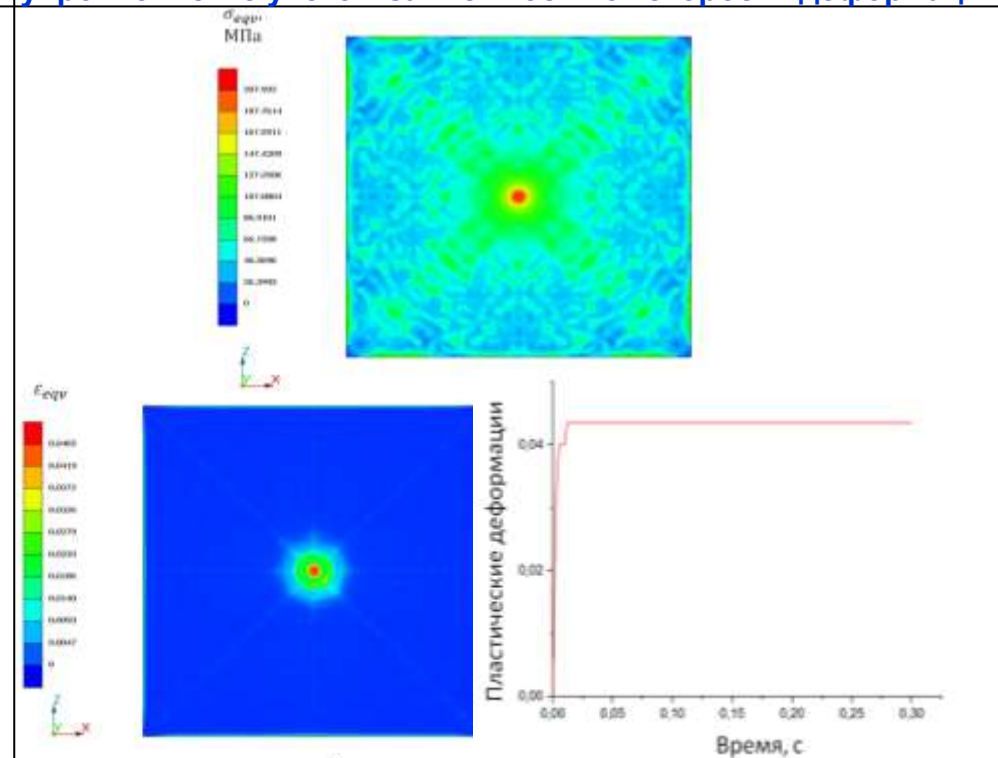


КЭ решение модельной задачи

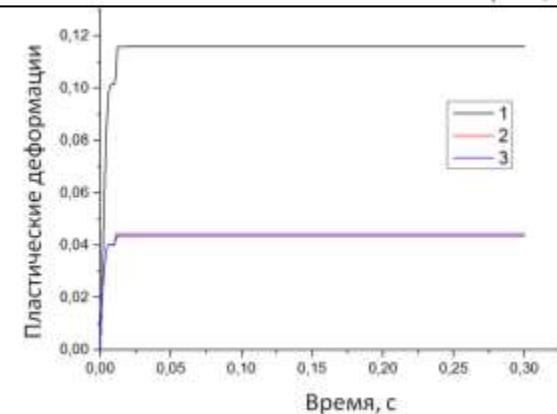
Упруго-пластичный материал с кинематическим упрочнением



Упруго-пластичный материал с кинематическим упрочнением с учетом зависимости от скорости деформации

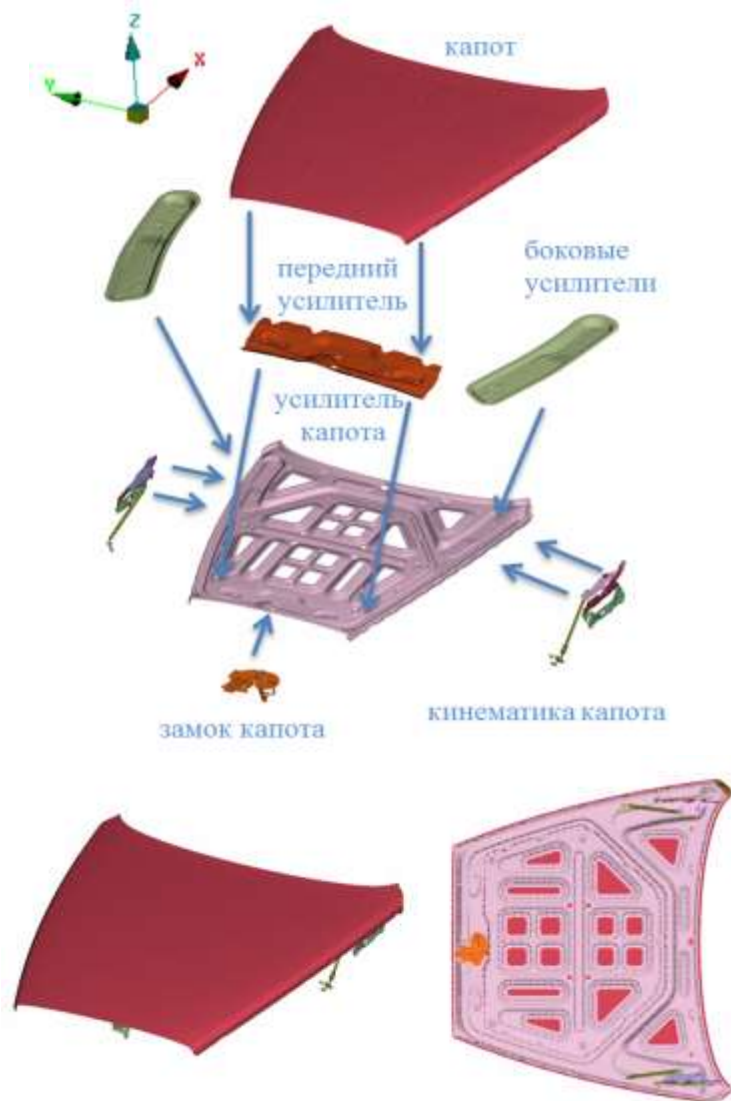


Сравнение пластических деформаций для моделей материалов:
 1-упруго пластической
 2-упруго-пластической с кинематическим упрочнением
 3-упруго-пластической с кинематическим упрочнением и учетом зависимости от скорости деформации

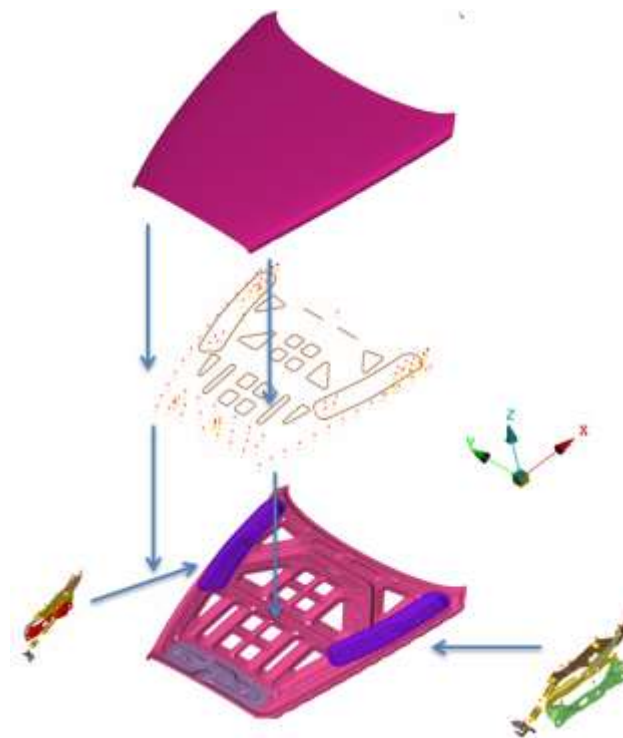


Конечно-элементная модель капота автомобиля

Пространственная геометрическая модель капота



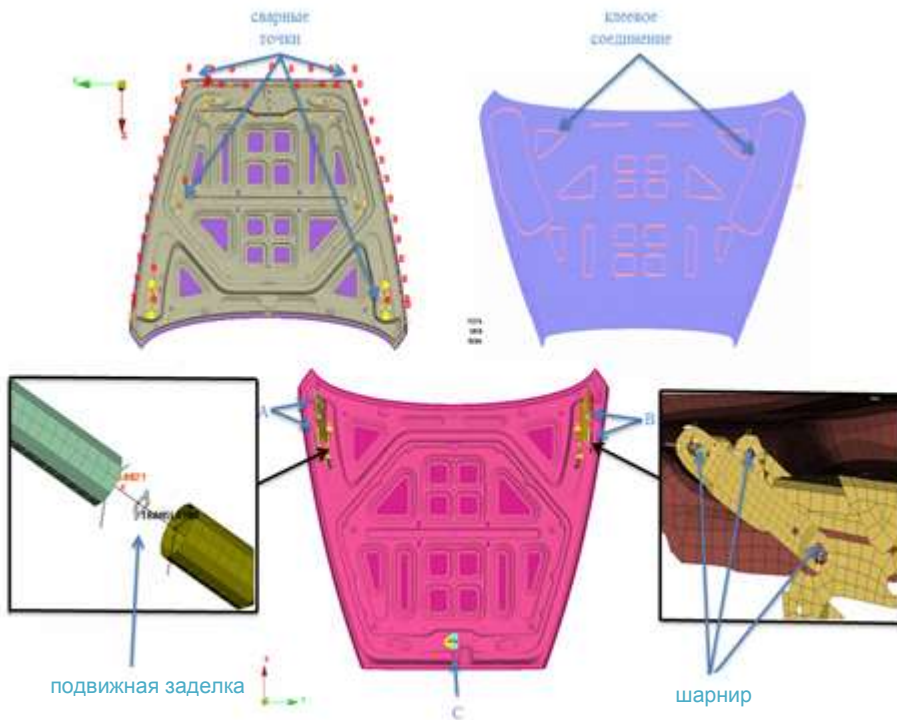
Конечно-элементная модель капота



Число элементов	Число узлов	Число степеней свободы
98600	108264	530652

Конечно-элементная модель капота автомобиля

Связи заданные в модели



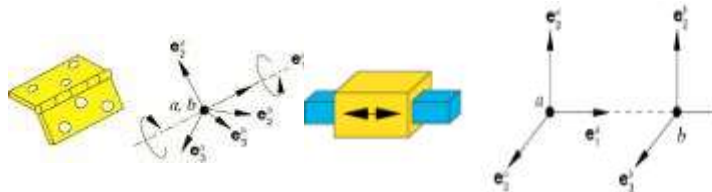
Материалы используемые в задаче

Упругие свойства материалов, используемых в задаче

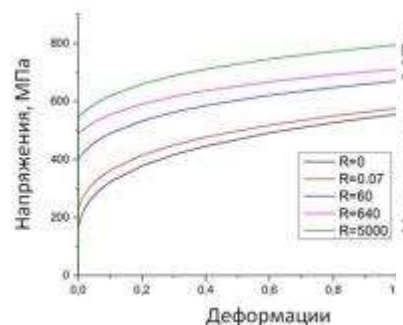
Деталь	Материал	E, МПа	ρ , кг/м ³	ν
Капот	сталь DC04	$2.1 \cdot 10^5$	7800	0.3
Усилители капота, кинематика, замок	сталь HC340	$2.1 \cdot 10^5$	7800	0.3
Клей	KU0037	120	1150	0.49

Материалы капота изотропные.
Модель сталей упруго-пластическая, с кинематическим упрочнением с учётом зависимости от скорости деформации

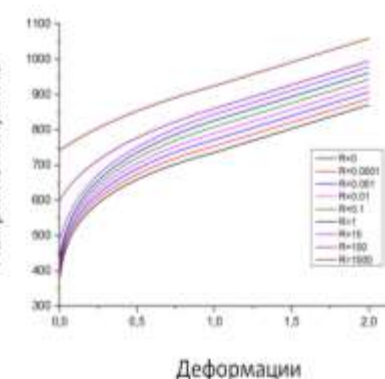
- Болтовые соединения (многоточечная связь)
- Клеевое соединение
- Сварные точки



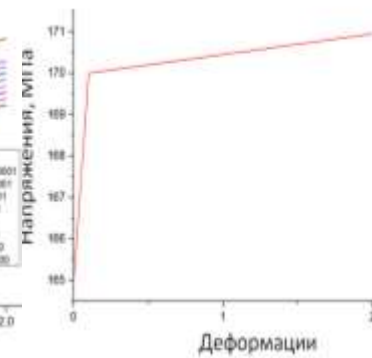
DC04



HC340



KU0037



Конечно-элементная модель ударника детской головы

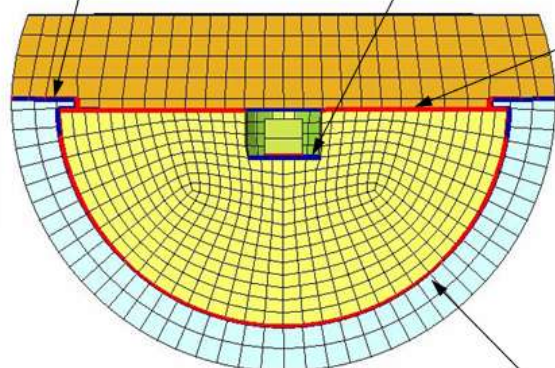
Свойства материалов ударника

Часть ударника	Материал	E, МПа	ρ , кг/м ³	ν
Оболочка	Винил (ПВХ)	16.1	1950	0.4
Внутренняя сфера	Алюминий	$2 \cdot 10^5$	4203	0.29
Задняя плата	Алюминий	$2 \cdot 10^5$	2800	0.29
Акселерометр	Алюминий	$2 \cdot 10^5$	4200	0.29

Контакт между задней платой и оболочкой

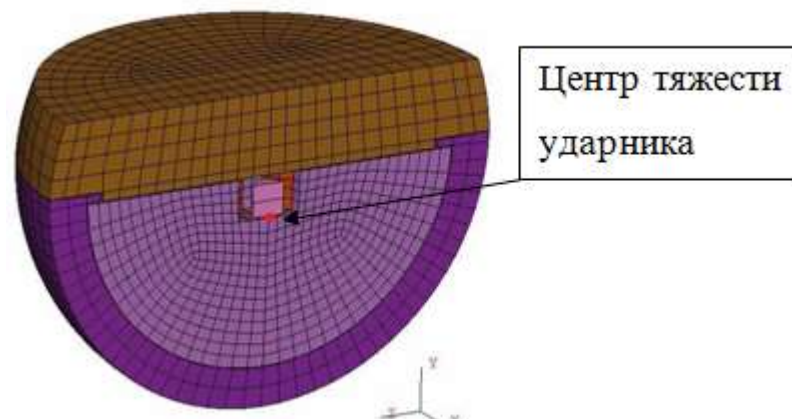
Контакт между акселерометром и внутренней сферой

Контакт между задней платой и внутренней сферой

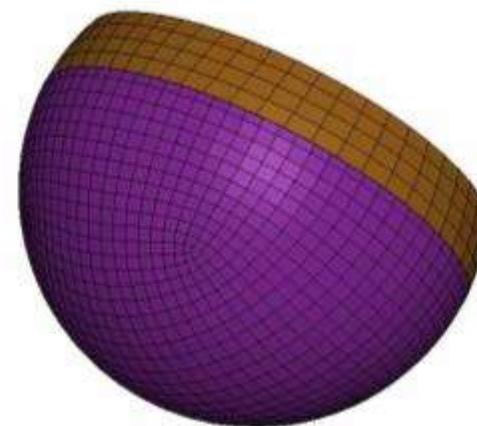


Контакт между внутренней сферой и оболочкой

Масса ударника 2,5 кг
 Диаметр внешней оболочки 130 мм



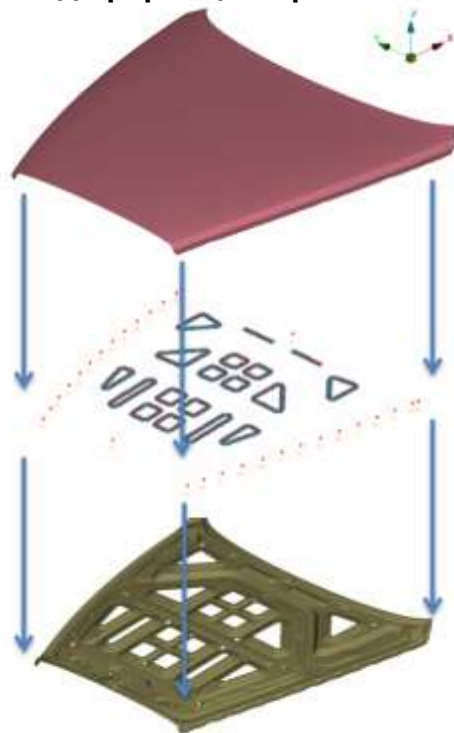
Центр тяжести ударника



Число элементов	Число узлов	Число степеней свободы
7914	31658	94974

Конечно-элементная постановка задачи определение жесткости капота

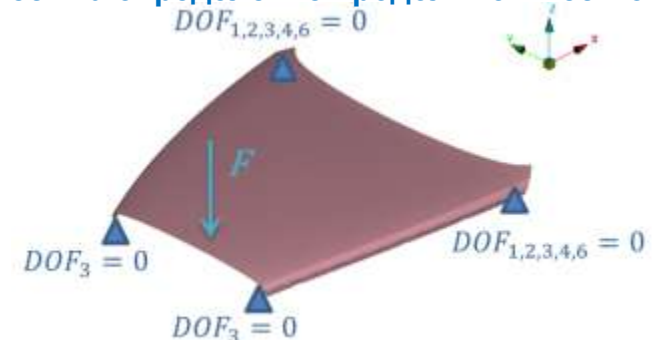
Жёсткость — это способность конструктивных элементов сопротивляться деформации при внешнем воздействии.



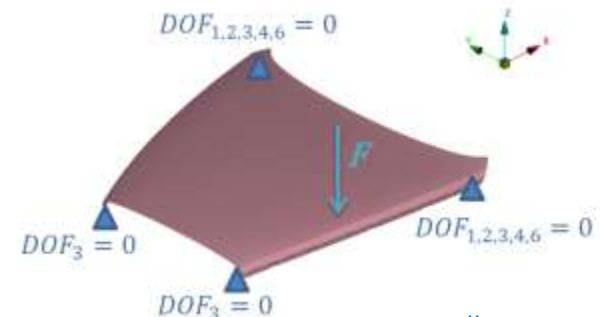
КЭ модель

Абсолютное значение коэффициента жесткости равно отношению прикладываемой нагрузки к перемещению, вызванному этой нагрузкой. $K = F/u$

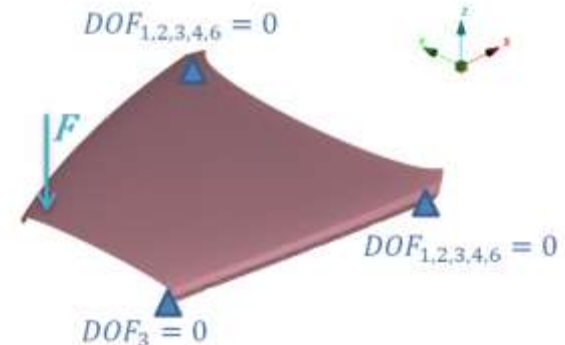
Тест на определение продольной жесткости



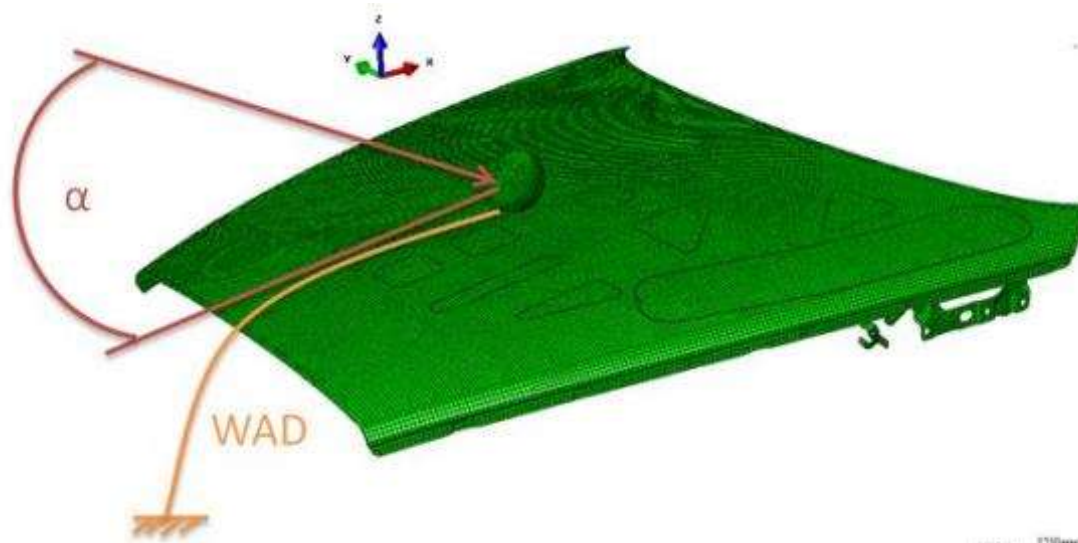
Тест на определение поперечной жесткости



Тест на определение крутильной жесткости

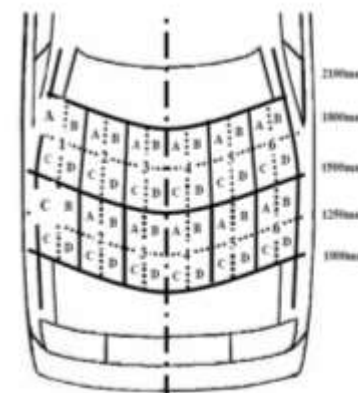
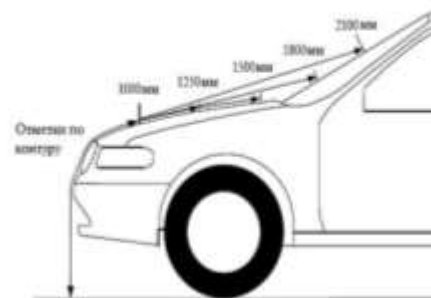


Постановка задачи моделирования тестов по оценке безопасности пешеходов по сертификационному тесту EuroNCAP

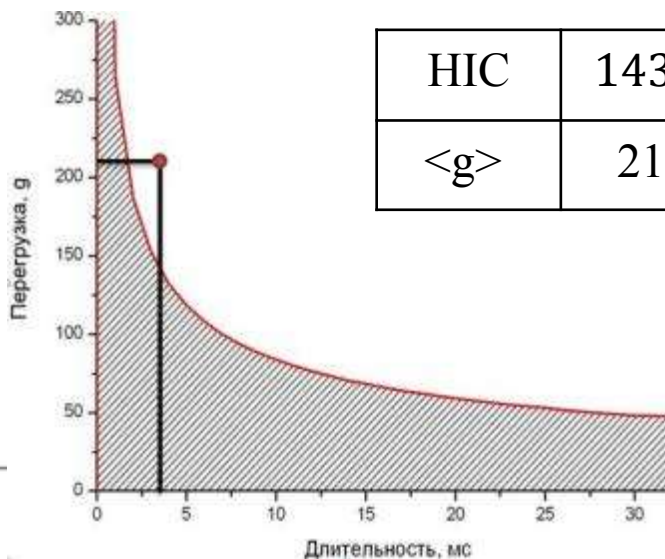
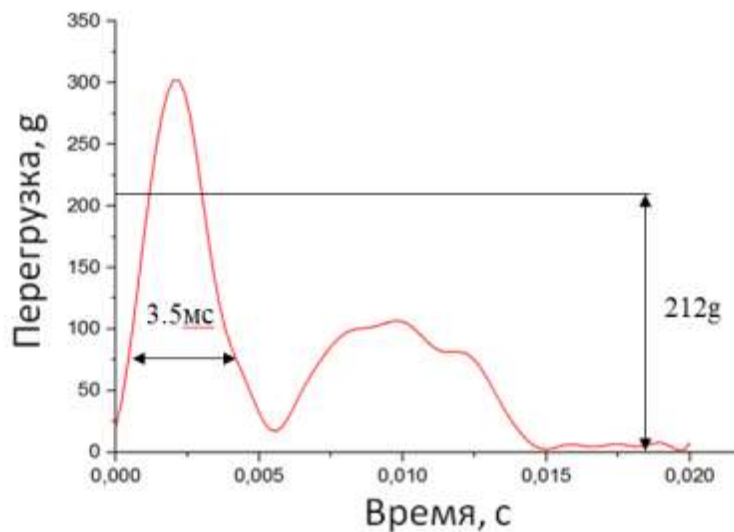
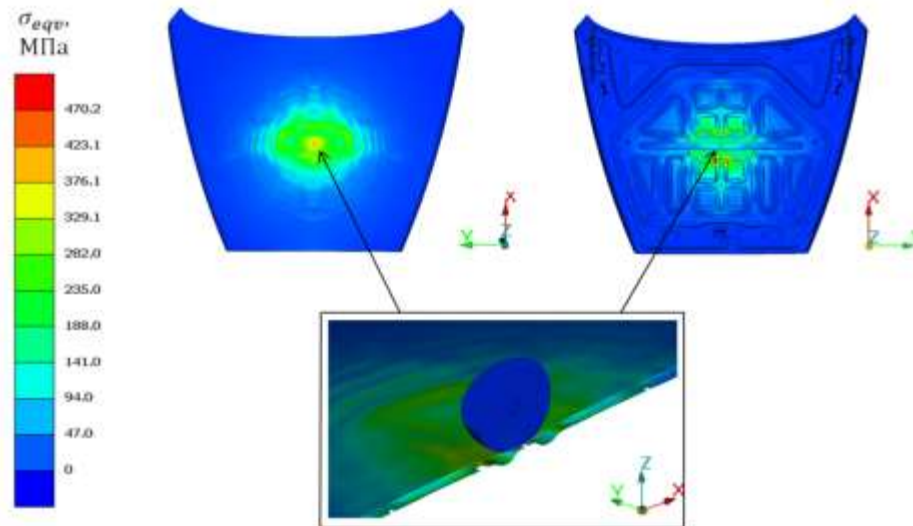
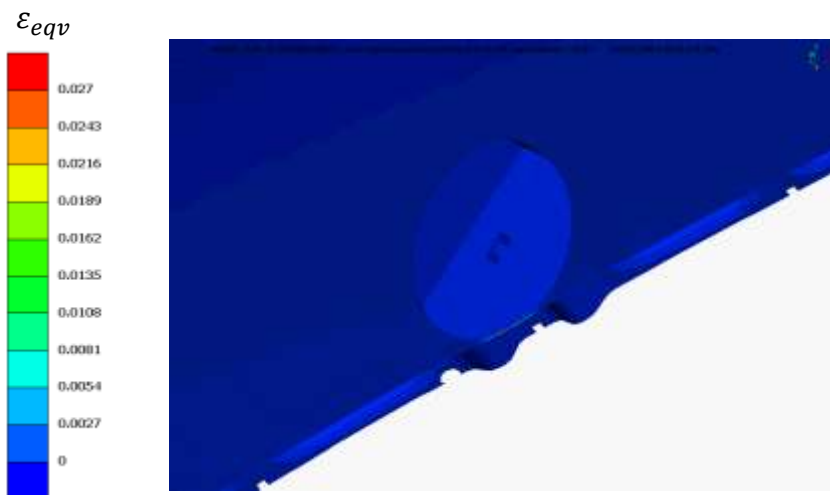


Параметры задачи выбраны в соответствии с правилами проведения тестов EuroNCAP

$$\begin{aligned} V &= 11.11 \text{ м/с} \\ \alpha &= 50^\circ \\ WAD &= 1500 \text{ мм} \end{aligned}$$



Конечно-элементное решение задачи контактного взаимодействия импактора с капотом



HIC	1436	✗
<g>	212	✗

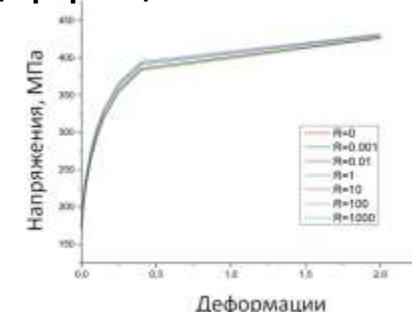
Оптимизация капота легкового автомобиля

Вариант конструкции	1	2	3	4	5
Материал	Сталь		Алюминий		
Толщина внешней поверхности, мм	0.95	1	1	1.2	1.5
Толщина внутренней поверхности, мм	0,8	0,85	0,85	1	1,2
Масса, кг	25,37	26,81	9,28	11,04	13,56
Поперечная жесткость, Н/мм	173,67	191,64	63,88	88,03	125,12
Продольная жесткость, Н/мм	108,23	119,58	40,92	56,23	80,58
Крутильная жесткость, Н/мм	10,67	11,71	4,188	5,498	7,475
НДС	1330	1435	899	1025	1204
Средняя перегрузка <g>	184,3	234,4	130,8	147,3	149,7
U, мм	28,73	26,92	41,31	35,72	33,41

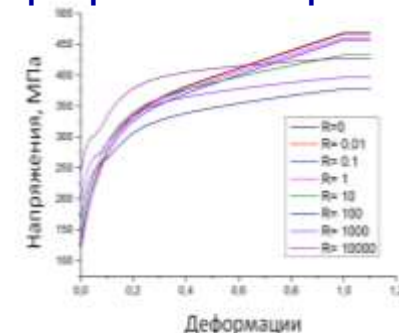
Упругие свойства материалов, используемых в задаче

Деталь	Материал	E, МПа	ρ , кг/м ³	ν
Капот	Алюминий	$2 \cdot 10^5$	4200	0.29
Усилитель капота	Алюминий	$2 \cdot 10^5$	4200	0.28

Материалы капота изотропные.
Модель алюминия упруго-пластическая, с кинематическим упрочнением с учётом зависимости от скорости деформации

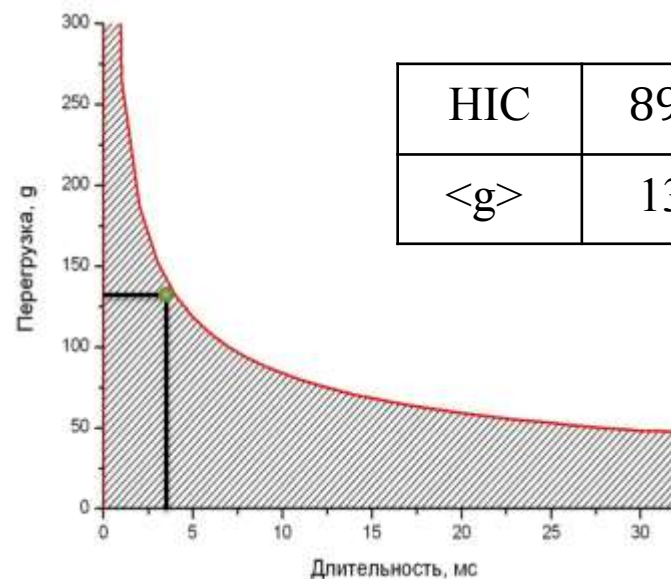
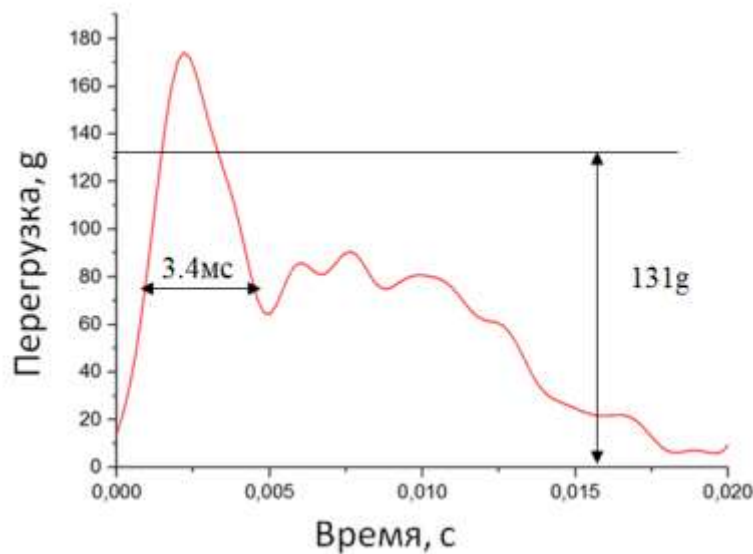
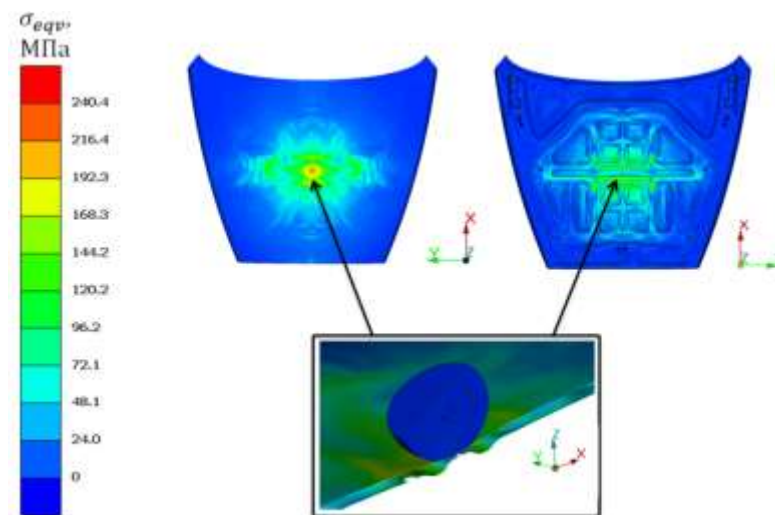
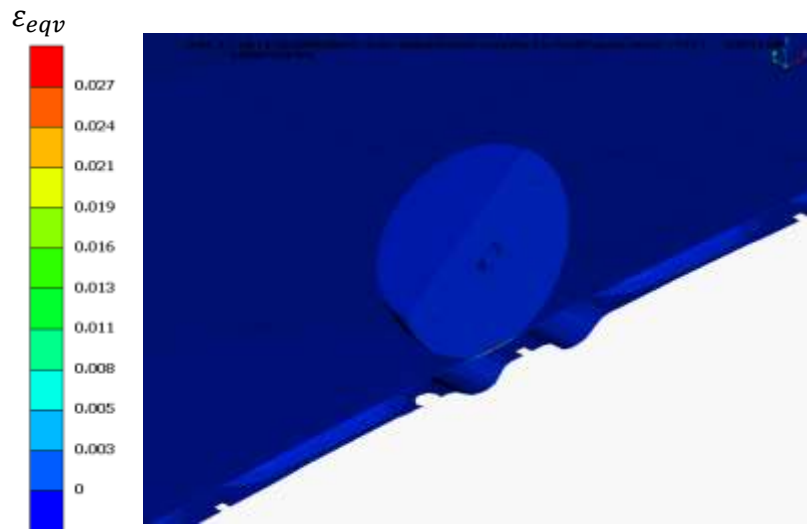


Кривые деформирования материала капота



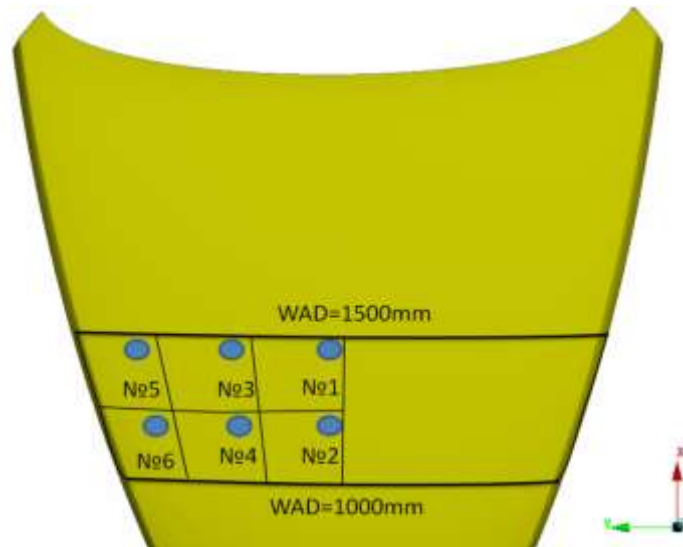
Кривые деформирования материала усилителя

Конечно-элементное решение задачи контактного взаимодействия импактора с капотом для оптимального варианта конструкции

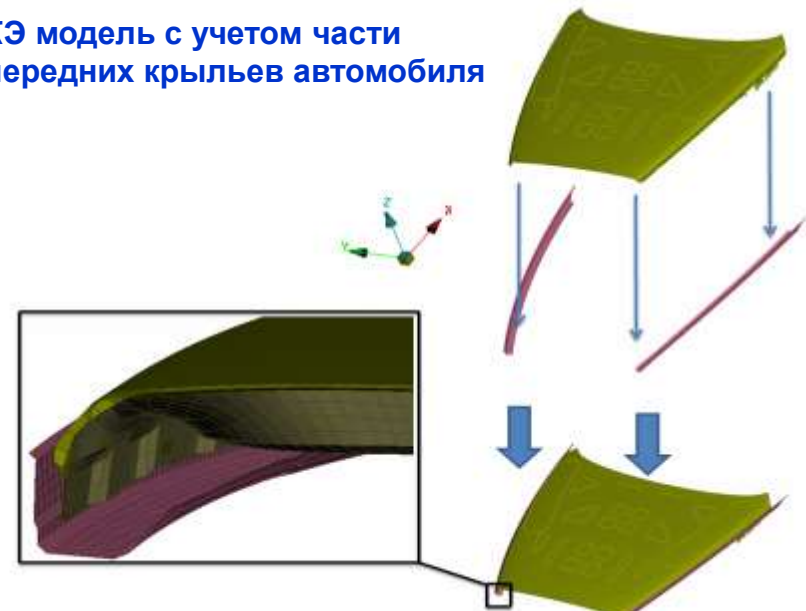


HIC	899	✓
<g>	131	✓

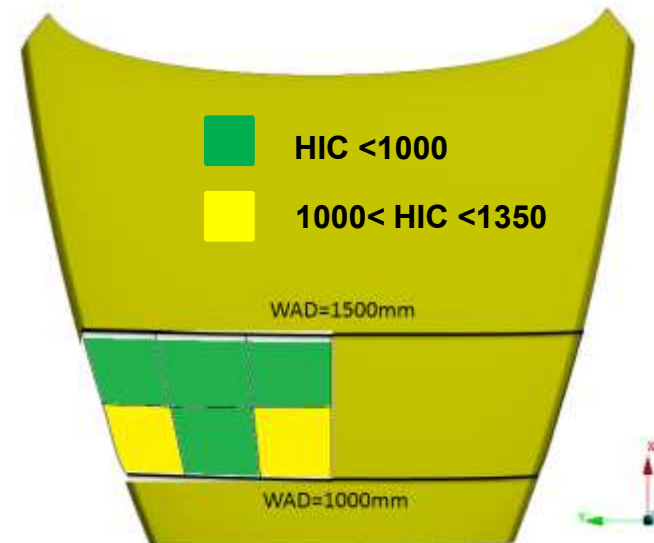
Определение значения НИС в других точка капота в соответствии с правилами безопасности пешеходов



КЭ модель с учетом части передних крыльев автомобиля

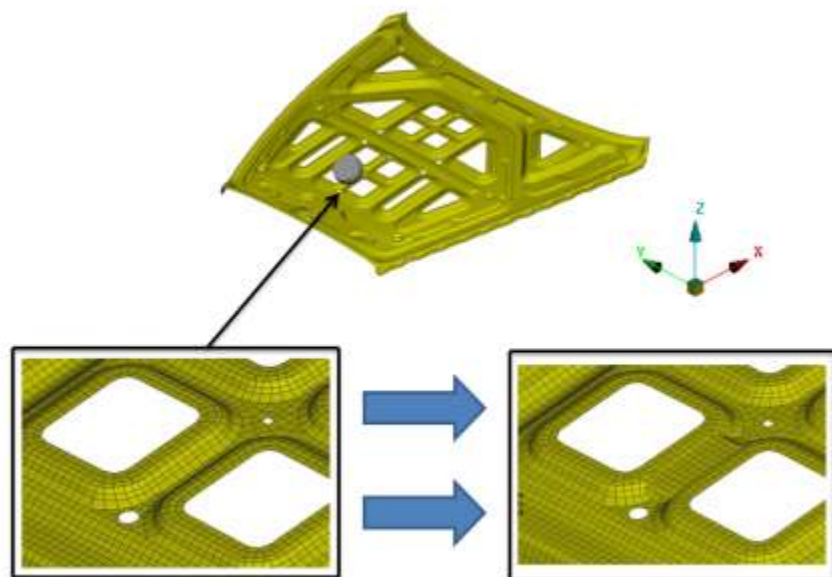


Номер точки удара	НИС
1	899,63
2	1071,42
3	695,62
4	860,06
5	912,96
6	1047,86

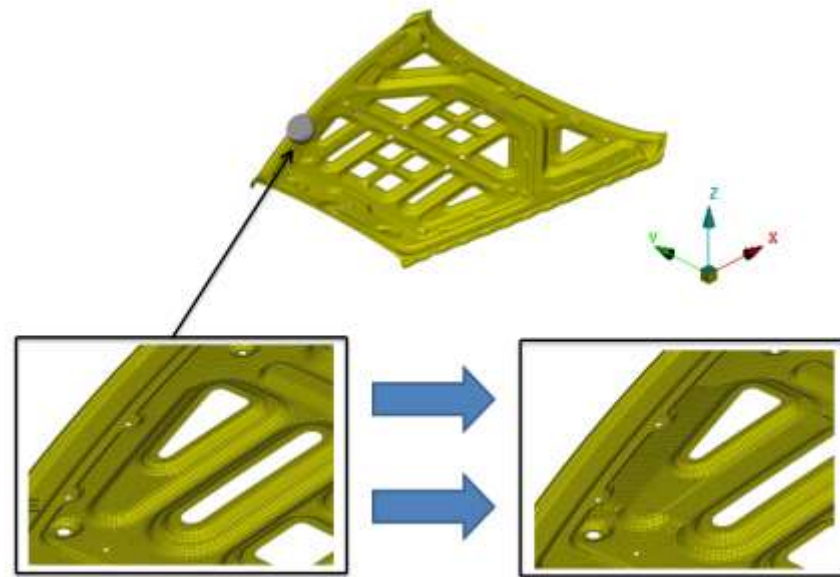


Локальная геометрическая оптимизация основного усилителя капота

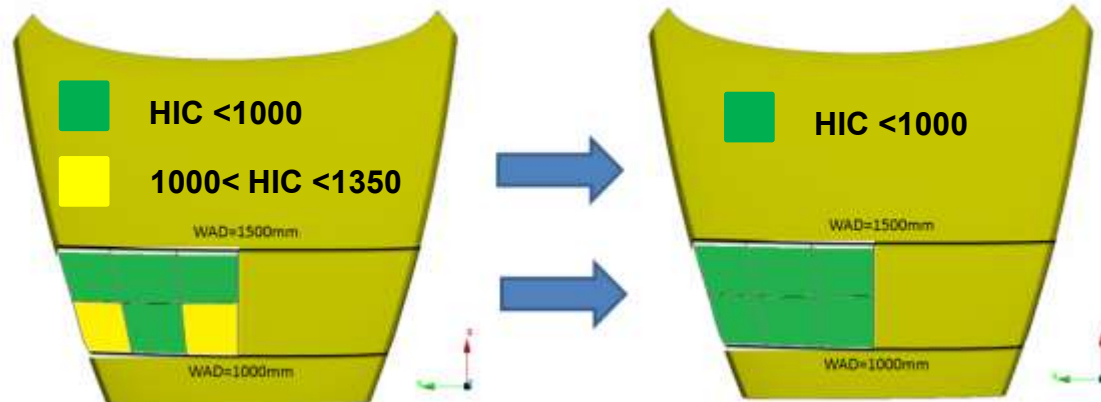
Геометрическая оптимизация для точки №2



Геометрическая оптимизация для точки №6



№ точки удара	HIC до оптимизации	HIC после оптимизации
2	1071,42	953.56
6	1047,86	982.42



Заключение

- ✓ В работе выполнено моделирование теста по оценке вероятности травмы головы пешехода-ребенка при ударе о капот автомобиля. Тесты проведены в соответствии со стандартами директивы ЕС № 2003/102, используемыми в тестах EuroNCAP.
- ✓ Решена серия модельных задач соударения абсолютно твёрдого шара с пластиной, для различных моделей материалов пластины.
- ✓ Проведен тест по оценке безопасности пешеходов для одной точки в центральной части капота. Значение НИС и средняя перегрузка в центре тяжести ударника не удовлетворяют требованиям директивы ЕС № 2003/102 по безопасности пешеходов.
- ✓ С целью уменьшения перегрузок, испытываемых импактором при соударении с капотом, проведена оптимизация толщин и материалов капота и усилителя. Решена задача соударения импактора с центральной частью капота по стандартам EuroNCAP для оптимального варианта капота. Проведен обстрел шести точек левой части капота с учетом боковых крыльев автомобиля.
- ✓ Для каждого из вариантов оптимизированного капота определены значения продольной, поперечной и крутильной жесткости капота автомобиля
- ✓ Проведена локальная геометрическая оптимизация основного усилителя для двух точек соударения импактора с капотом автомобиля с целью уменьшения перегрузок в центре тяжести ударника. Данная оптимизация привела к уменьшению перегрузок ниже порогового значения. В итоге был подобран оптимальный вариант капота удовлетворяющий требованиям директивы ЕС № 2003/102 по безопасности пешеходов.



Спасибо за внимание!