



ДИССЕРТАЦИЯ **на соискание академической степени** **МАГИСТРА**

**Тема: Применение конечно-элементного моделирования в
области реконструкции дорожно-транспортных происшествий с
пешеходом**

Направление: 150300 – Прикладная механика

Магистерская программа: 151600.68.01 – Вычислительная механика

Выполнила студентка гр. 63602/2

Руководитель, к.т.н., проф.

Соруководитель, асс.

Н.А. Харалдин

А.И. Боровков

О.И. Клявин

Консультанты:

По истории механики, к.ф.-м.н., проф.

По вопросам охраны труда, к.т.н., доц.

Б.А. Смольников

В.В. Монашков



Содержание

Введение

- В.1. Статистика дорожно-транспортных происшествий
- В.2. Тестирование автомобилей на безопасность пешеходов
- В.3. Экспертиза и реконструкция ДТП

Глава 1. Постановка задачи

- 1.1. Постановка задачи
- 1.2. Обзор существующих математических моделей
- 1.3. Актуальность проблемы

Глава 2. Основная часть

- 2.1. Общее описание применения метода
- 2.2. Структура использования метода конечных элементов
- 2.3. Определение деформаций автомобиля
- 2.4. Кинематика наезда на пешехода и оценка вероятности получения травм

Глава 3. Модельная задача

- 3.1. Общие сведения об используемом программном обеспечении
- 3.2. Постановка задачи
- 3.3. Результаты конечно-элементного моделирования

Глава 4. Моделирование пешехода

- 4.1. Обзоры моделей пешеходов
- 4.2. Построение конечно-элементной модели пешехода
- 4.3. Калибровочный тест грудной клетки

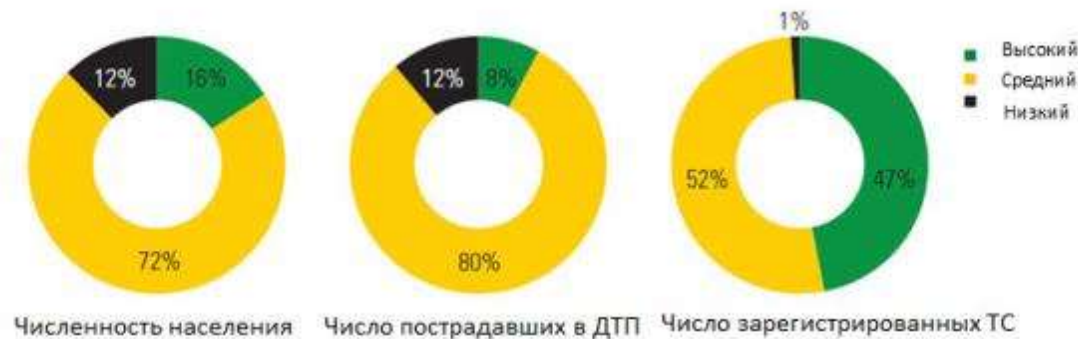
Глава 5. Моделирование столкновения автомобиля и пешехода

- 5.1. Конечно-элементная модель автомобиля
- 5.2. Изменение входных параметров моделирования
- 5.3. Постановка задачи
- 5.4. Анализ результатов

Заключение

Дорожно-транспортные происшествия

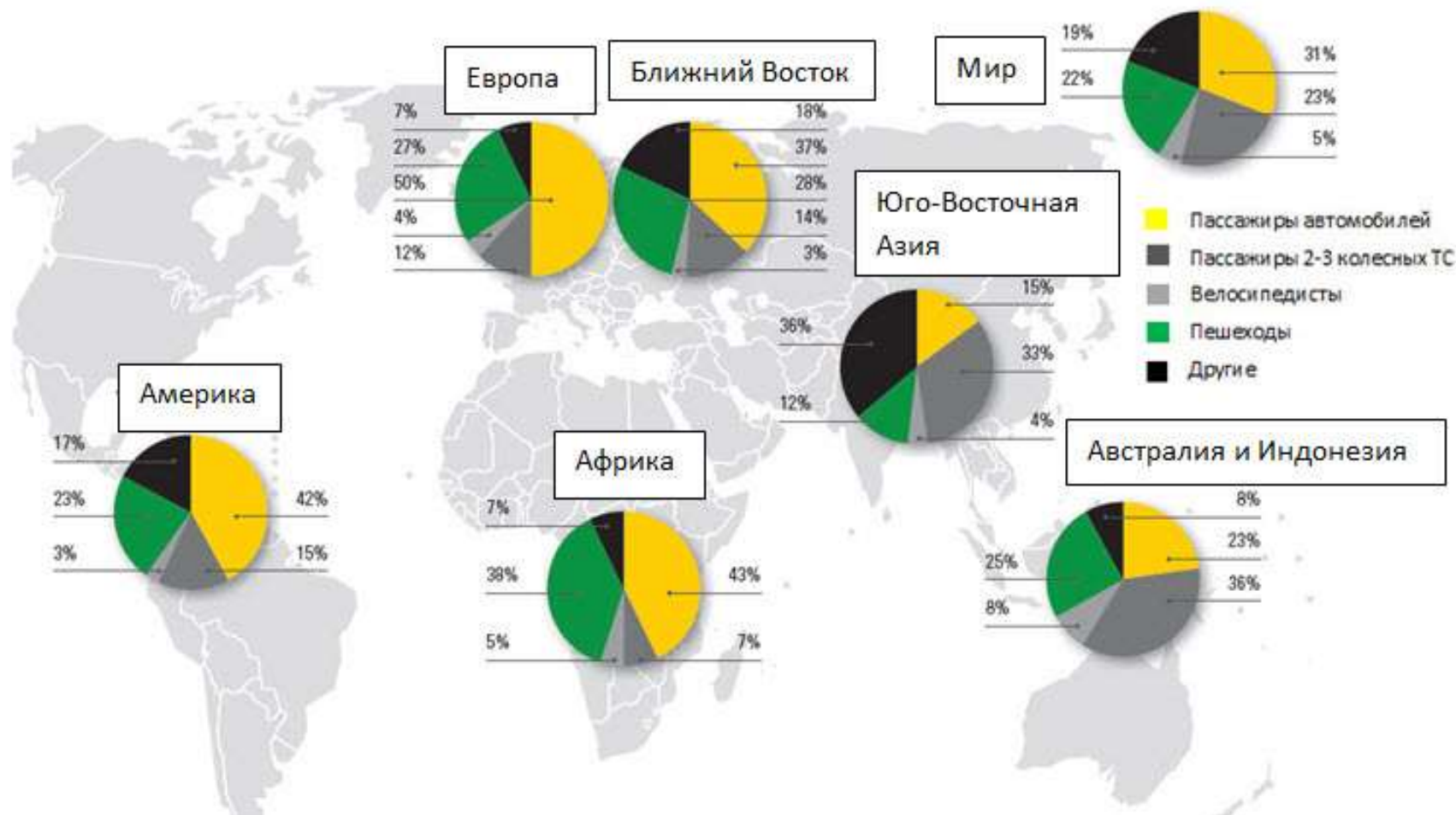
- Первая причина смерти для молодых людей от 15 до 29 лет
- В 2010 году погибло более 1,24 млн человек и это число с каждым годом растет
- Россия – 7 страна в мире по числу погибших в результате ДТП
- Соотношение числа ДТП к числу населения и автомобилей в России в разы больше, чем в развитых странах, а по некоторым параметрам Россия соответствует уровню Индии, Таиланда и Китая
- Число ДТП и пострадавших с каждым годом растет в России в отличии от стран Европейского Союза





Дорожно-транспортные происшествия с пешеходом

Россия, Беларусь, Украина, Япония, Южная Корея, Израиль, Словакия, Польша и др.



Тесты на защиту пешеходов



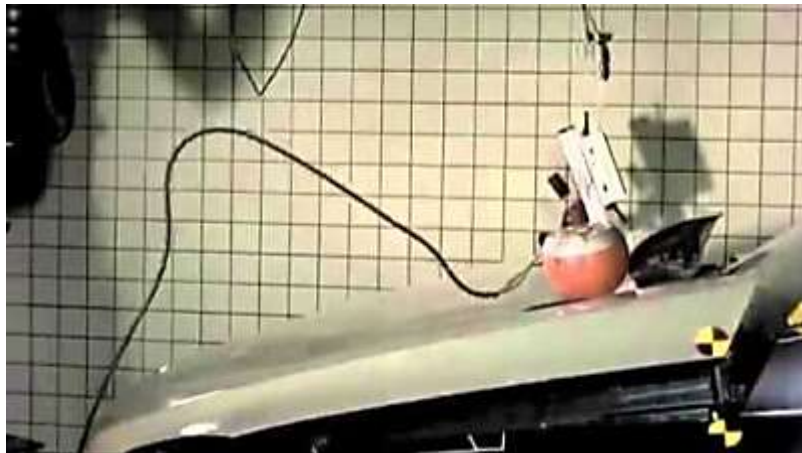
Испытания на степень защиты голеней



Испытания на степень защиты бедер

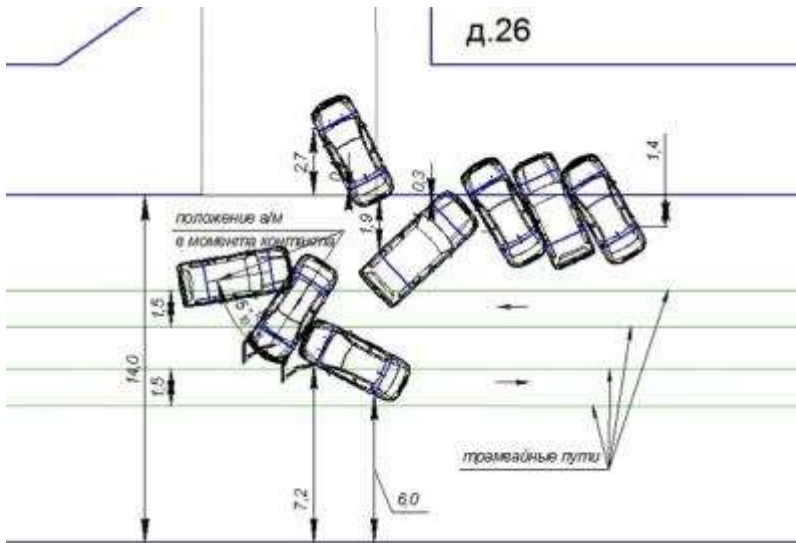


Испытания на степень защиты головы



Экспертиза и реконструкция ДТП

- Большая популярность криминалистического подхода
- Понятия в области реконструкции ДТП:
 - судебная экспертиза;
 - трасологическая экспертиза;
 - следственный эксперимент;
 - медицинская экспертиза.
- Незрелость области

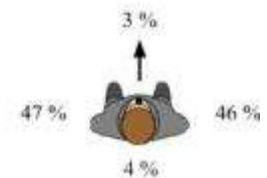
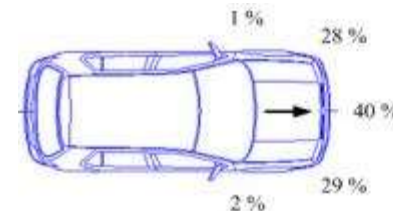
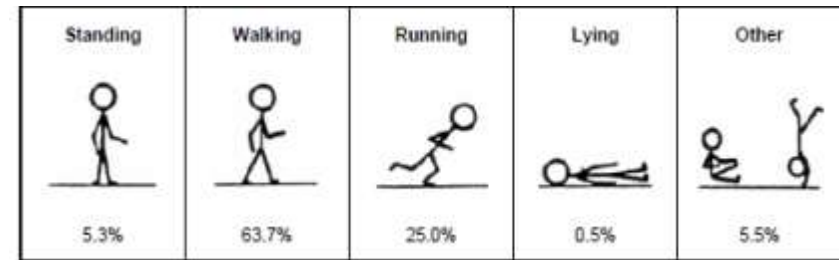


Постановка задачи

Целью работы является оценка применимости конечно-элементного моделирования в области реконструкции ДТП с пешеходом. В частности, оценка эффективности МКЭ в определении параметров движения автомобиля в момент столкновения с пешеходом (основной задачей является определение скорости автомобиля)

Самый распространенный вид ДТП с пешеходом:

- Мужчина (среднего размера и веса)
- Возраст 25-64 лет
- Поперечное пересечение дороги
- При нормальных погодных условиях
- Удар в центральную часть автомобиля
- Походная поза пешехода при ударе
- Водитель не применяет маневрирование и не применяет торможение на первой стадии
- ДТП происходит в городской черте (ограничение по скорости 60 км/ч)
- Пешеход идет спокойным шагом (средняя скорость 5 км/ч)



Способы реконструкции ДТП

- Трасологическая экспертиза и различные криминалистические подходы
- Технический способ
- Судебный подход
- Подход, основанный на использовании математических моделей:

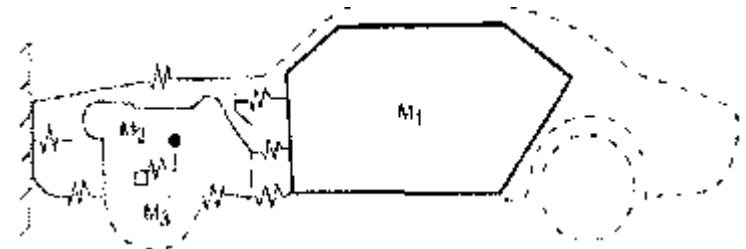
$$\varepsilon = \frac{V_{2N'} - V_{1N'}}{V_{2N} - V_{1N}}$$

- Эмпирические формулы
- Динамика твердого тела
- Аналитическое определение по деформациям автомобиля
- Конечно-элементное моделирование

$$E_D = \frac{1}{2} \cdot m \cdot EES^2 \text{ [kph]}$$



DSD
Dr. Steffan Datentechnik
Linz - Austria

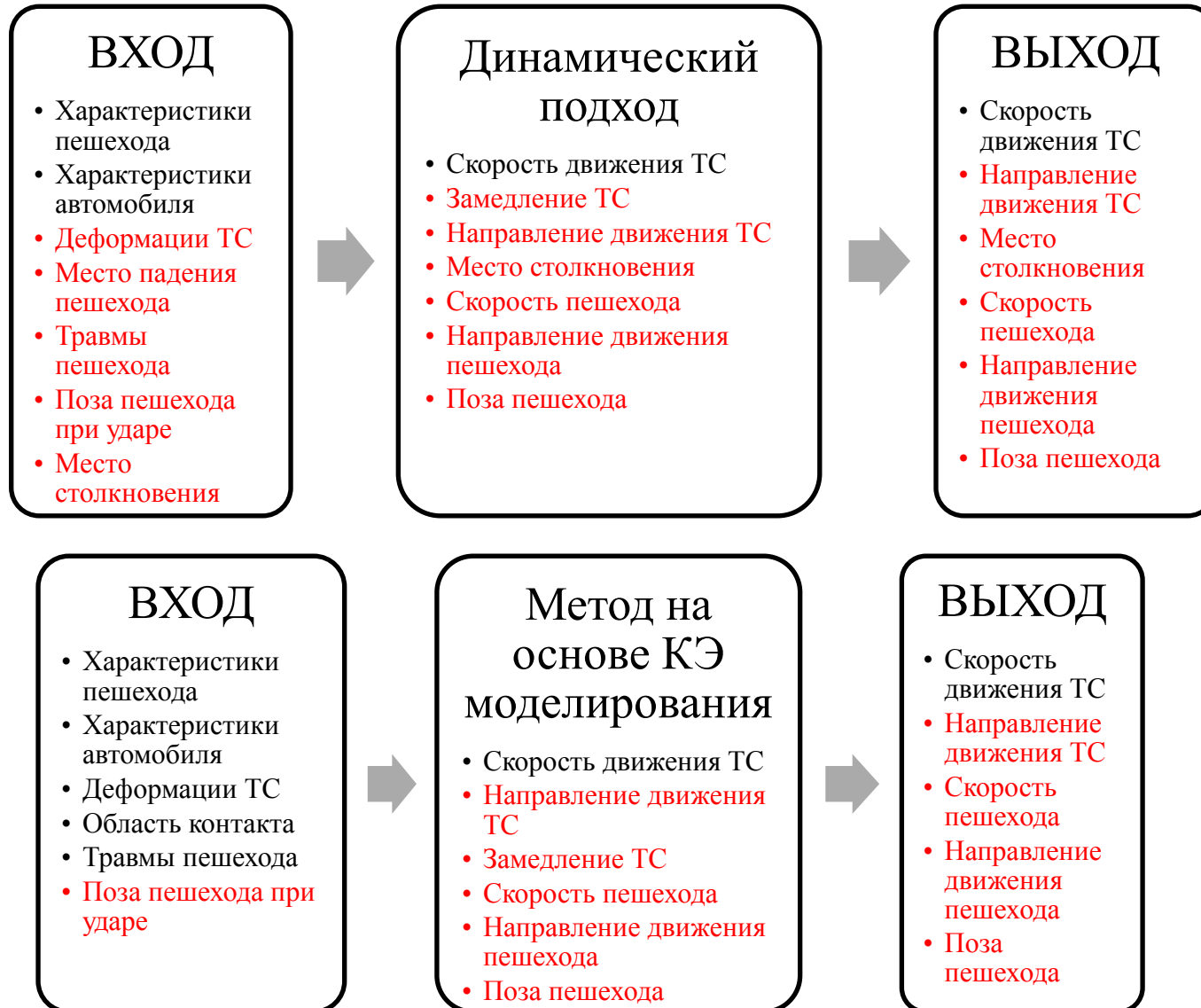


Применение конечно-элементного моделирования в области реконструкции ДТП

- Включение в существующую структуру области в качестве финального этапа, проверяющего и уточняющего полученные из других источников предположения
- Использование итерационного взаимодействия между существующими подходами реконструкции

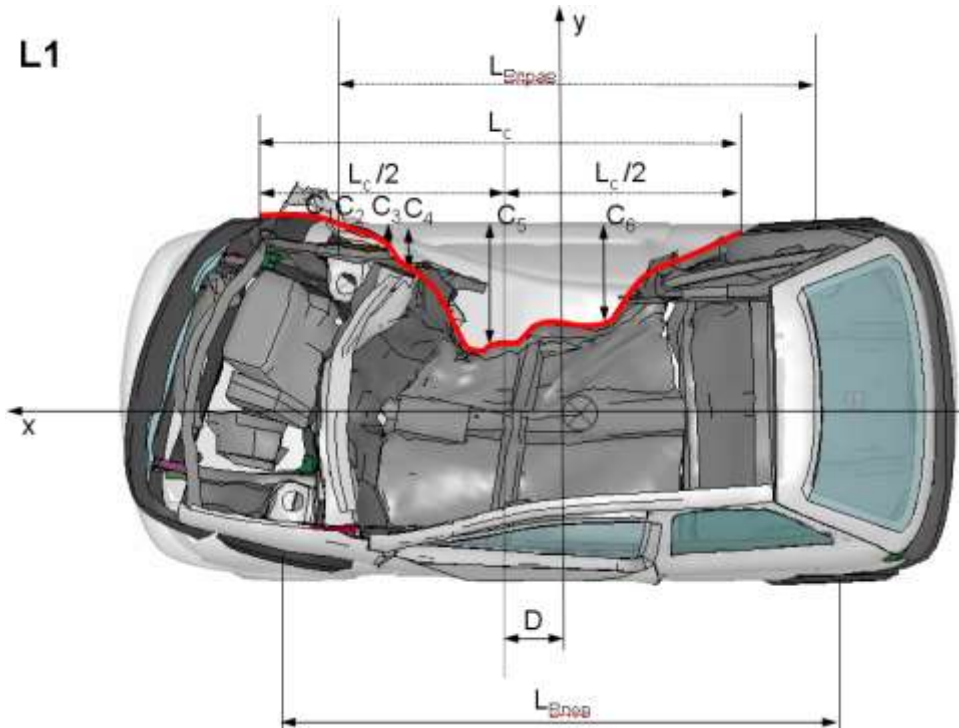


Применение для ДТП с пешеходом



Оценка деформаций

$$\Delta E = (1 + tg\delta^2) \cdot L_D \cdot \left[\frac{m_A k_0 k_1}{2g L_D} (C_1 + C_2) + \frac{m_A k_1^2}{6g L_D} (C_1 + C_2 + C_1^2 + C_2^2) + \frac{3m_A k_0^2}{4g L_D} \right]$$



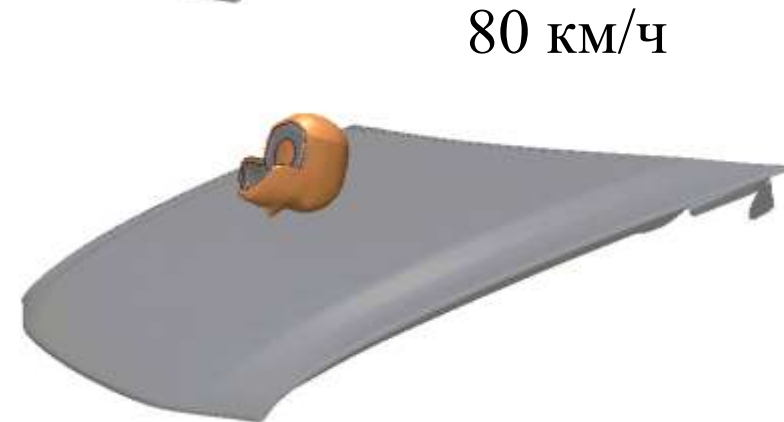
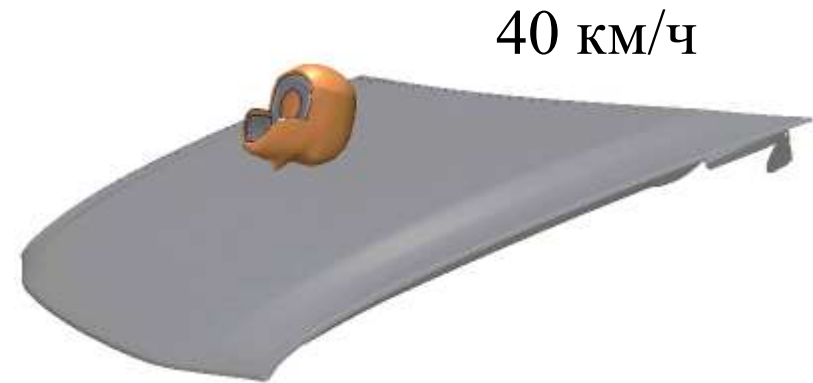
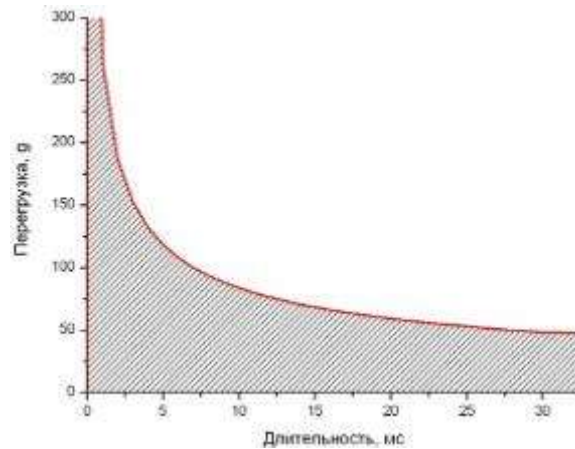
Модельная задача



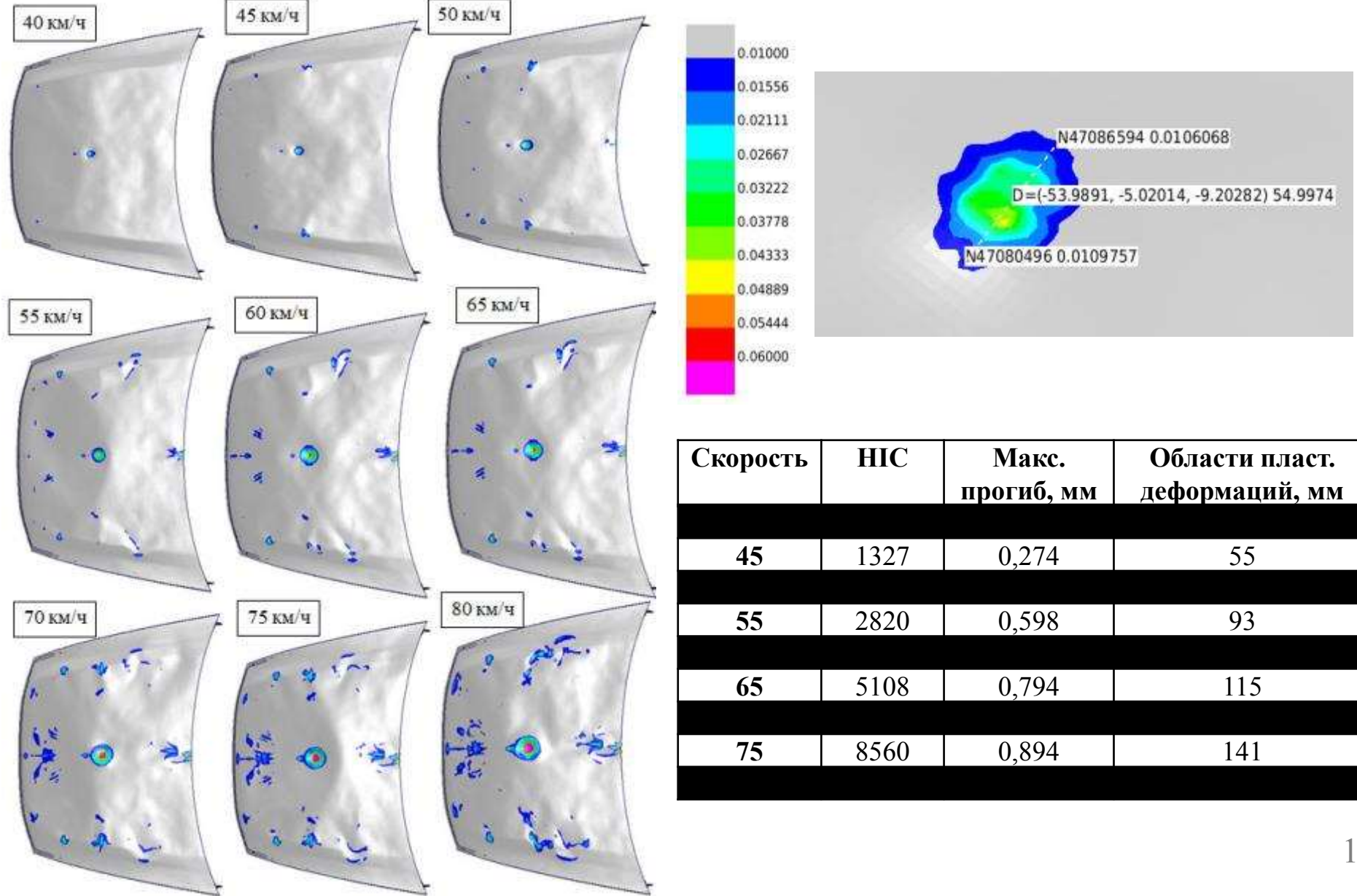
Abaqus/Explicit $\Delta t \approx \frac{L_{min}}{c_d}$

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

Масса головы, кг	4.5
Число элементов	115250
Число узлов	122195
Число степеней свободы	684663
Время расчета, с	0.1
Настройка масштабирования массы	1e-6

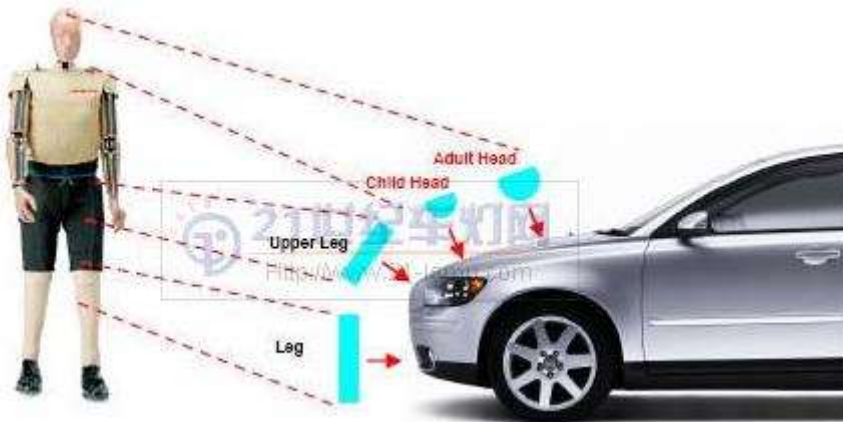


Сравнение конечно-элементных результатов



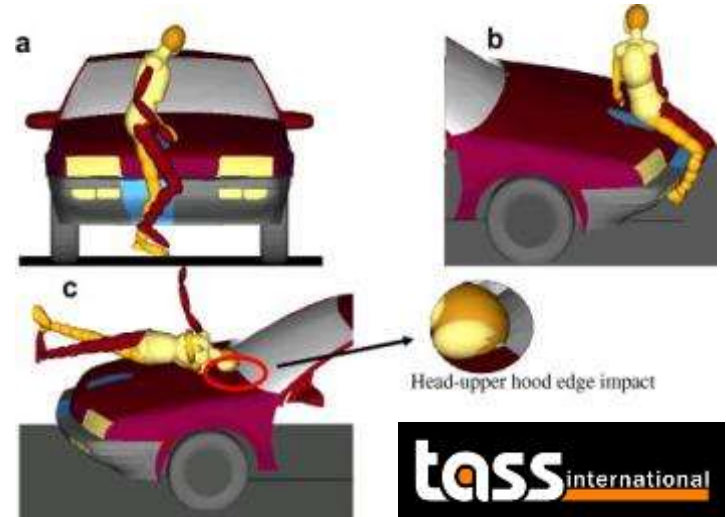
Подходы к моделированию человека

Применение импакторов (EuroNCAP)



Конечно-элементные модели (THUMS – Total Human Model for Safety)

Система твердых тел (MADYMO)



Сравнение манекенов Hybrid III Pedestrian и Hybrid III

Hybrid III Pedestrian



Straight spine

One lumbar cable



Pedestrian pelvis

Curved spine

Two lumbar cable

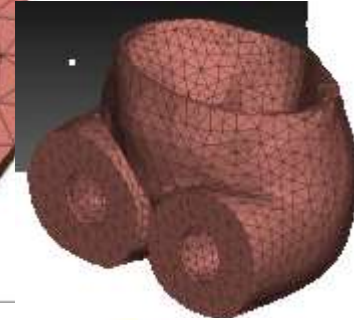
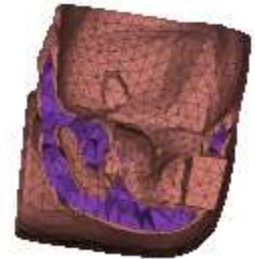
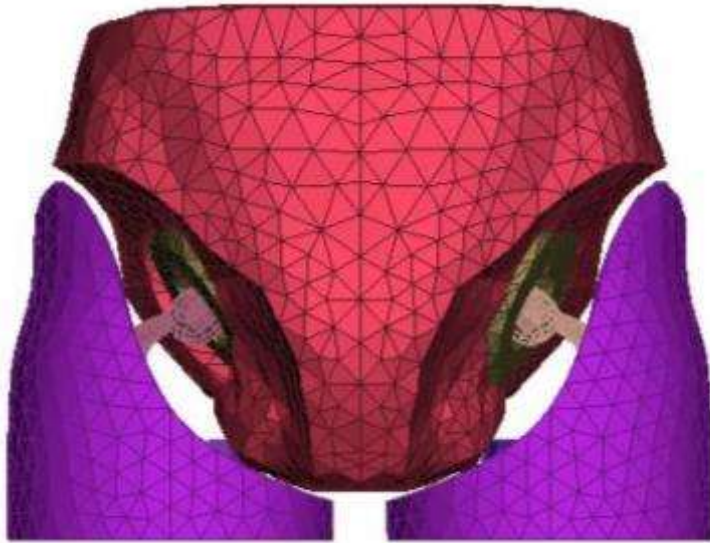


Standard pelvis

Hybrid III

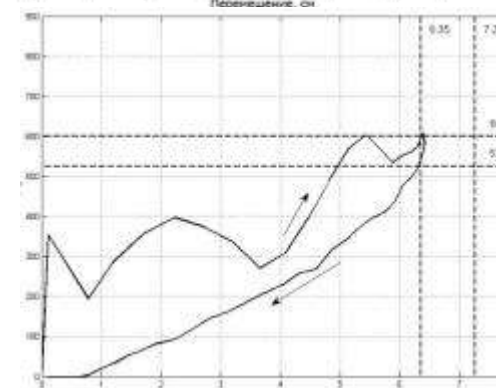
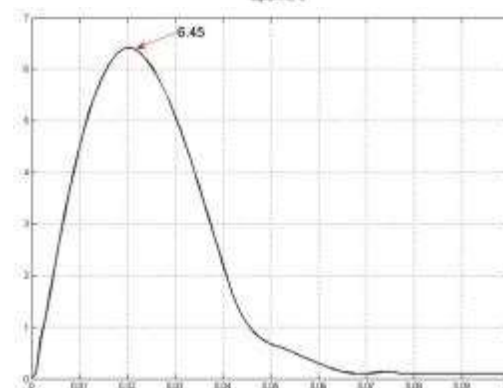
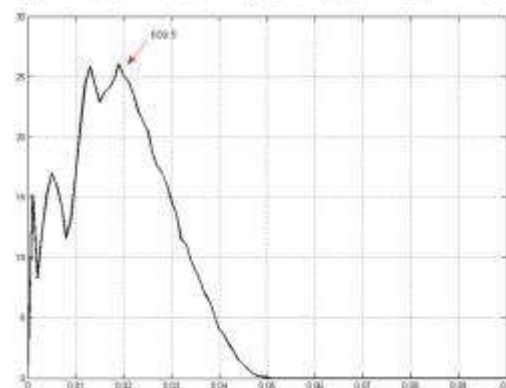
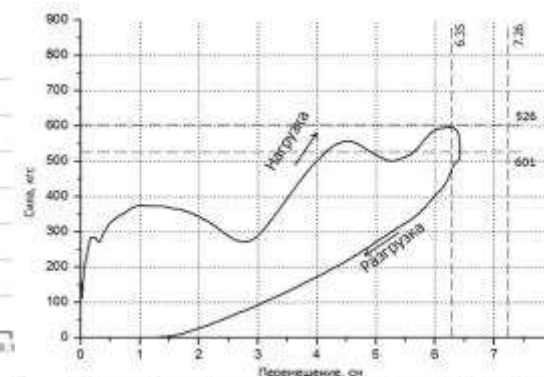
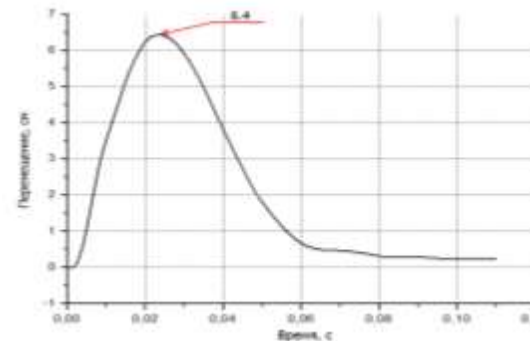
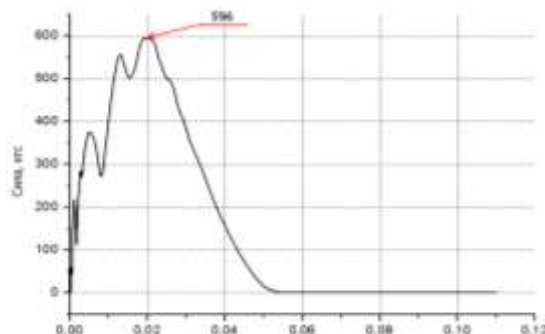
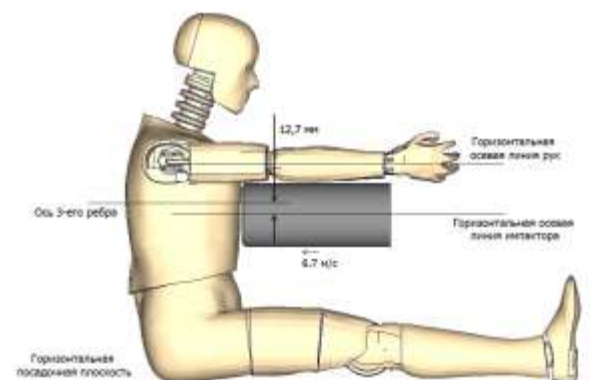


Конечно-элементные модели тазовой части

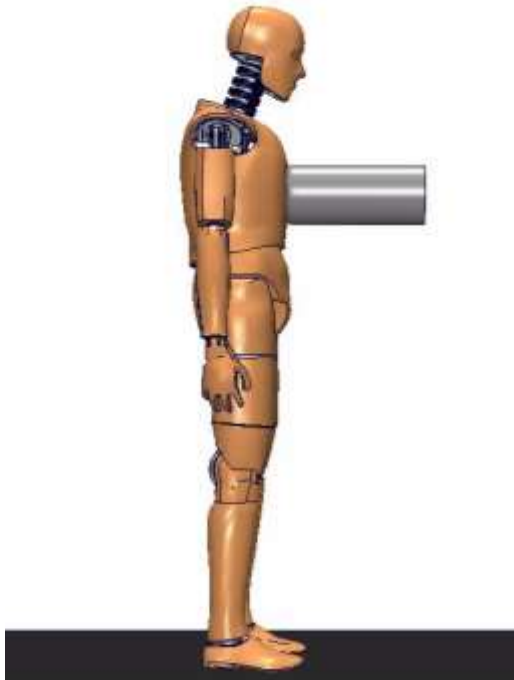


Параметр	Начальная модель	Полная сборка новой модели
Элементы	29531	29468
Узлы	6463	6898
Минимальный размер, мм	1,73	1,86
Максимальный размер, мм	33,56	34,32
Средний размер, мм	15,3	14,14
Минимальный угол	4,37	6,7
Максимальный угол	172,9	168,9
Элементы внешней части	16171 (55%)	18806 (64%)
Элементы внутренней части	13360 (45%)	10662 (36%)
Масса, т	0,00544	0,00457

Калибровочный тест грудной клетки

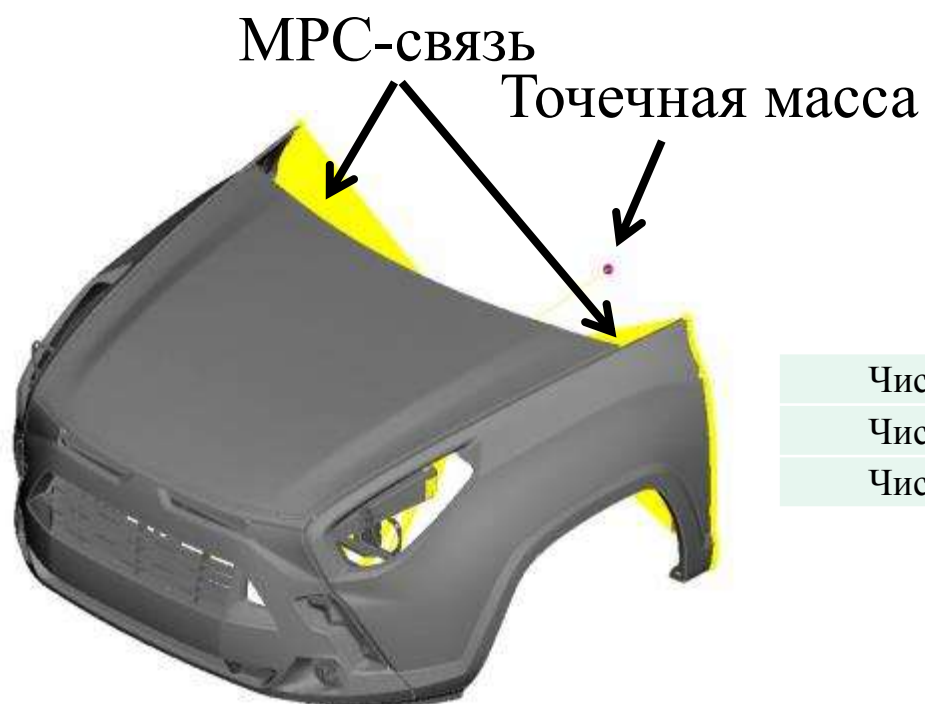


Результаты конечно-элементного моделирования калибровочного теста грудной клетки



Параметр	Целевое значение	Результаты	
		Пассажир	Пешеход
Скорость импактора	6.6 м/с – 6.8 м/с	6.7 м/с	6.7 м/с
Максимальный прогиб	6.35 см-7.26 см	6.4 см	6.45 см
Максимальная сила сопротивления	526 кгс -601 кгс	596 кгс	609.5 кгс
Внутренний гистерезис*	69 % - 85 %	70%	65%
Время расчета	-	3568с	3446с

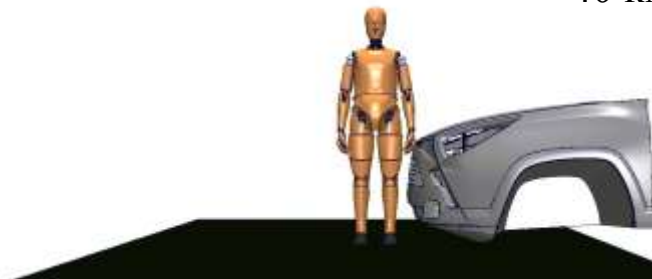
Конечно-элементная модель автомобиля



Число конечных элементов	406 018
Число узлов	420 993
Число степеней свободы	2 406 958

Моделирование ДТП с пешеходом

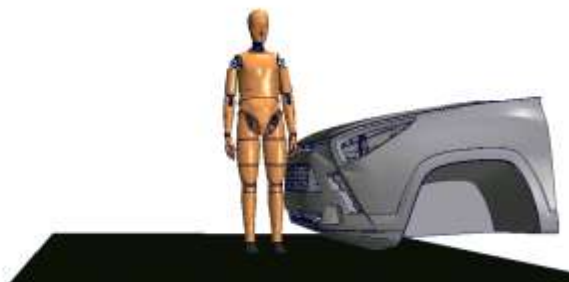
40 км/ч



50 км/ч



60 км/ч



70 км/ч

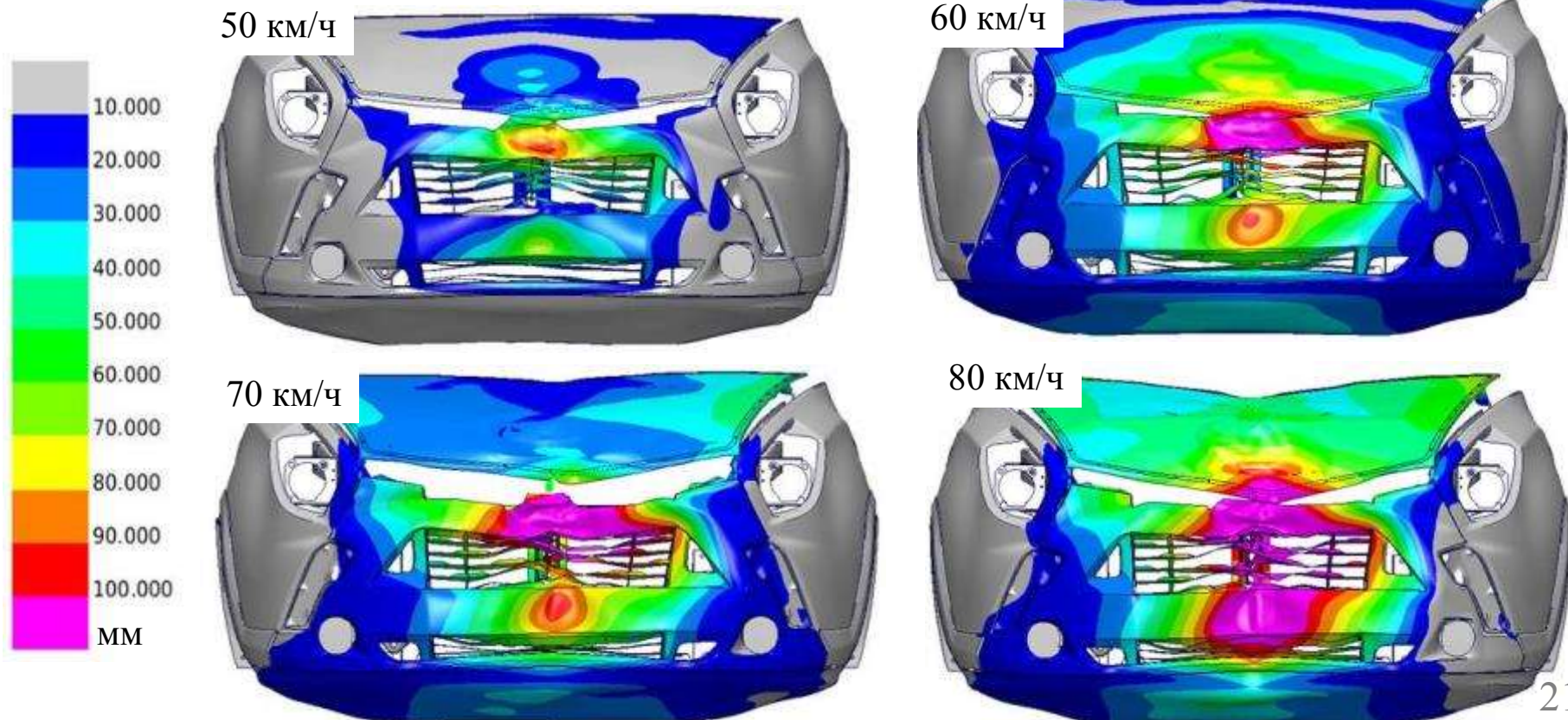


80 км/ч



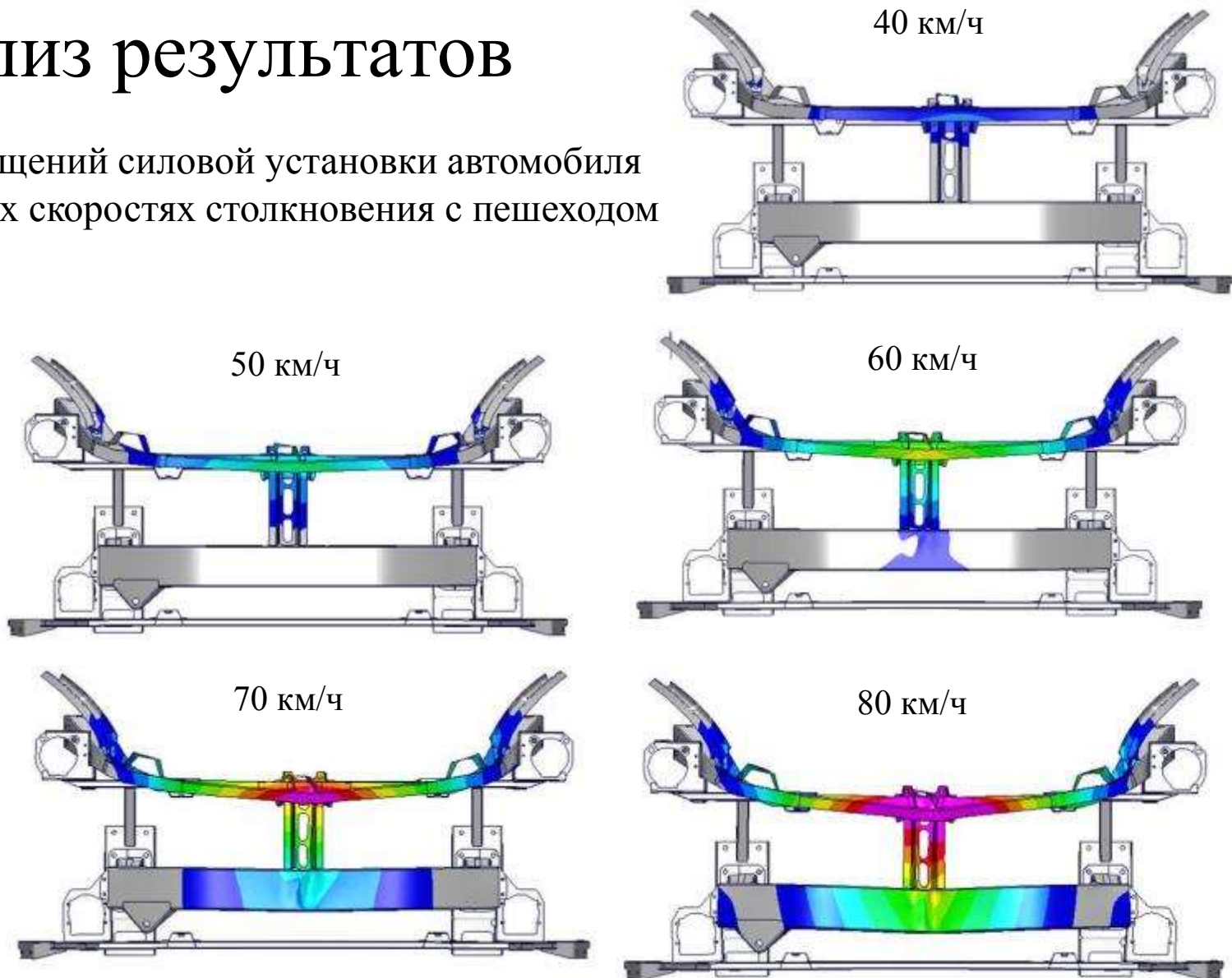
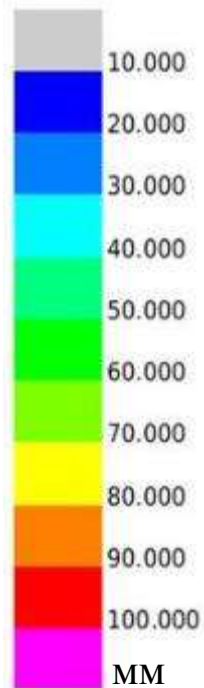
Анализ результатов

Поле перемещений передней части автомобиля
при различных скоростях столкновения с пешеходом



Анализ результатов

Поле перемещений силовой установки автомобиля при различных скоростях столкновения с пешеходом



Анализ результатов

Скорость	Перемещения, мм						
	Под решеткой	Над решеткой	Край капота	Макс. прогиб капота	Нижняя кромка	Нижний усилитель	Верхний усилитель
40 км/ч	67	89	45	33	12	1.3	20
50 км/ч	72	96	48	48	31	2.6	45
60 км/ч	91	125	72	60	45	15	74
70 км/ч	97	150	108	76	57	39	102
80 км/ч	139	172	124	94	80	70	139

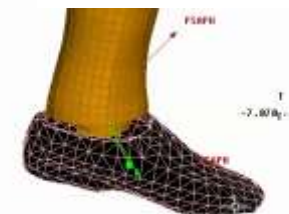
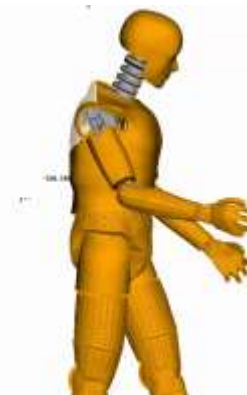
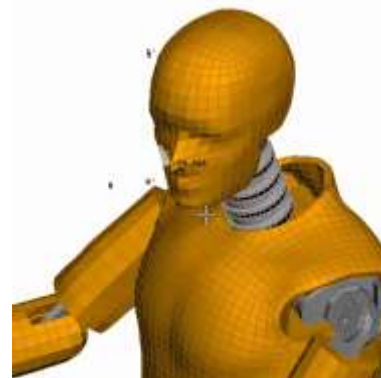
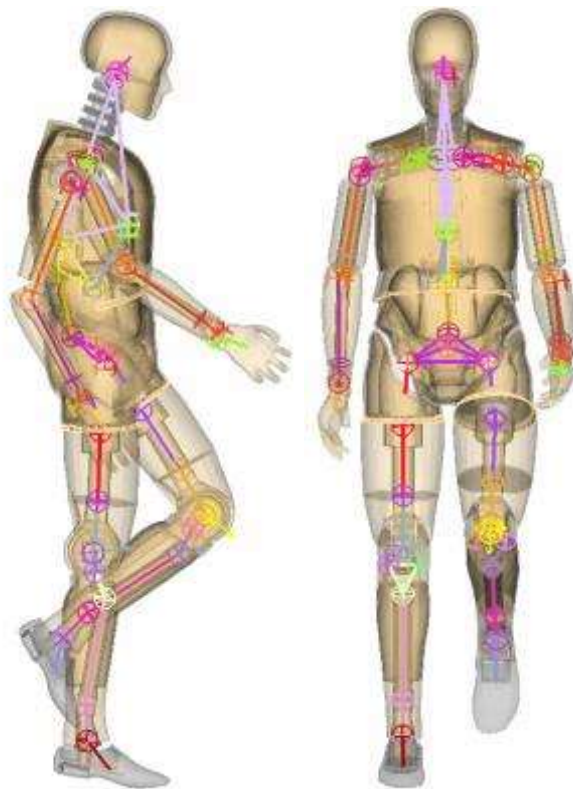
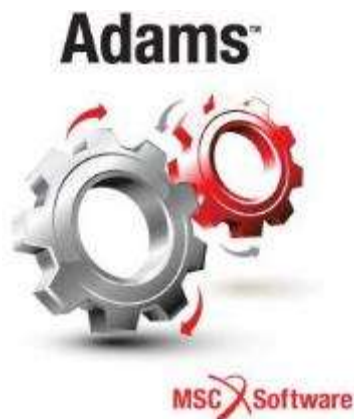


Оценка травм пешехода при ДТП

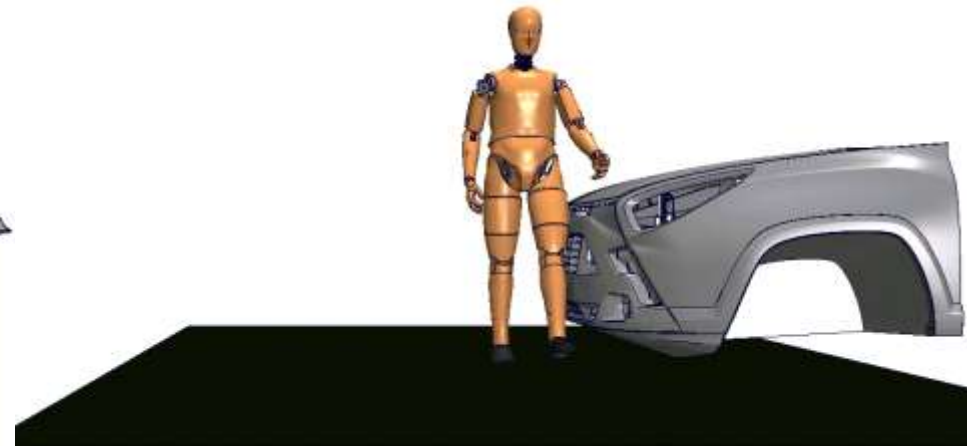
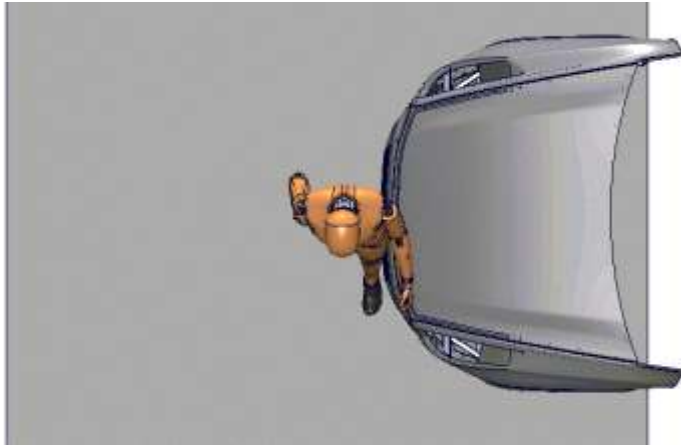
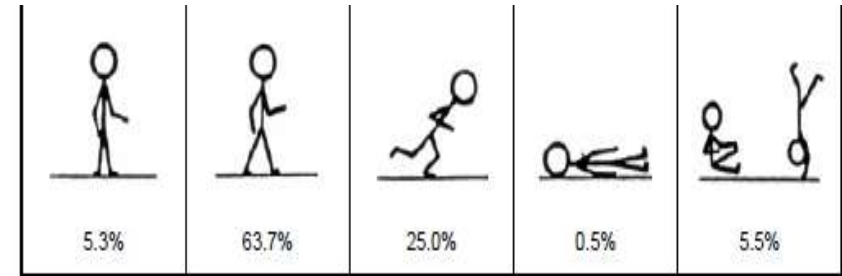
№	Наименование контрольного параметра	СИ	R94	40 км/ч	50 км/ч	60 км/ч	70 км/ч
1	НІС головы	—	1000	94,94	405,71	2876,06	3316,36
2	3-х мс замедление головы	g	80	36	99,47	135,74	175,36
3	Критерий травмирования шеи растягивающим усилием	—	—	Нет травмы	Травма	Травма	Травма
4	Критерий травмирования шеи сдвигающим усилием	—	—	Нет травмы	Нет травмы	Нет травмы	Нет травмы
5	Изгибающий момент шеи при растяжении	Нм	57	22	47	53	58
6	Деформация груди ThCC	мм	50	2,6	2,3	2,8	3,6
7	Критерий VC грудной клетки	м/с	1.0	0,005	0,004	0,006	0,012
8	Критерий нагрузки на левом бедре FFCL	—	—	Нет травмы	Нет травмы	Травма	Травма
9	Критерий нагрузки на правом бедре FFCR	—	—	Нет травмы	Травма	Травма	Травма
10	Перемещение левого колена	мм	15	0,27	0.82	0,91	3,1
11	Перемещение правого колена	мм	15	0,37	0.42	1,9	2,1
12	Индекс левой нижней части голени	—	1.3	3,34	4,43	6,52	11,69
13	Индекс левой верхней части голени	—	1.3	8,09	11,02	14,32	12,77
14	Индекс правой нижней части голени	—	1.3	3,08	3,79	5,59	4,84
15	Индекс правой верхней части голени	—	1.3	3,74	5,64	6,63	4,98
16	Сжатие верхней части левой голени	кН	8	60	121	180	80
17	Сжатие нижней части левой голени	кН	8	90	120	250	250
18	Сжатие верхней части правой голени	кН	8	12	53	25	60
19	Сжатие нижней части правой голени	кН	8	12	66,05	75	45

Параметризованная модель пешехода

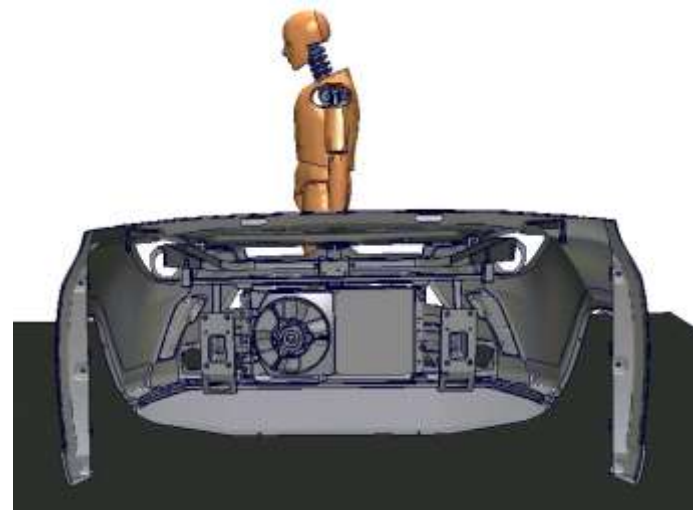
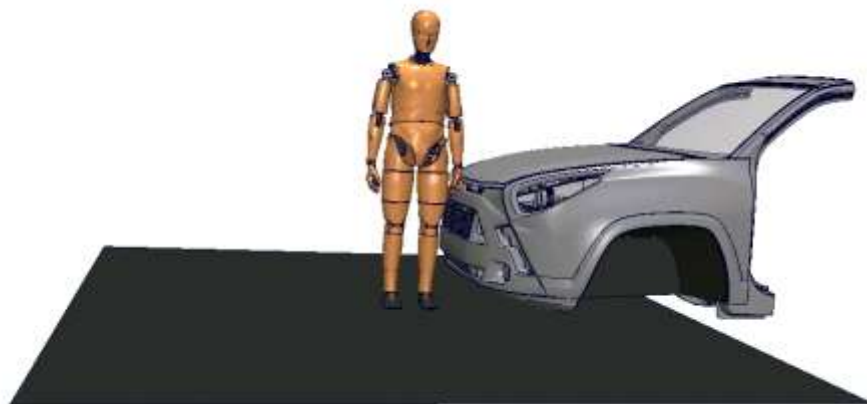
β BETA
CAE Systems SA



Видоизмененная поза пешехода

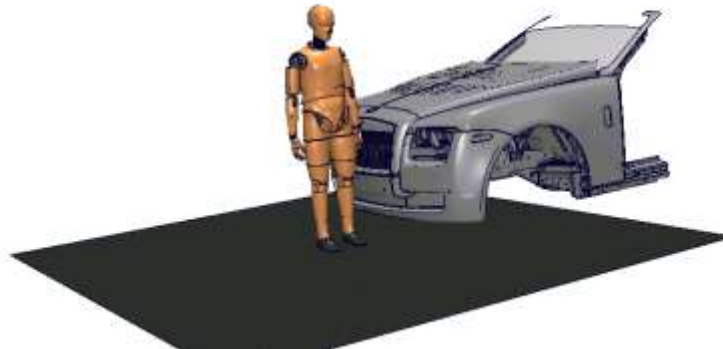
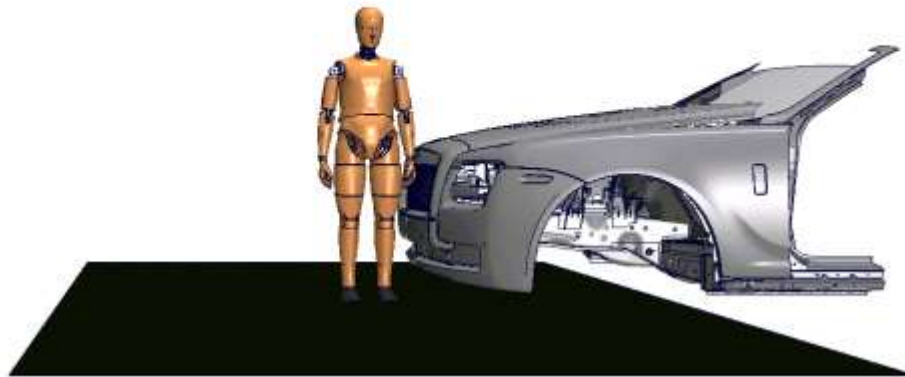


Добавление различных модулей автомобиля для вычисления



Использование готовой модели для оценки безопасности пешеходов

Скорость движения 60 км/ч



Число элементов	830 942
Число узлов	926 496
Число степеней свободы	4 835 277
Время счета	13ч 50м



Заключение

- Разработана методика полуавтоматического расчета и обработки результатов моделирования столкновения пешехода и автомобиля;
- Разработана параметрическая модель пешехода, позволяющая производить позиционирование;
- В работе показана принципиальная разность получаемых деформаций при конечно-элементном моделировании столкновения на разных скоростях;
- Необходимы дополнительные исследования для оценки применимости МКЭ для задач реконструкции ДТП;
- Была проделана большая работа по сбору информации по рассматриваемой теме;
- Часть результатов работы была вынесена на научно-практическую конференцию Неделя Науки СПбГПУ 2013 г.

Основная литература:

1. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Справочник. – СПб: Издательство ДНК, 2006. – 526 с.;
2. Харалдин Н.А., Клявин О.И., Боровков А.И., “Модификация конечно-элементной модели манекена Hybrid-III для задач моделирования столкновения автомобиля с пешеходом”, Неделя Науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт прикладной математики и механики СПбГПУ. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014;
3. Teng T., 2008, "Development and validation of a pedestrian deformable finite element model", Journal of Mechanical Science and Technology 23 (2009). - Pages 2268-2276;
4. Abaqus Analysis User's Manual, vol. 6.10;
5. Abaqus Theory Manual, vol. 6.10;
6. T. J. Stevenson, Simulation of vehicle-pedestrian interaction. - University of Canterbury, Australia: 2006. – p.342
7. David Moren, Georg Pehrs, Study of Vehicle-to-Pedestrian Interactions with FEM – Evaluation of Upper Leg Test Methods using a Human Body Model. - Volvo Cars Safety Centre, Royal Institute of Technology KTH STH, Stockholm: 2013. – p. 102
8. Revathi Krishnamoorthy, Optimisation of Hood Panels of a Passenger Car for Pedestrian Protection. - RMIT University, Melbourne, Australia: 2012 – p.244
9. Richard Hausmann, Pedestrian Accidents - In-depth Analysis and Accident Figures. - University of Linköping, Sweden, DEKRA Automobil GmbH, Stuttgart, Germany: 2006. – p.152
10. Oana Schützler, Computersimulationen von realen Kraftfahrzeug-Fußgänger-Unfällen. - der Fakultät für Physik der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen: 1998. – S. 113
11. EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) PEDESTRIAN TESTING PROTOCOL 7.0
12. Costin D. Untaroiua, Jaeho Shina, Jeff R. Crandalla, Rikard Fredrikssonbc, Ola Bostromb, Yukou Takahashid, Akihiko Akiyamad, Masayoshi Okamoto, Yuuji Kikuchid, 2009, “Development and validation of pedestrian sedan bucks using finite-element simulations: a numerical investigation of the influence of vehicle automatic braking on the kinematics of the pedestrian involved in vehicle collisions”, International Journal of Crashworthiness Vol.15(5) 2010. – Pages 491-503.
13. Mathew Lyons, Ciaran K. Simms Predicting the Influence of Windscreen Design on Pedestrian Head Injuries. IRCOBI (International Research Council on the Biomechanics of Injury) Conference Proceedings 2012, P. 703-716.
14. Sachin Narayan Narkhede, Analysis of pedestrian collision with a pickup truck. - Departament of Mechanical Engineering, Wichita State University, USA: 2007. – p. 92
15. Ernst Tomasch, Accident Reconstruction Guidelines. - Graz University of Technology, Austria: 2004. – p. 136

Спасибо за внимание!

