



Магистерская работа
по направлению 150300 «Прикладная механика»

**Конечно-элементное моделирование и исследование
дорожно-транспортных происшествий с участием
легкового автомобиля и объектов дорожного ограждения.
Разработка алгоритма определения момента аварии.**

Выполнил студент гр. 6055/1
Руководитель, к.т.н., проф.
Соруководитель, асс.

В. Н. Сергеев
А. И. Боровков
О. И. Клявин

Санкт-Петербург
2012



Содержание работы

- Введение
- Оцениваемые параметры взаимодействия
- Схема определения момента и степени тяжести аварии
- Геометрическая и КЭ модель автомобиля БМВ 1 серия
- Постановки и результаты КЭ задач наезда автомобиля на различные объекты дорожного ограждения.
- Модель материала. КЭ модели препятствий
- КЭ постановка задач о наезде автомобиля БМВ 1
- Анализ полученных результатов
- Анализ влияния эксплуатационных характеристик акселерометра на результаты измерений
- Заключение

Цели работы:

- КЭ моделирование наезда автомобиля на различные неподвижные препятствия
- разработка критериев определения момента и степени тяжести аварии
- замена используемых пороговых значений на полученные в результате испытаний
- уточнение требований к используемому оборудованию.



Государственная система экстренного реагирования "ЭРА-ГЛОНАСС"



Май 2010 – Старт проекта "ЭРА-ГЛОНАСС"

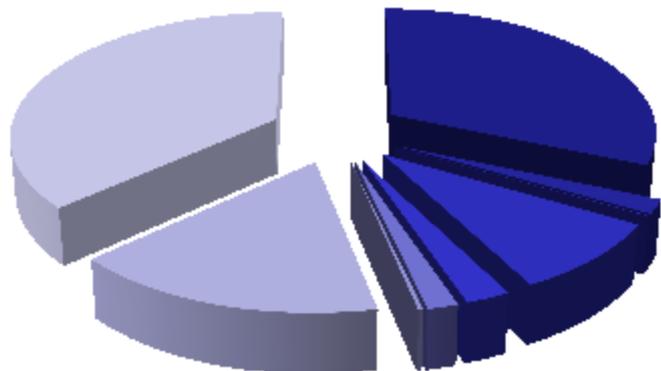


Ноябрь - декабрь 2011 – Выполнение первого этапа работ "ЭРА-ГЛОНАСС"

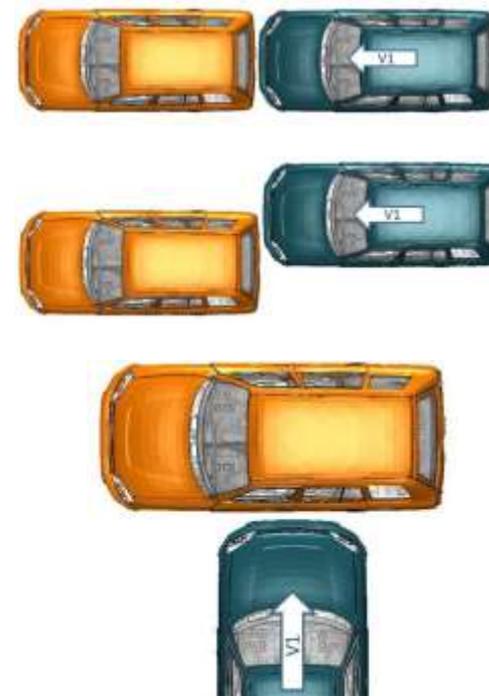


Статистика ДТП по России за 2011г.

Число погибших людей (всего - 27953)



- Пешеходы - 8822
- Велосипед - 503
- Гужевой транспорт - 23
- Стоящее ТС - 661
- Иной вид ДТП - 453
- Падение пассажира - 71
- Опрокидывание - 4615
- Столкновение - 10289





Оцениваемые параметры взаимодействия



Кривая Уэйна-Стейта значений критической перегрузки в зависимости от времени ее действия [1]

Коэффициент травмирования головы (Head Injury Criteria) :

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

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

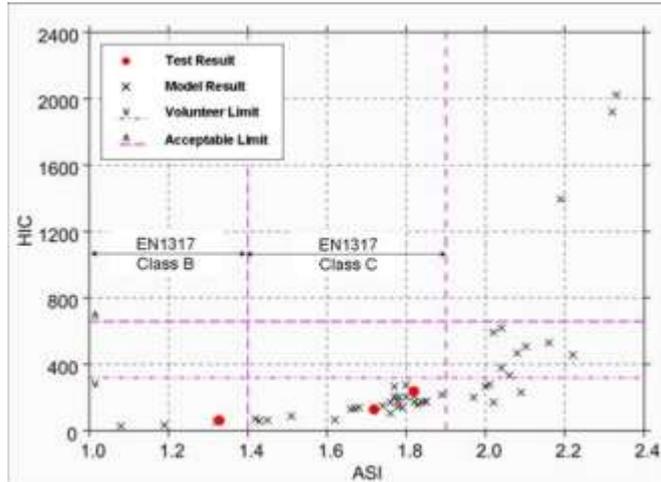
[1] Kennerly H.Digges “Injury measurements and criteria”

[2] Euro NCAP protocol “Assessment protocol and biomechanical limits” v.4.2 june 2008



Оцениваемые параметры взаимодействия

Индекс степени опасности ускорения (Acceleration Severity Index) :



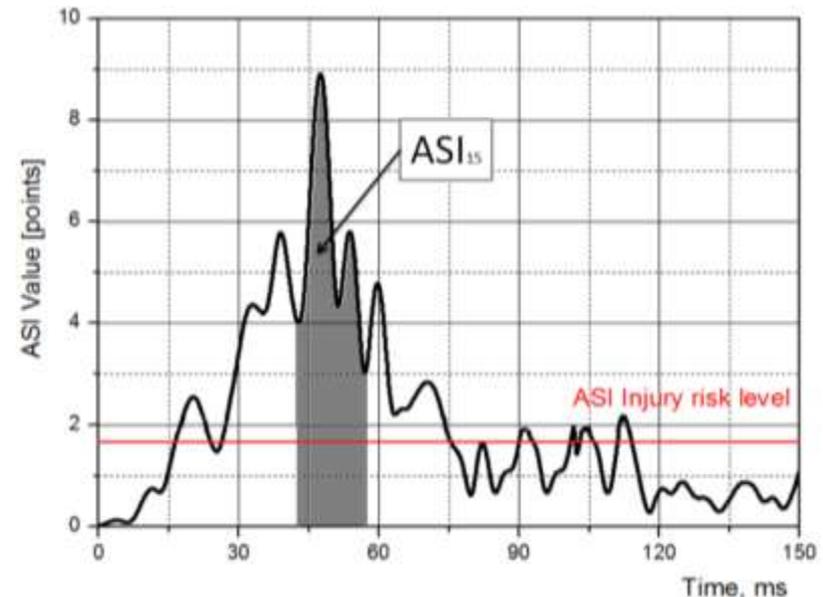
$$ASI(t) = \sqrt{\left[\left(\frac{\bar{a}_x}{\hat{a}_x}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y}{\hat{a}_y}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\hat{a}_z}\right)^2\right]}$$

$$\bar{a}_i(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_i dt; \quad \hat{a}_x = 12 \text{ g}, \hat{a}_y = 9 \text{ g}, \hat{a}_z = 10 \text{ g}$$

$$ASI_{15} = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} ASI(t) dt \right\}_{max} \quad \text{где } t_2 - t_1 = 15 \text{ мс}$$

Связь между критериями HIC и ASI [1]

Степень тяжести перегрузок	ASI ₁₅	HIC
Неопасные	от 0 до 1	до 150
Средней тяжести	от 1 до 1.4	от 150 до 325
Тяжелые	от 1.4 до 1.8	от 325 до 650
Опасные	более 1.8	более 650

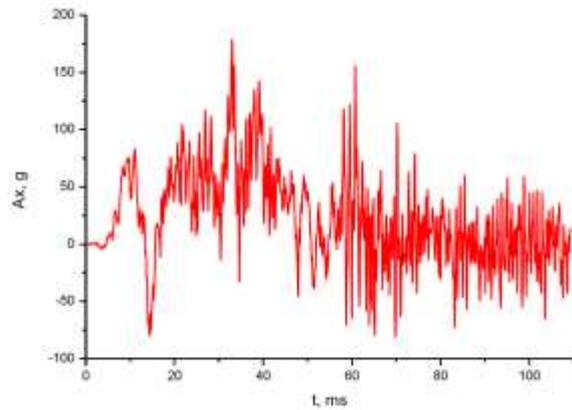


Метод определения индекса ASI₁₅

[1] Richard Sturt, Christina Fell. “The relationship of injury risk to accident severity in impacts with roadside barriers.”



Схема определения момента и степени тяжести аварии



Исходный сигнал

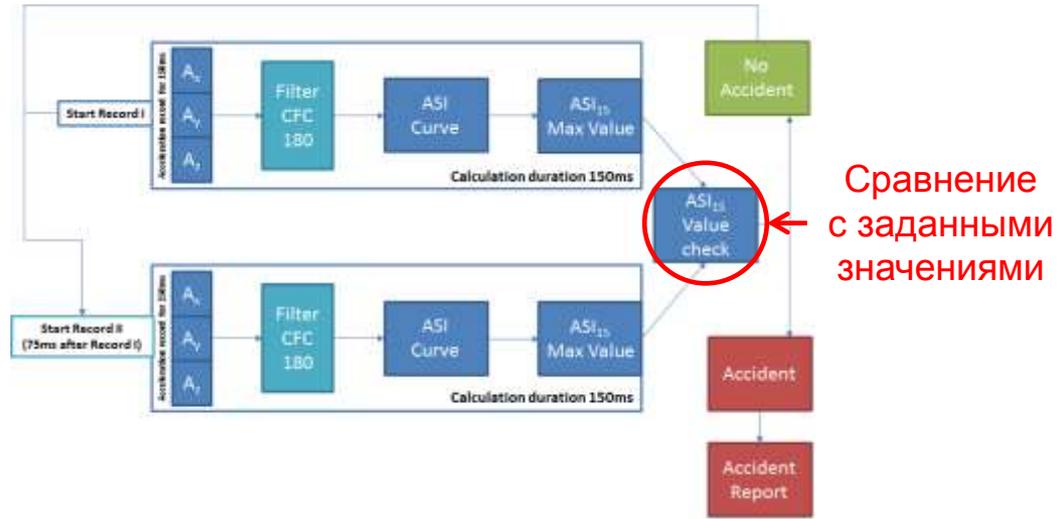
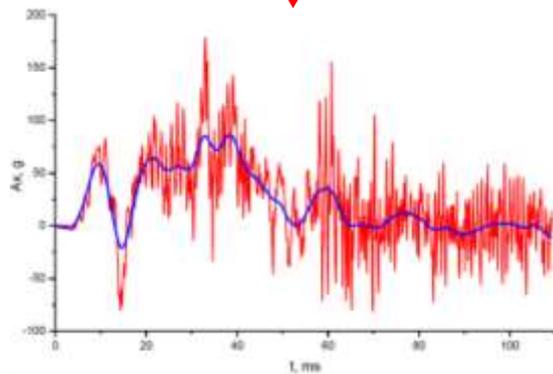
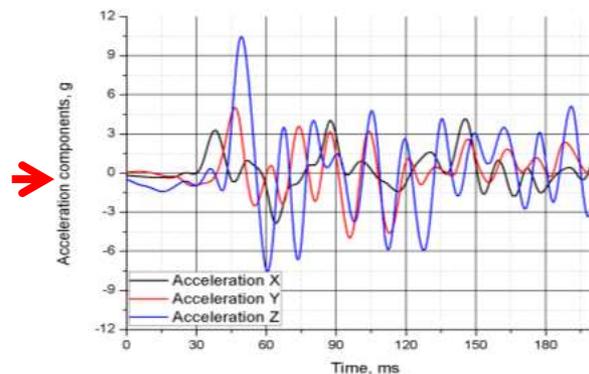


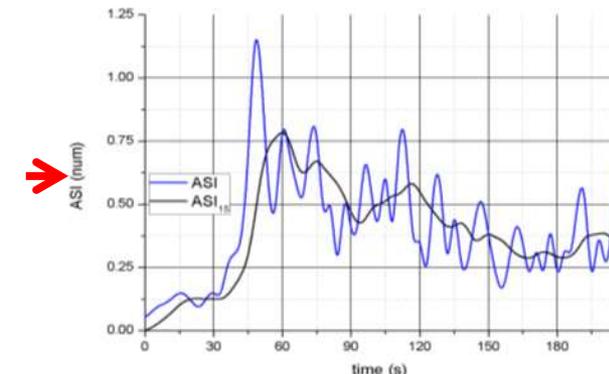
Схема определения момента аварии



Фильтрация сигнала



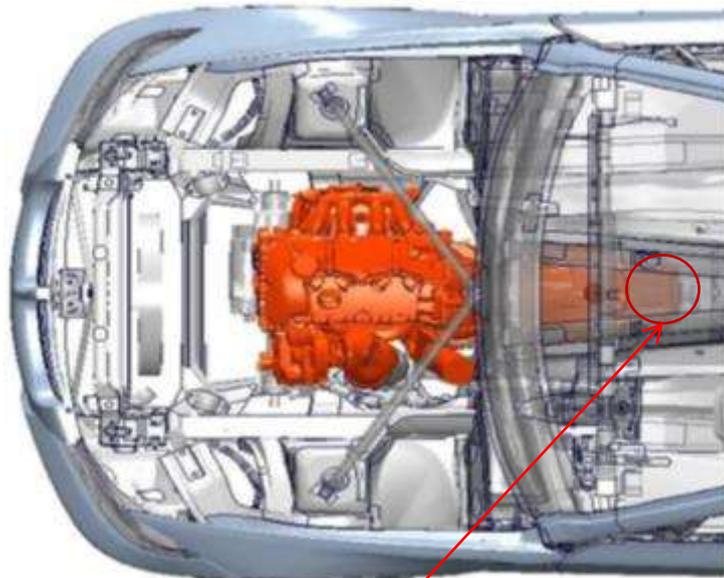
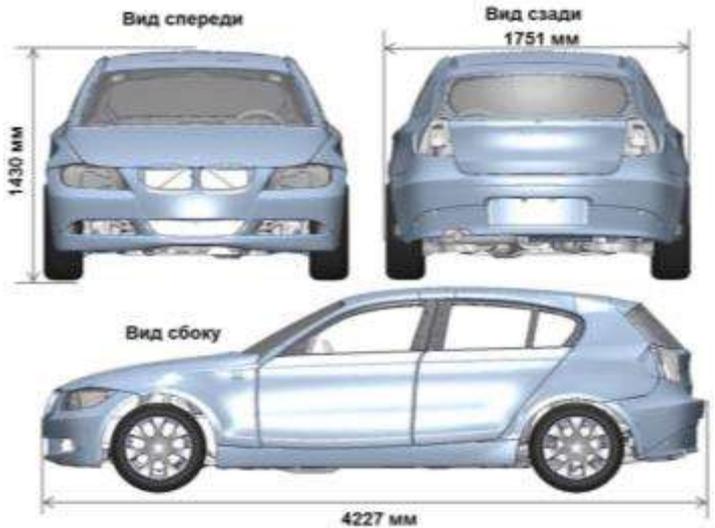
Отфильтрованные компоненты ускорения



Кривая ASI и Значения ASI_{15}



Геометрическая и конечно-элементная модель автомобиля БМВ 1 серия



Место установки датчика

Основные размеры автомобиля:

Высота 1430 мм;

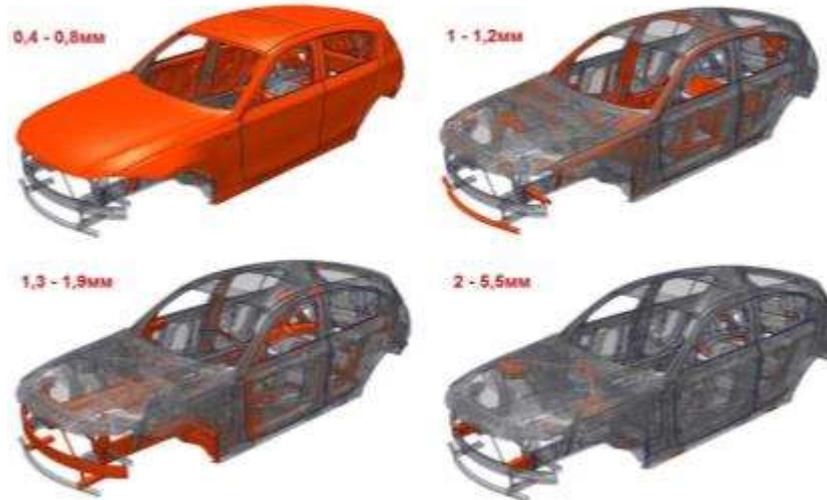
Ширина 1751 мм;

Длина 4227 мм;

Колесная база 2660 мм;

Дорожный просвет 145 мм;

Колея передних / задних колес, мм - 1494/ 1507;

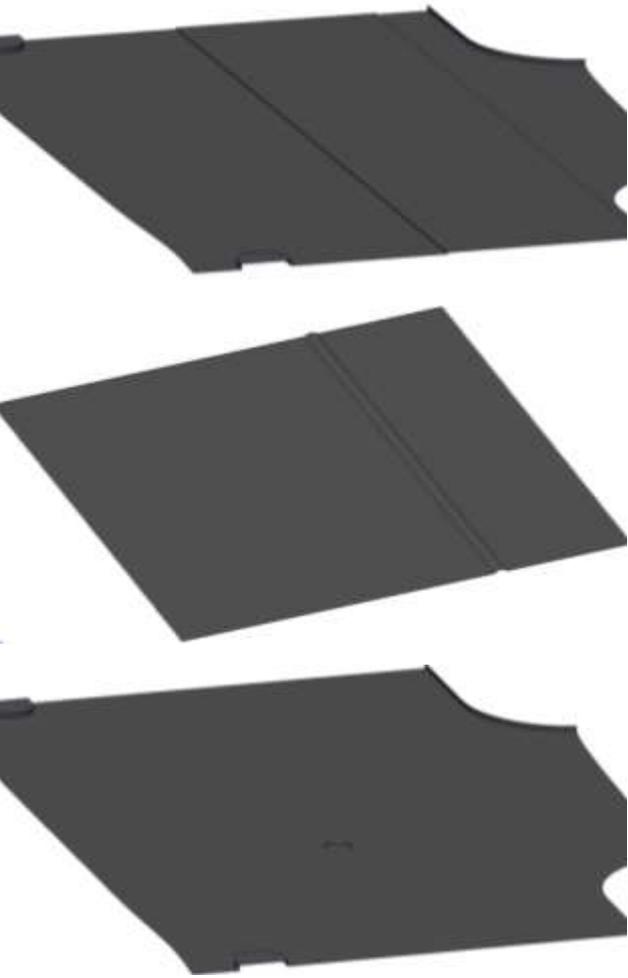


Параметры КЭ модели автомобиля БМВ 1 серия

Количество узлов (3 степени свободы в узле)	30 374
Количество узлов (6 степеней свободы в узле)	814 222
Общее количество степеней свободы	4 976 454
Количество твердотельных элементов	19580
Количество оболочечных элементов	748 495
Количество балочных элементов	271



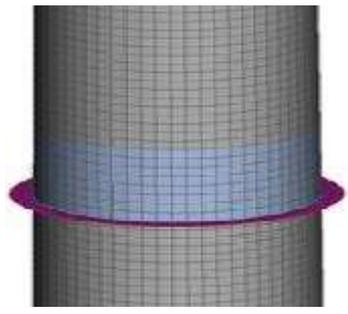
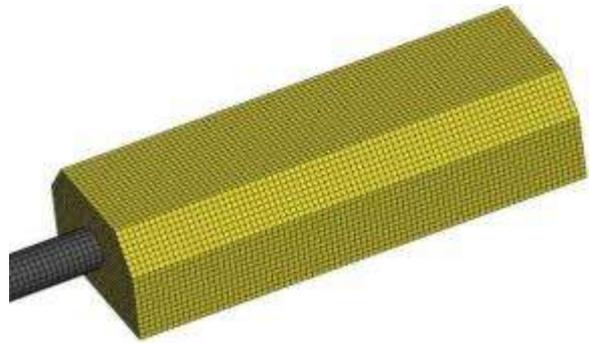
КЭ модели препятствий



Недеформируемые препятствия



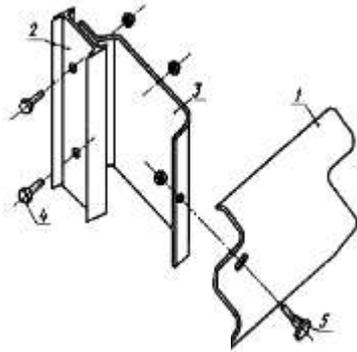
КЭ модель мачты
дорожного освещения



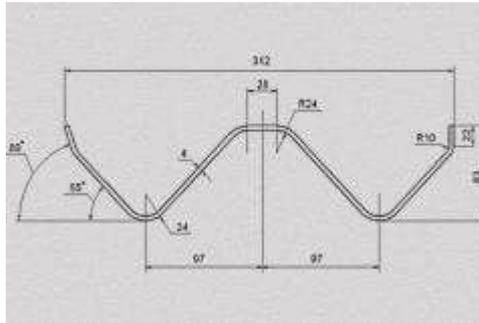
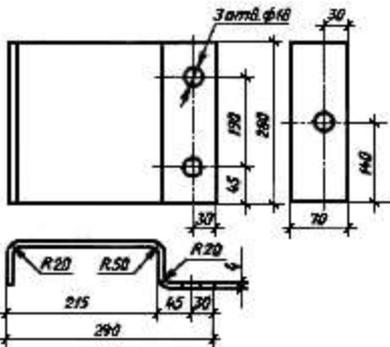
Число элементов	60096
Число узлов	60231
Число степеней свободы	180693
Материал	Steel
Модуль Юнга, GPa	210000
Плотность, kg/m ³	7850
Коэффициент пуассона	0.28



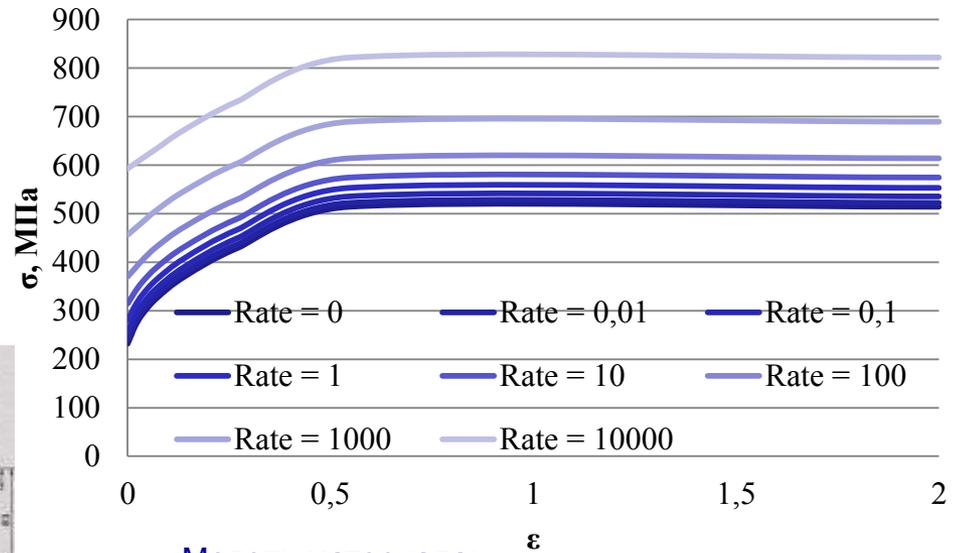
КЭ модели препятствий. Модель материала



Консоль-амортизатор - КА

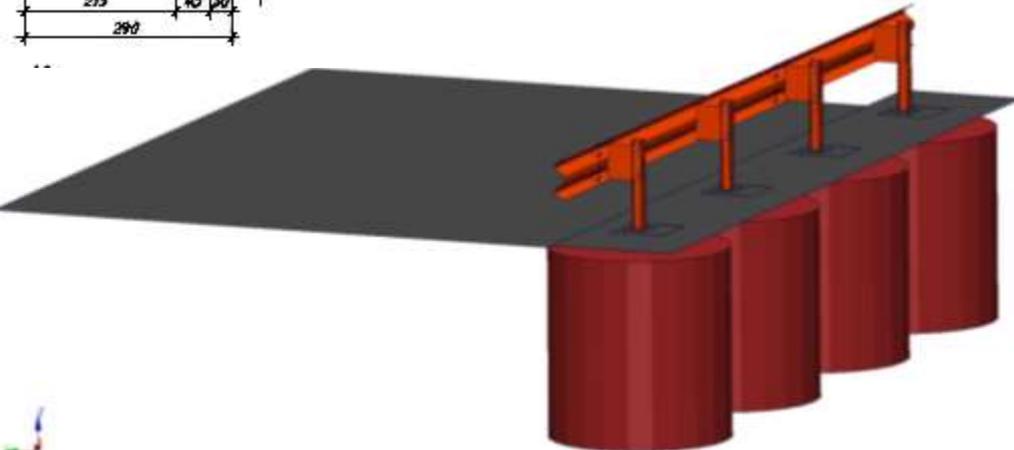


Кривая пластического деформирования стали H220BD



Модель материала:

упругопластическая с изотропным упрочнением
и с учетом зависимости от скорости деформации

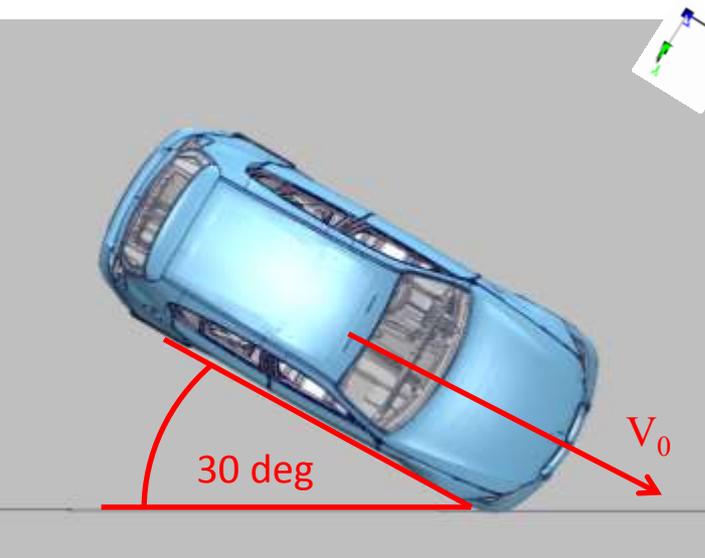


КЭ модель дорожного ограждения

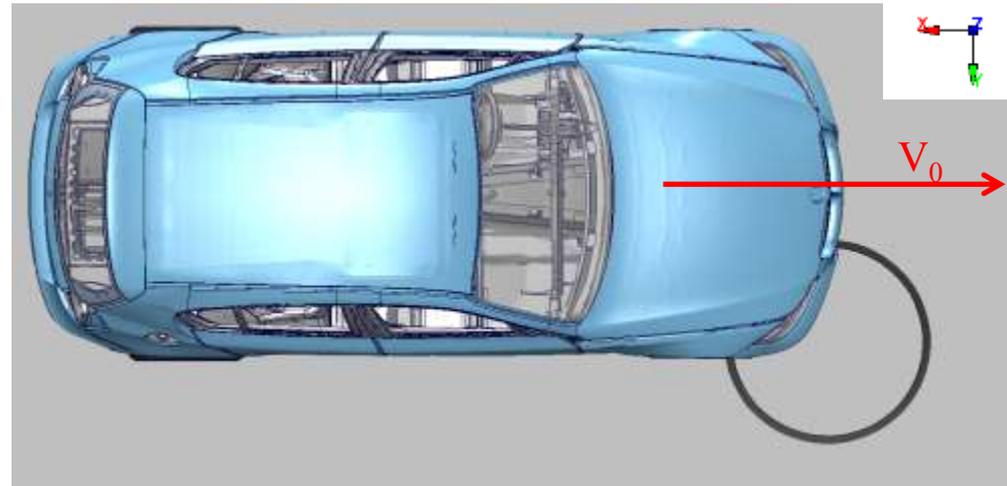
Число элементов	78273
Число узлов	82111
Число степеней свободы	278540
Материал	Steel
Модуль Юнга, GPa	210000
Плотность, kg/m ³	7850
Коэффициент Пуассона	0.28



КЭ постановка задачи о наезде автомобиля БМВ 1 на бордюр и люк (Варианты 1;2)



Начальная скорость автомобиля – 35 км/ч
Угол по отношению к бордюру – 30 градусов
Высота бордюра - 30,50,70 мм.
Время моделирования – 200 мс.



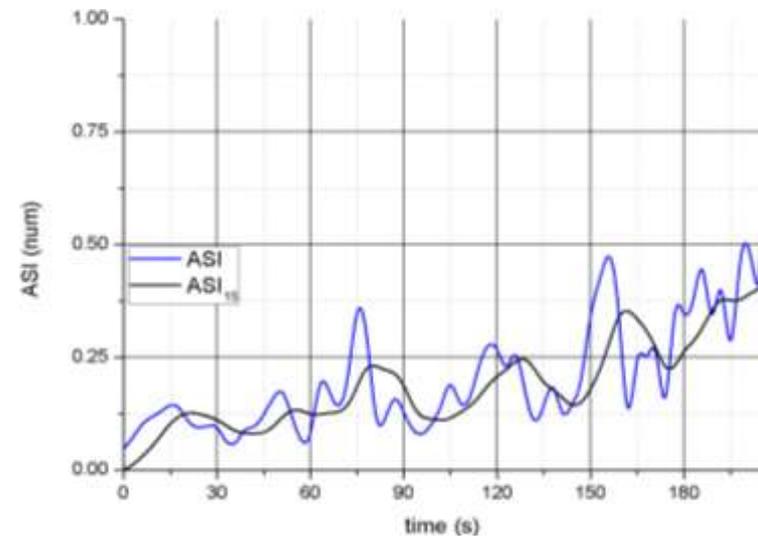
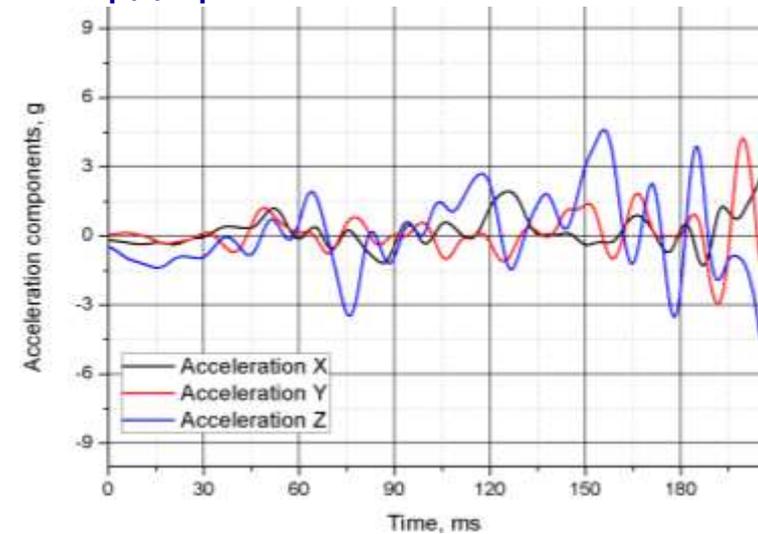
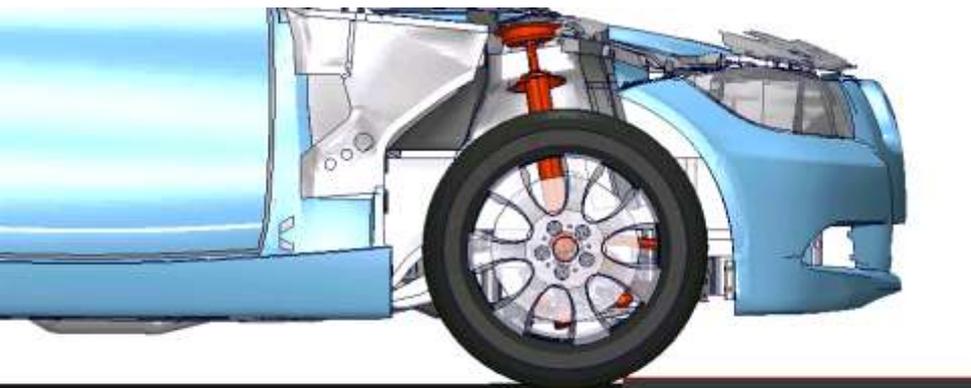
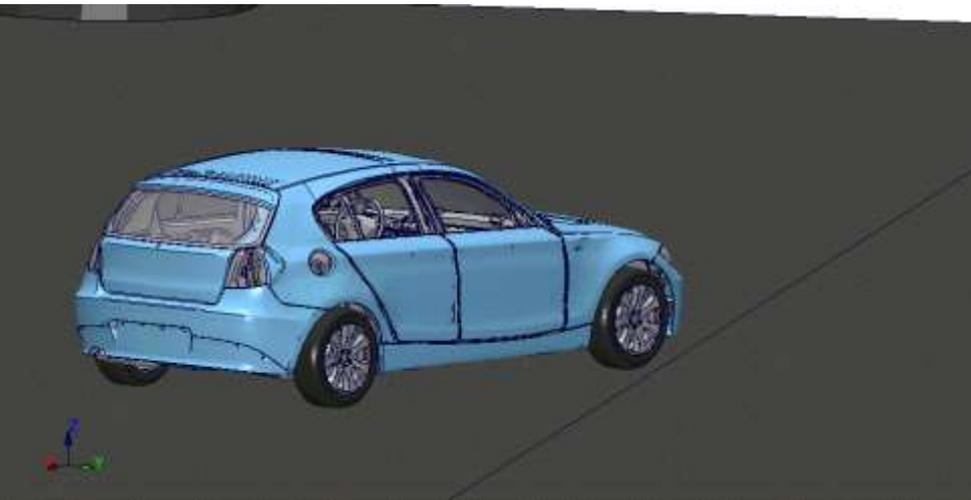
Геометрические размеры люка:
Диаметр – 1000 мм
Фаска – 20 мм
Глубина – 100 мм
Наезд ровно по центру.



Начальное положение автомобиля перед наездом на бордюр и открытый люк



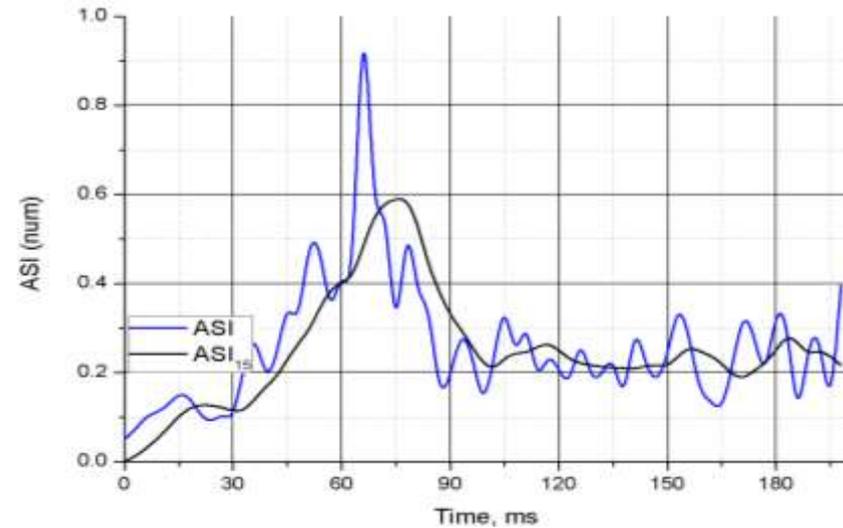
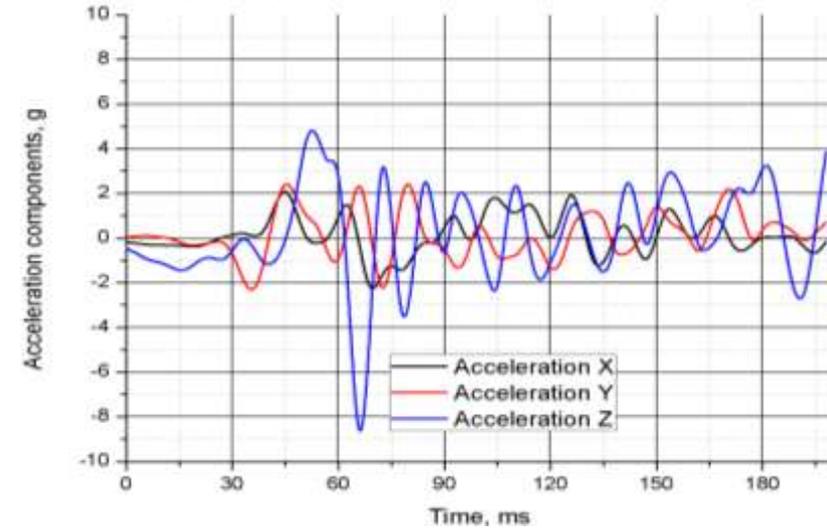
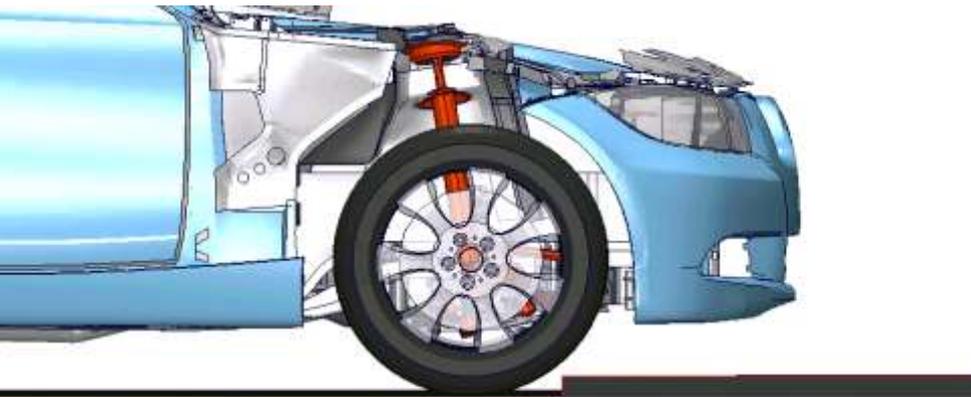
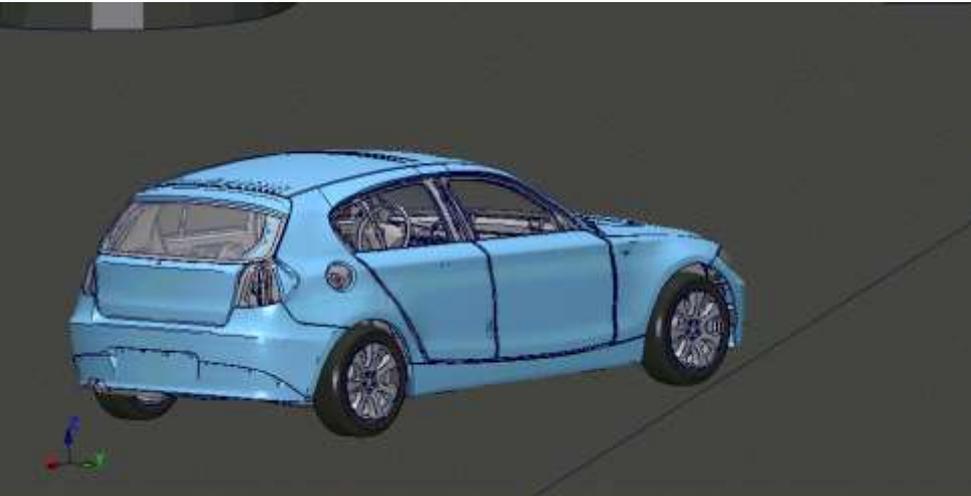
Вариант 1.1 Наезд на 30 мм бордюр



Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 0.41



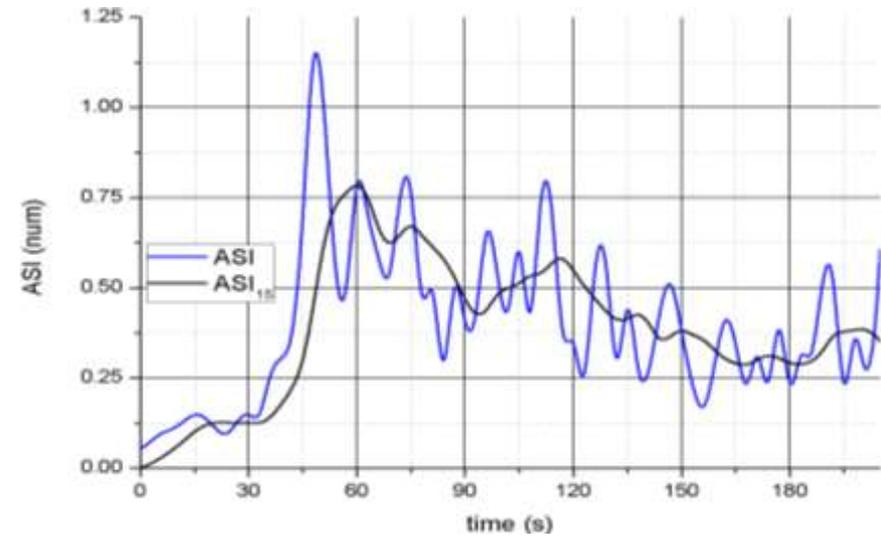
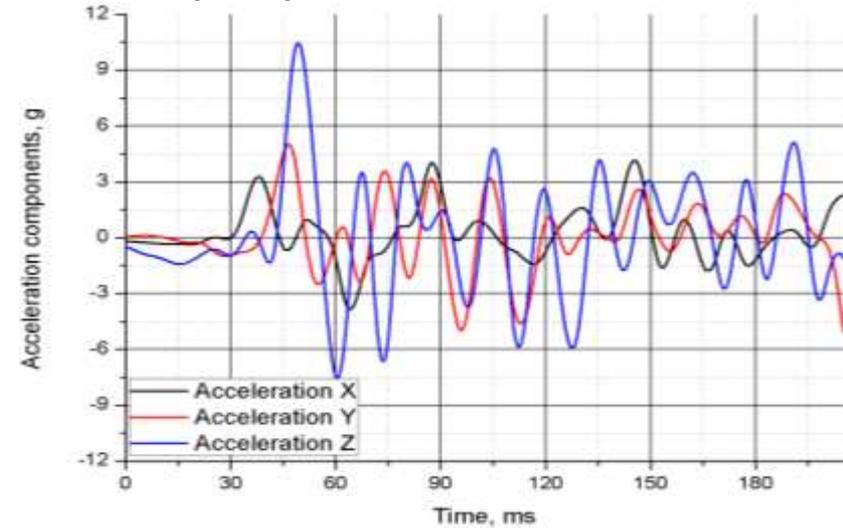
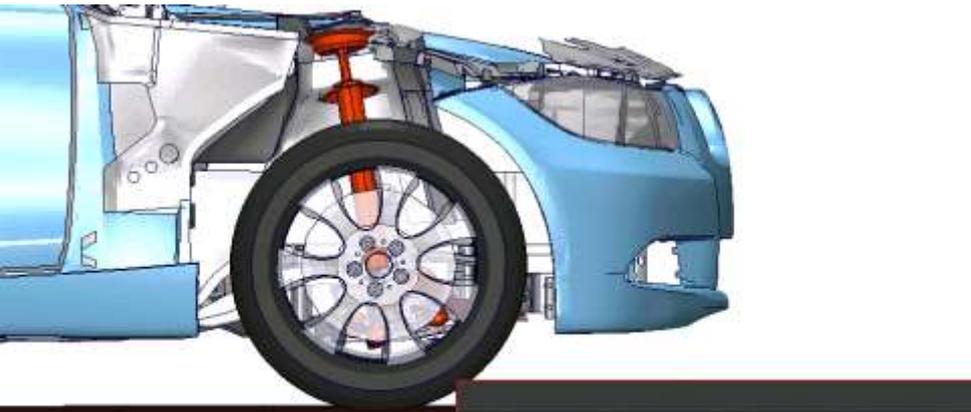
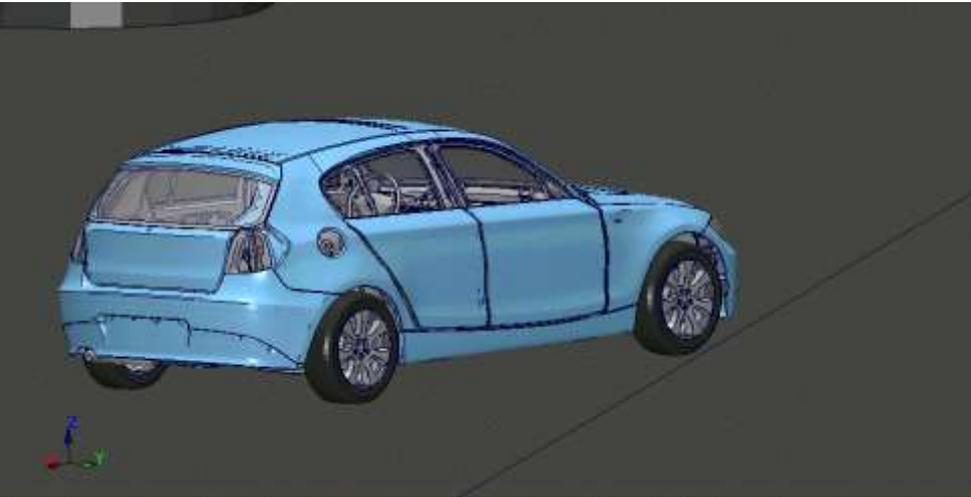
Вариант 1.2 Наезд на 50 мм бордюр



Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 0.59



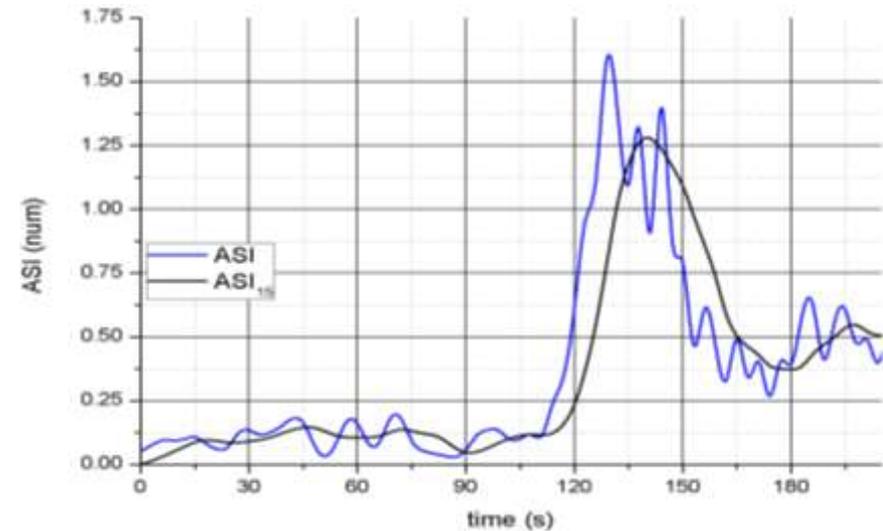
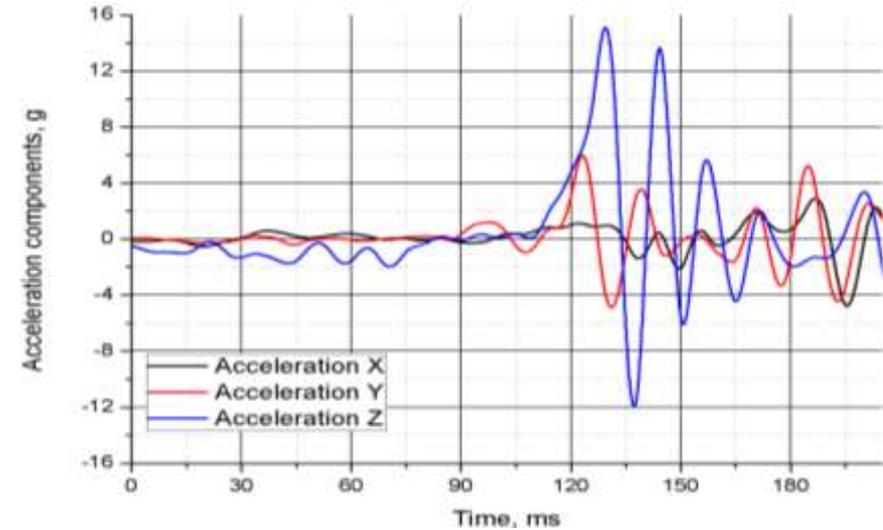
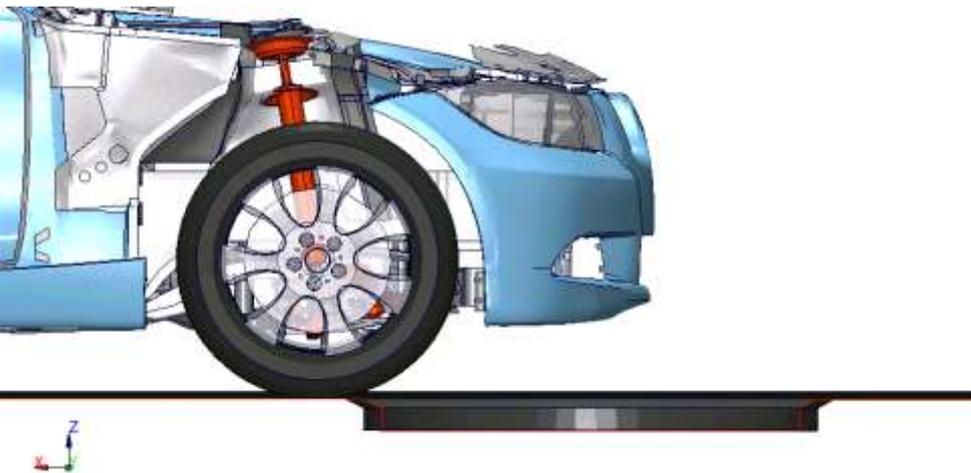
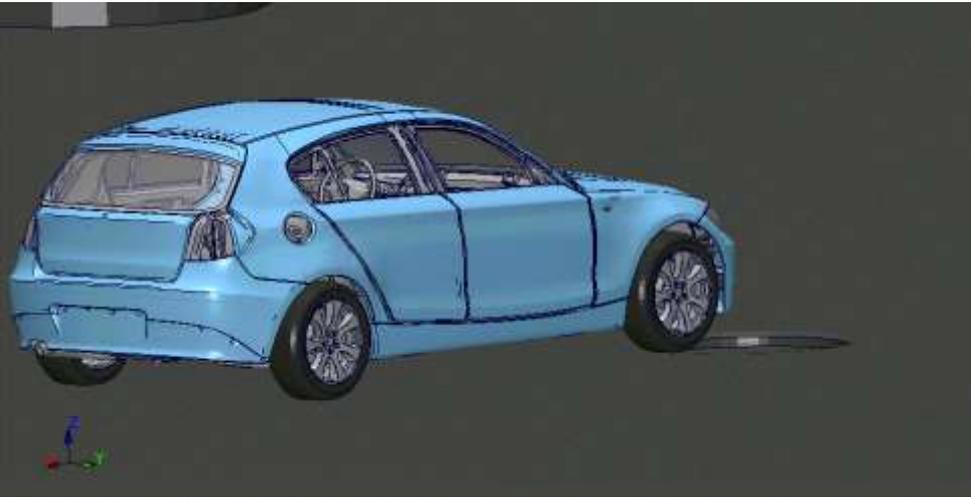
Вариант 1.3 Наезд на 70 мм бордюр



Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 0.79



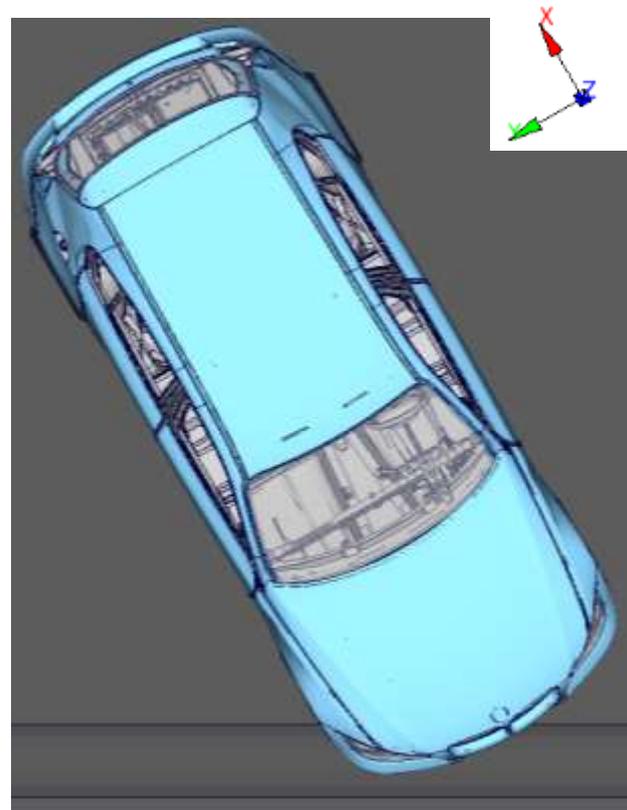
Вариант 2 Наезд на люк



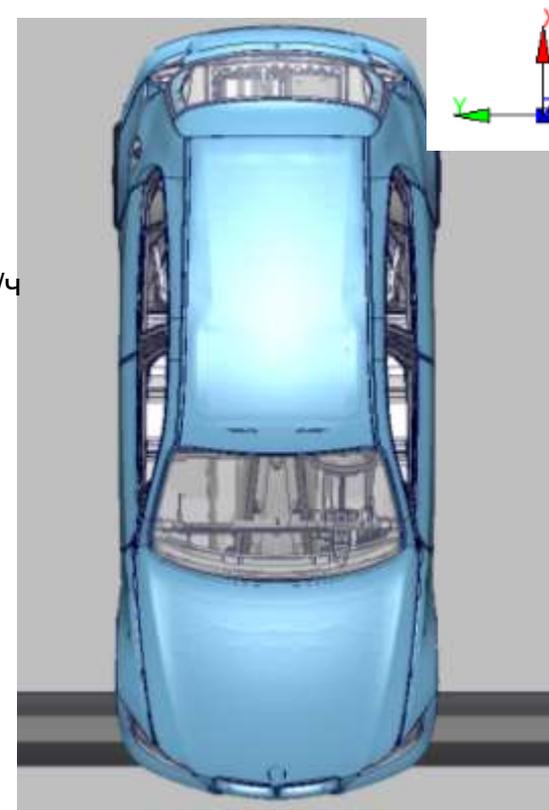
Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 1.27



КЭ постановка задачи о наезде автомобиля BMW 1 серия на искусственную неровность (Вариант 3)

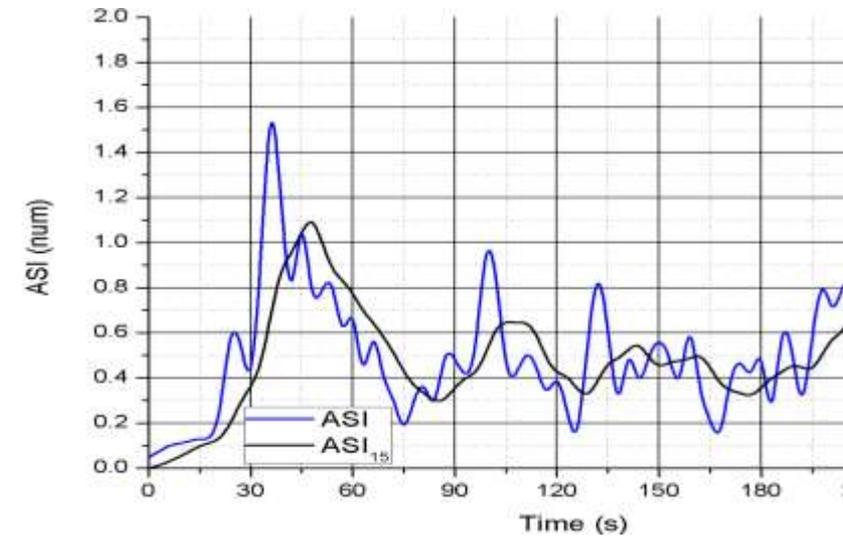
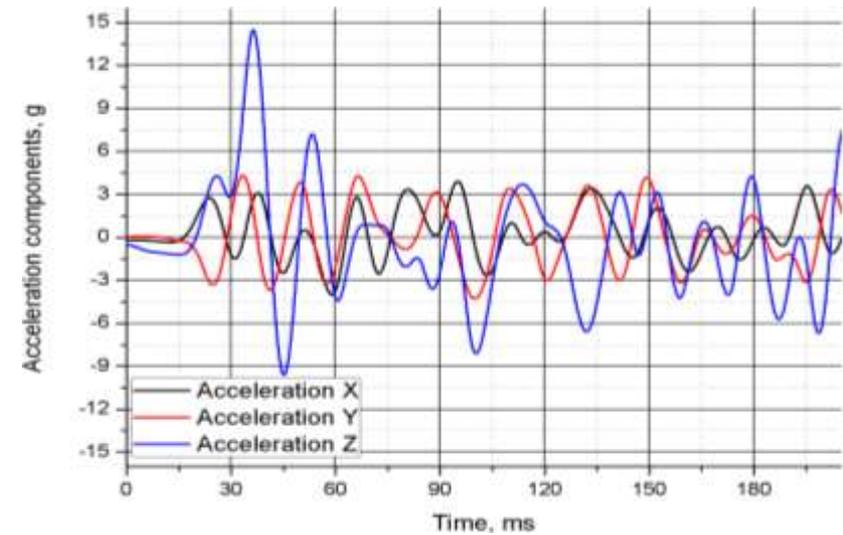
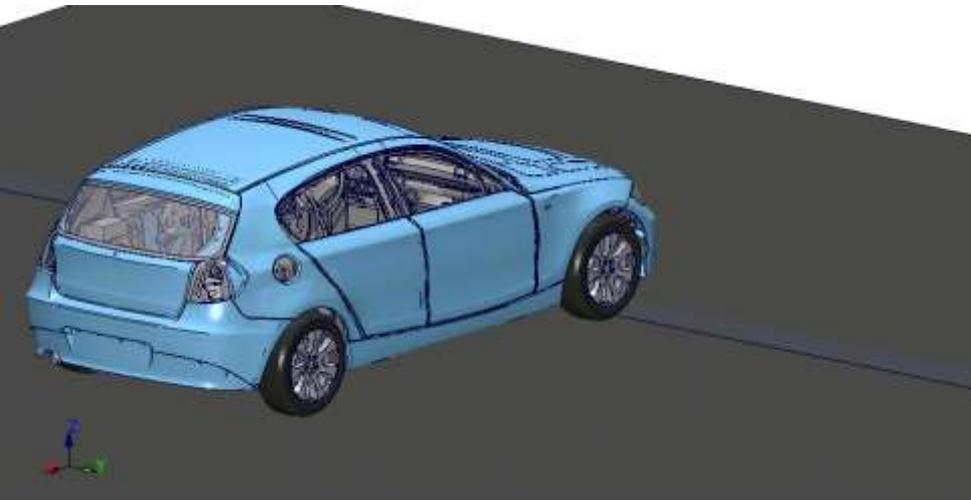


Начальная скорость автомобиля – 35 км/ч
Профиль препятствия:
Высота – 70 мм
Ширина – 400 мм
Углы наезда – 60 и 90 градусов.
Время моделирования – 200 мс.





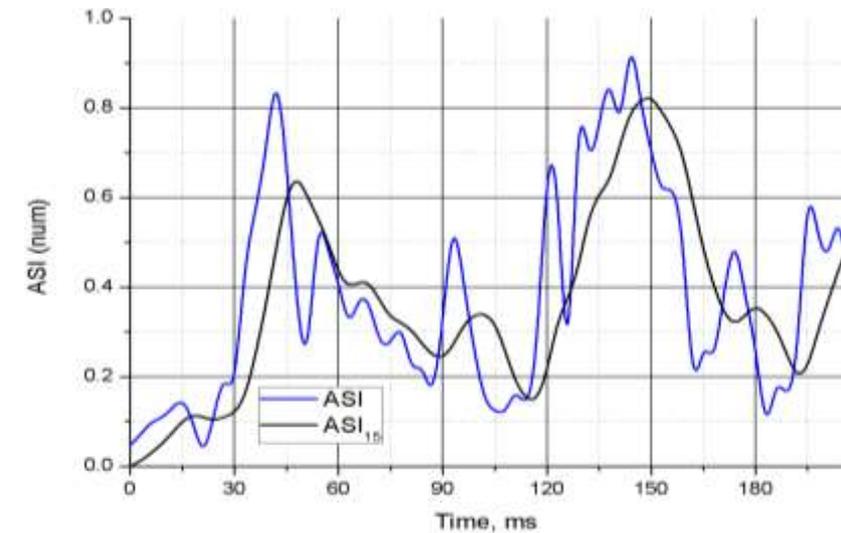
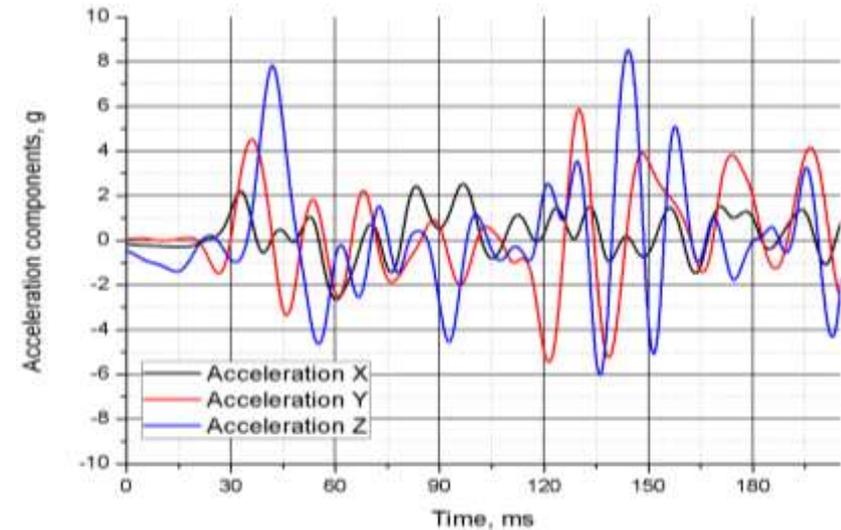
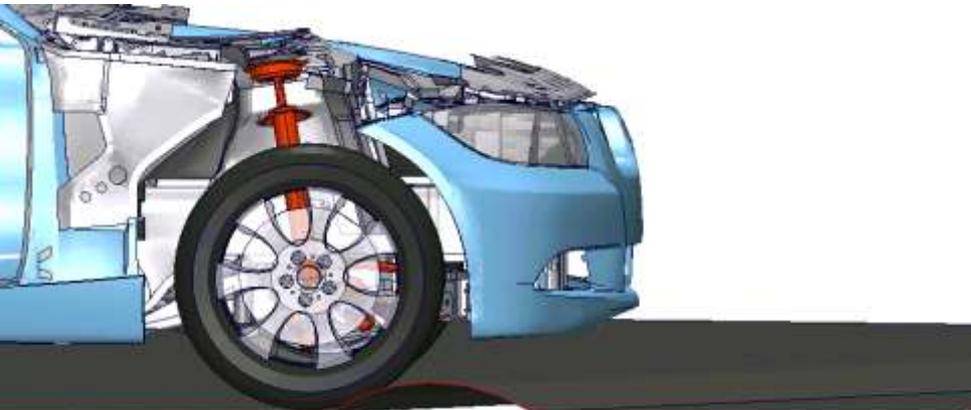
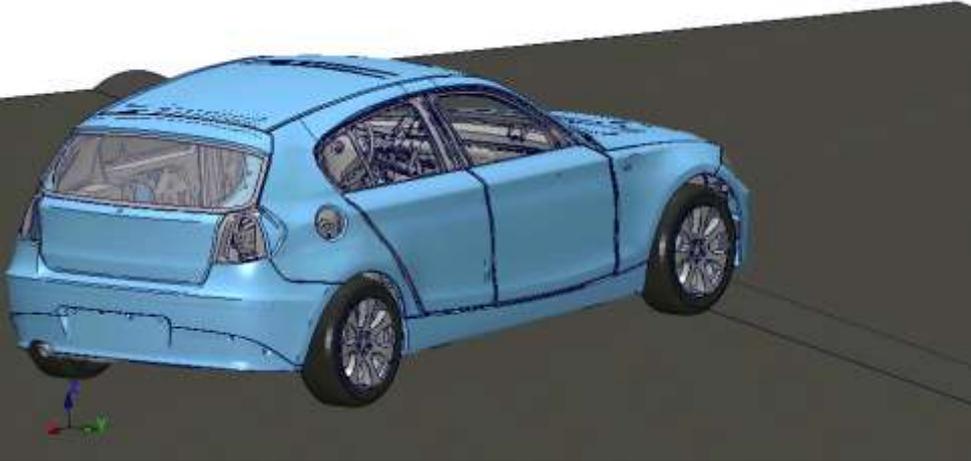
Вариант 3.1 Наезд на искусственную неровность (фронтальный)



Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 1.12



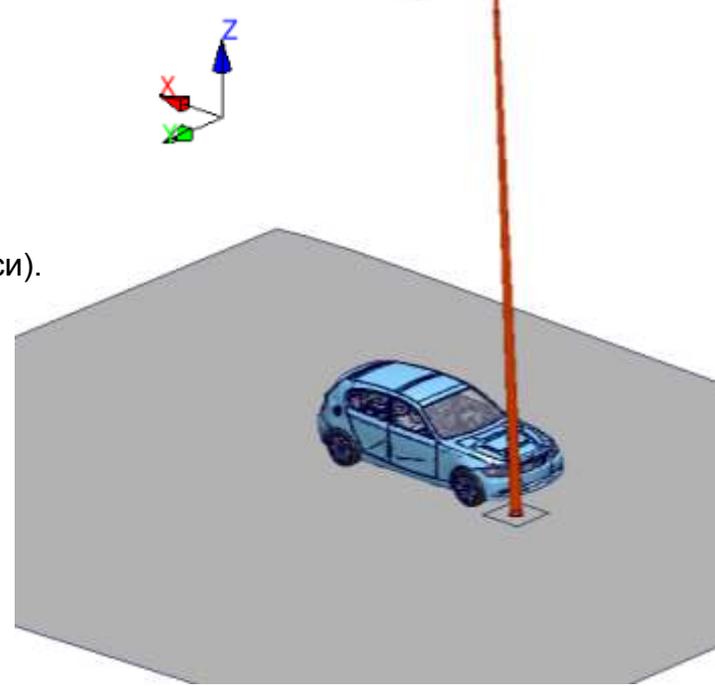
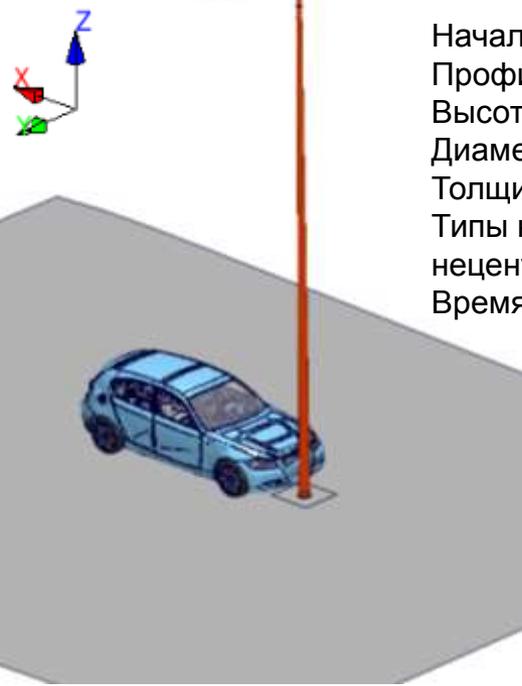
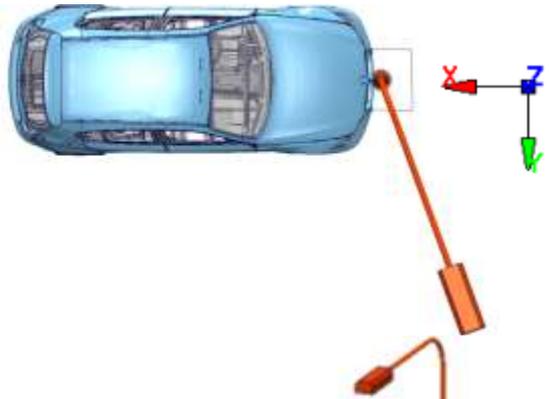
Вариант 3.2 Наезд на искусственную неровность (под углом 60 градусов)



Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 0.82



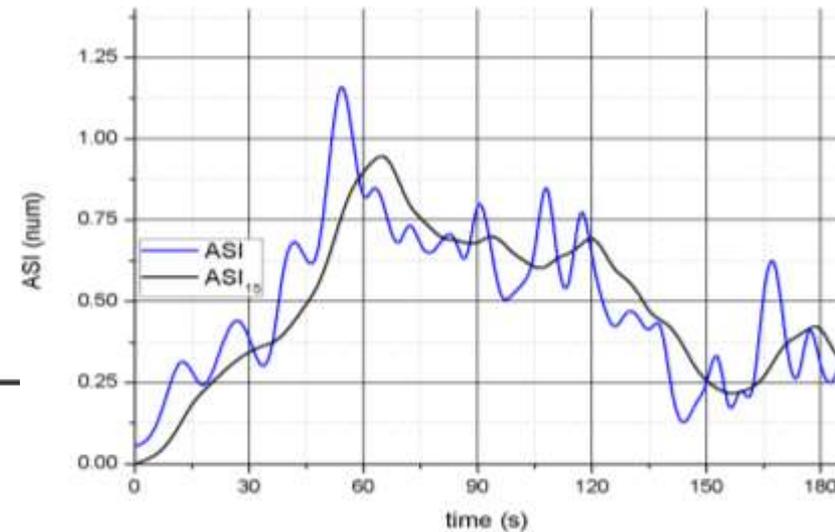
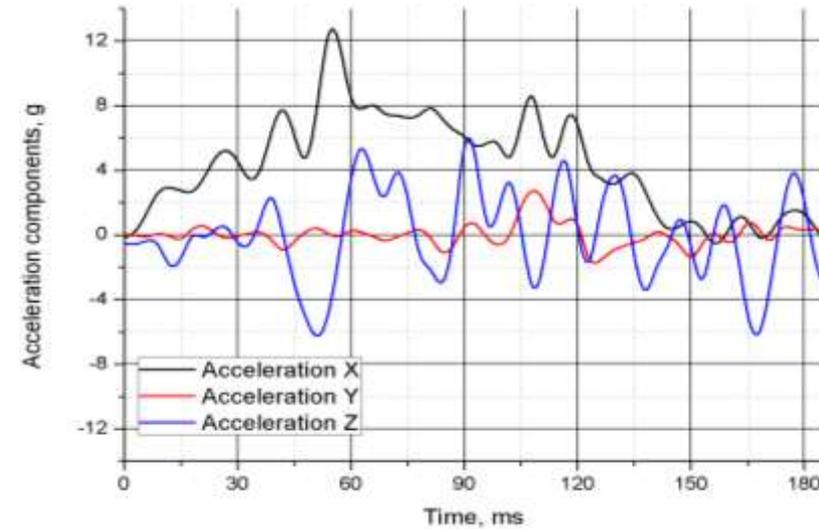
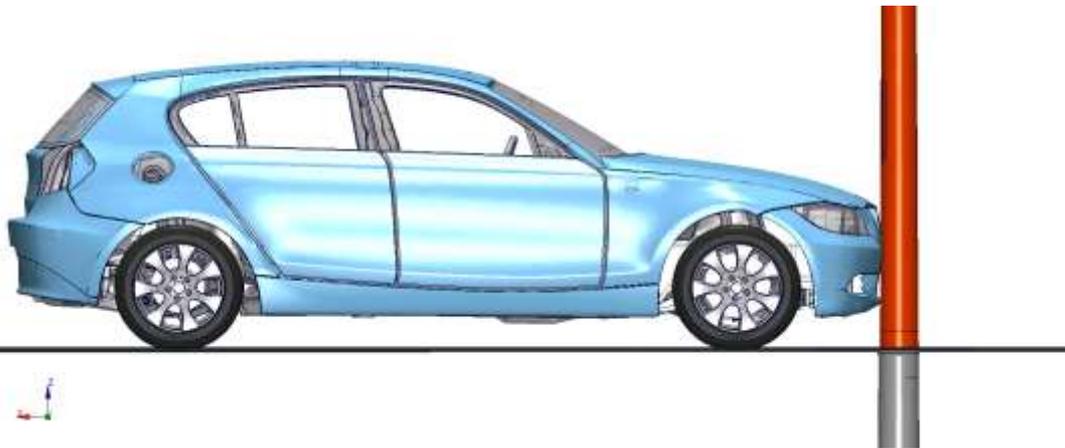
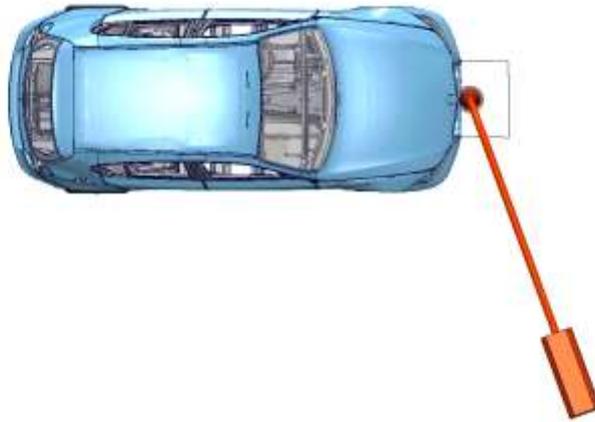
КЭ постановка задачи о наезде автомобиля БМВ 1 серия на мачту дорожного освещения (Вариант 4)



Начальная скорость автомобиля – 35 км/ч
Профиль препятствия:
Высота – 9600 мм
Диаметр мачты (в основании) – 200 мм
Толщина стенок – от 2.1 до 6.2 мм
Типы наезда – центральный и
нецентральный (600 мм от центральной оси).
Время моделирования – 200 мс.



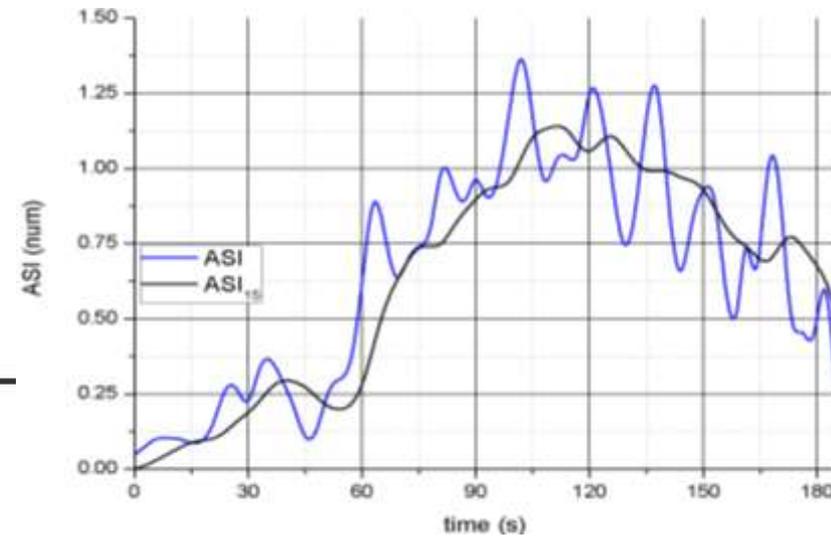
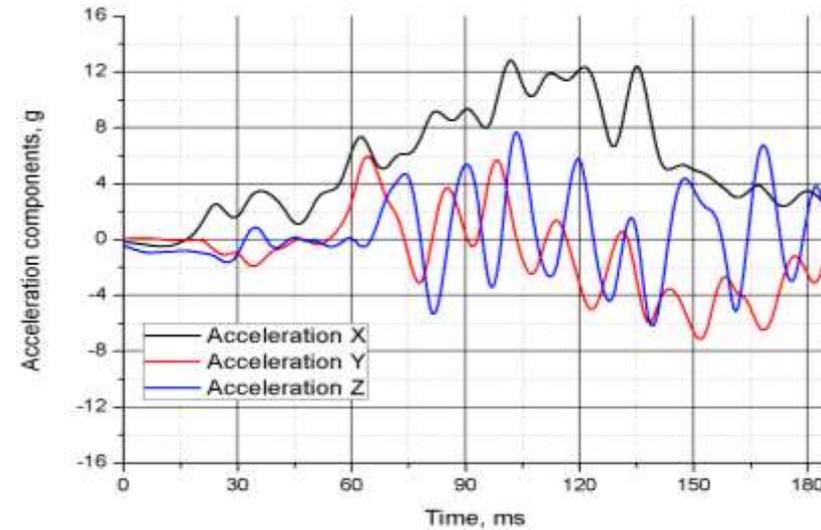
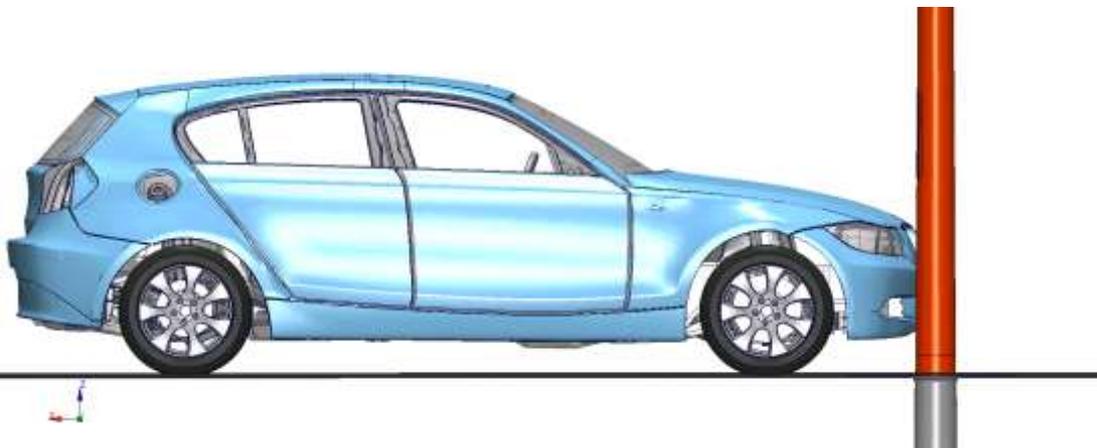
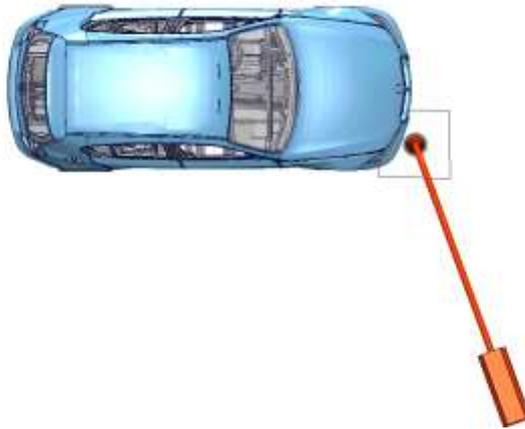
Вариант 4.1 Наезд на мачту дорожного освещения (центральный удар)



Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 0.95



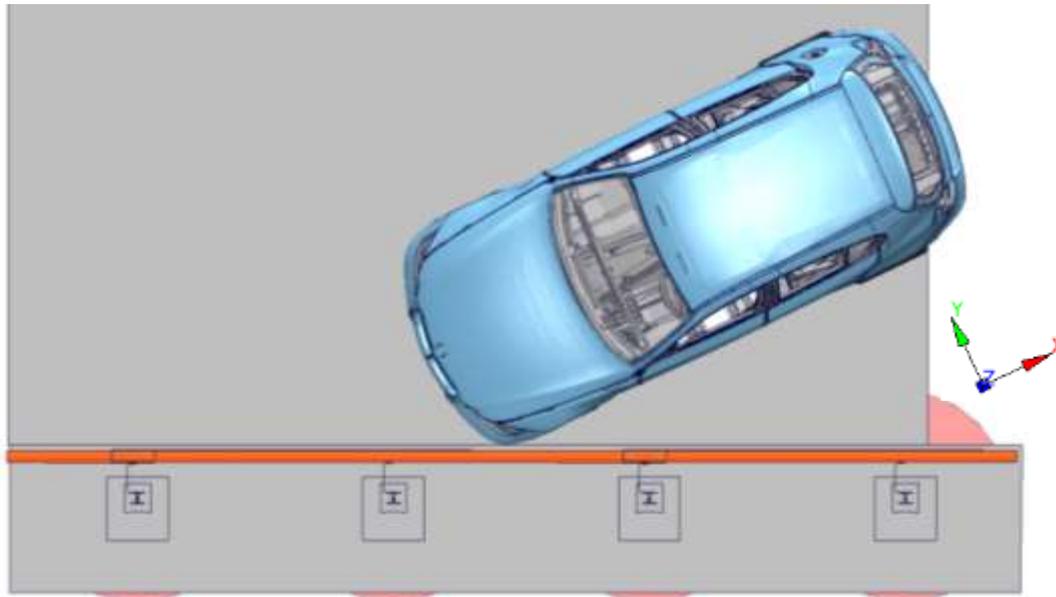
Вариант 4.2 Наезд на мачту дорожного освещения (нецентральный удар)



Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 1.13

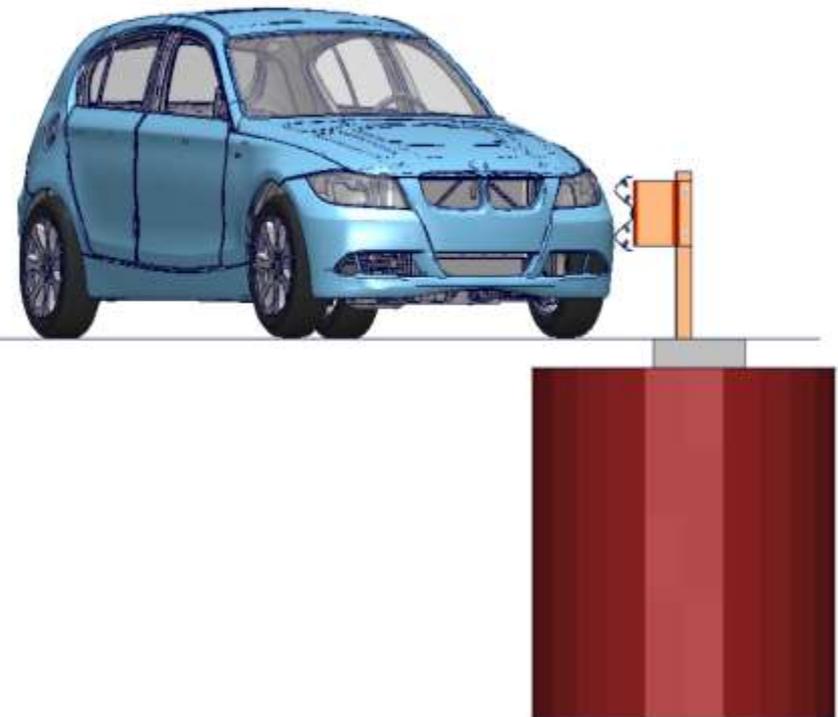


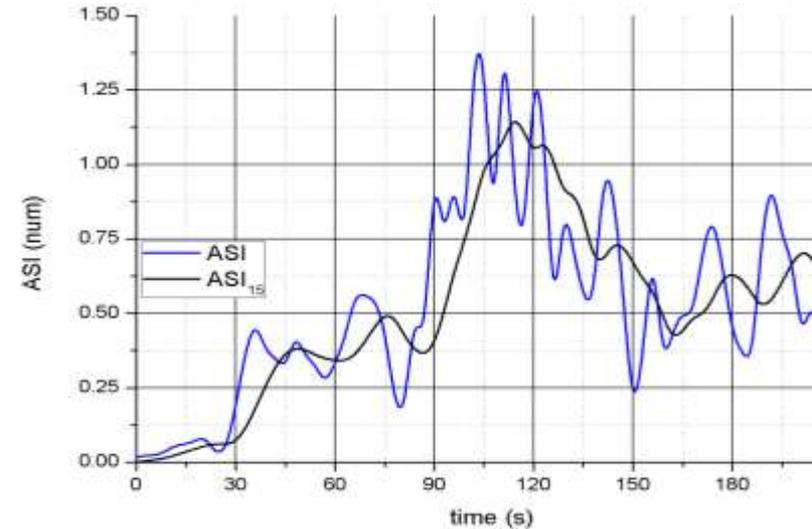
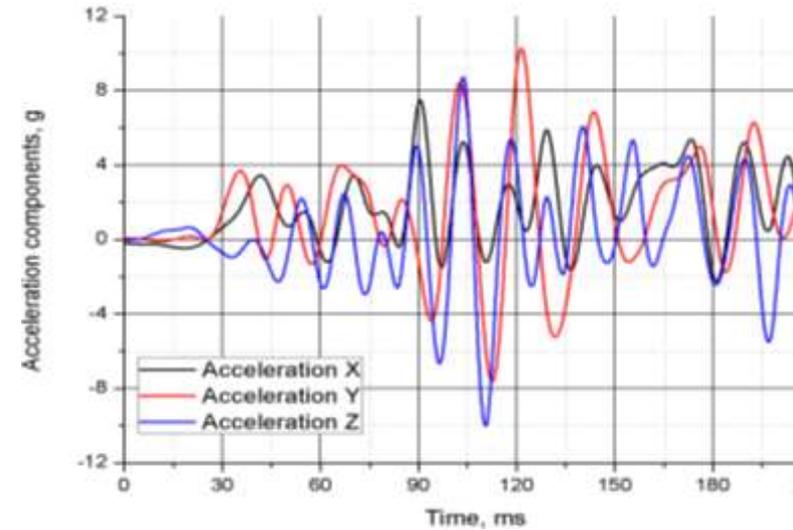
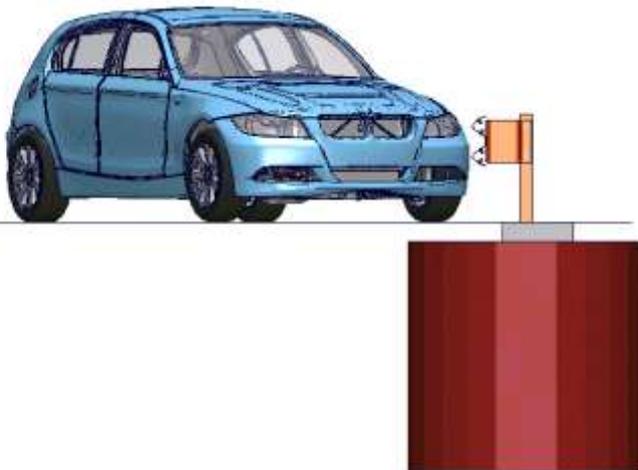
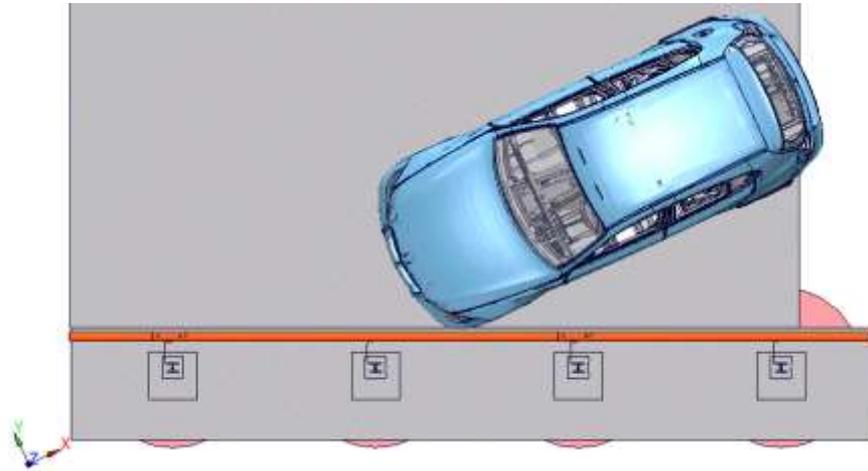
КЭ постановка задачи о наезде автомобиля BMW 1 серия на дорожное ограждение (Вариант 5)



Начальная скорость автомобиля – 35 км/ч
Профиль препятствия:
Высота ограждения – 710 мм
Длина стоек – 1800 мм
Расстояние от балки до стоек – 200 мм
Угол наезда – 25 градусов.
Время моделирования – 200 мс.

Гост 26804-86
Ограждение группы 11 МО





Изменение компонент ускорения и индексов ASI и ASI₁₅ в зависимости от времени.
Максимальное значение ASI₁₅ – 1.16

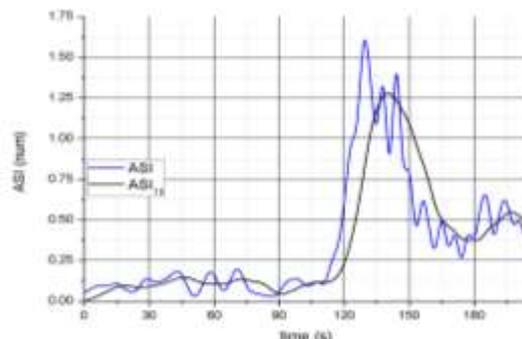
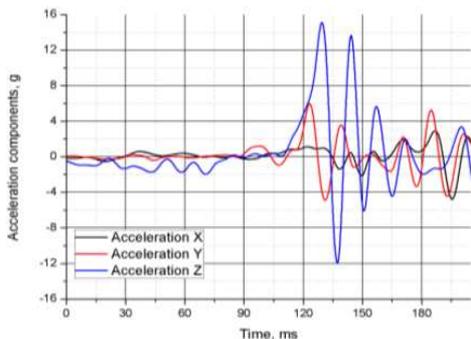


Анализ результатов КЭ решения задач о наезде автомобиля БМВ 1 серия на элементы дорожного ограждения

Тип взаимодействия	Максимальные перегрузки, g (a_x , a_y , a_z)	Максимальное значение ASI_{15}	Степень тяжести аварии
Наезд на бордюр (30 мм)	3.28 3.01 4.52	0.41	$ASI_{15} < 1$ Неопасная
Наезд на бордюр (50 мм)	1.95 2.24 8.64	0.59	$ASI_{15} < 1$ Неопасная
Наезд на бордюр (70 мм)	4.32 4.69 10.54	0.79	$ASI_{15} < 1$ Неопасная
Наезд на люк	2.78 6.19 15.05	1.27	$1 < ASI_{15} < 1.4$ Средняя
Наезд на лежащий полицейский (60 градусов)	2.41 5.99 8.34	0.82	$ASI_{15} < 1$ Неопасная
Наезд на лежащий полицейский (фронтальный)	4.27 4.39 14.66	1.12	$1 < ASI_{15} < 1.4$ Средняя
Наезд на мачту дорожного освещения (центральный)	12.2 2.73 6.04	0.95	$ASI_{15} < 1$ Неопасная
Наезд на мачту дорожного освещения (нецентральный)	12.12 7.29 6.32	1.13	$1 < ASI_{15} < 1.4$ Средняя
Дорожное ограждение	7.62 10.02 10.11	1.16	$1 < ASI_{15} < 1.4$ Средняя

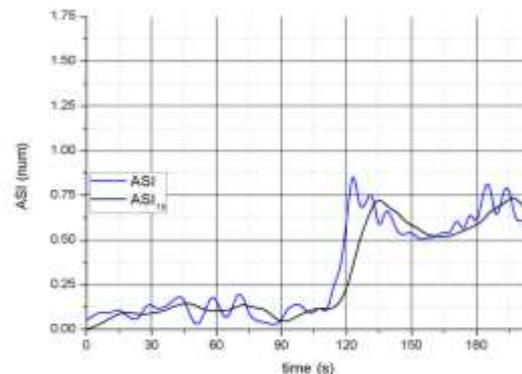
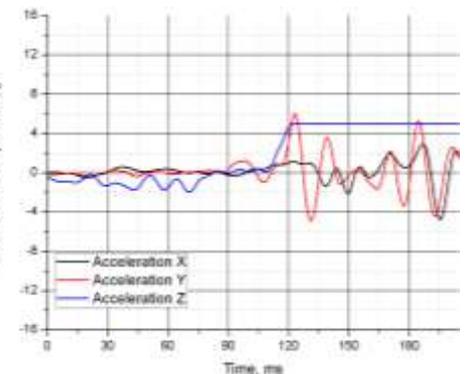


Анализ влияния эксплуатационных характеристик датчика на результаты измерений



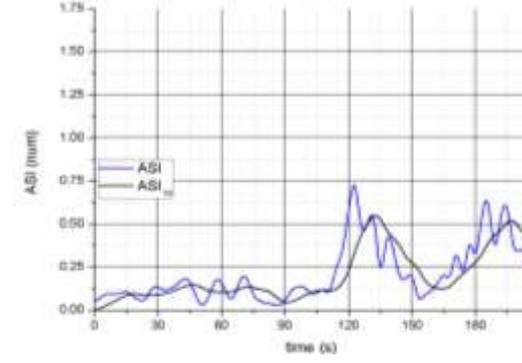
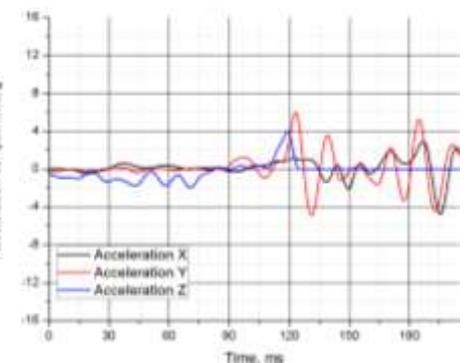
Максимальные ускорения, измеряемые датчиком:
По оси X – 24g
По оси Y – 8g
По оси Z – 5g

Вид исходного сигнала и графики ASI и ASI₁₅
ASI₁₅ – 1.27



Вид сигнала и графики ASI и ASI₁₅ при фиксировании достигнутого значения

ASI₁₅ – 0.73



Вид сигнала и графики ASI и ASI₁₅ при отключении канала

ASI₁₅ – 0.55



Заключение

- Смоделированы различные дорожные препятствия
- Рассмотрена серия дорожных происшествий
- Проведен сравнительный анализ результатов
- Исследование влияния эксплуатационных характеристик датчика на результаты измерений
- Разработан ряд предложений по модификации системы

Выводы:

- Зависимость результатов измерений параметра ASI от модели автомобиля
- Проведение дополнительных испытаний для определения критерия НИС
- Увеличение пределов снятия ускорений по направлениям Y и Z
- Регулировка пороговых значений ASI_{15} для точного определения степени тяжести аварии. Использование методики проведения предварительных КЭ испытаний для систематизации перегрузок при дорожных авариях.