



Конечно-элементное моделирование и исследование взрывного воздействия на броневую защиту легкового автомобиля.

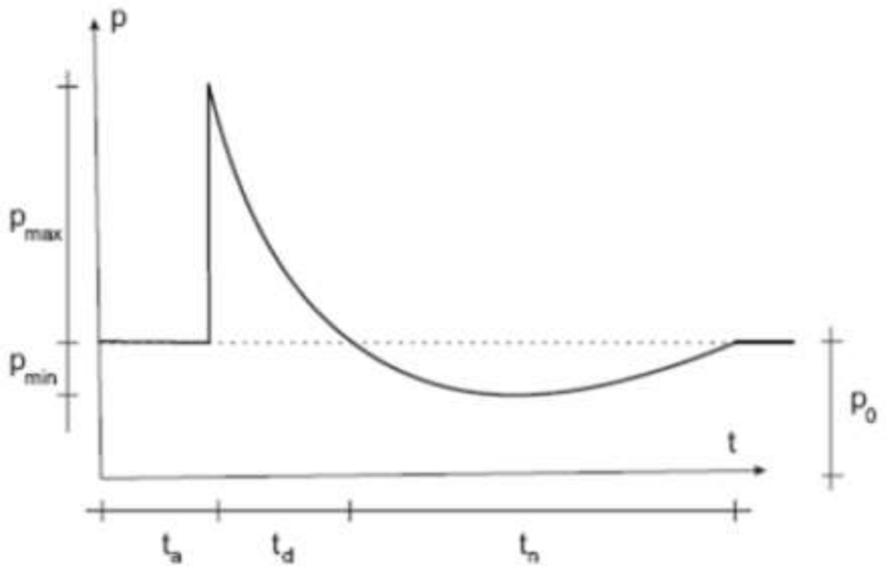
Выполнил студент 63602/2
Руководитель, к.т.н., проф.
Соруководитель, вед. инж. ИПММ

М.В. Шарков
А.И. Боровков
О.И. Клявин

Взрывные воздействия



- высокие температуры
- поражающие частицы
- ударная волна



Простейшее описание скачка давления- уравнение Фридлэндера

$$P(t) = P_0 + P_{\max} \left(1 - \frac{t}{t_d}\right)^{\frac{bt}{t_d}}$$

- где p_0 -атмосферное давление
- P_{\max} -максимальное значение давления
- t_d - длительность положительной фазы
- b - параметр формы волны

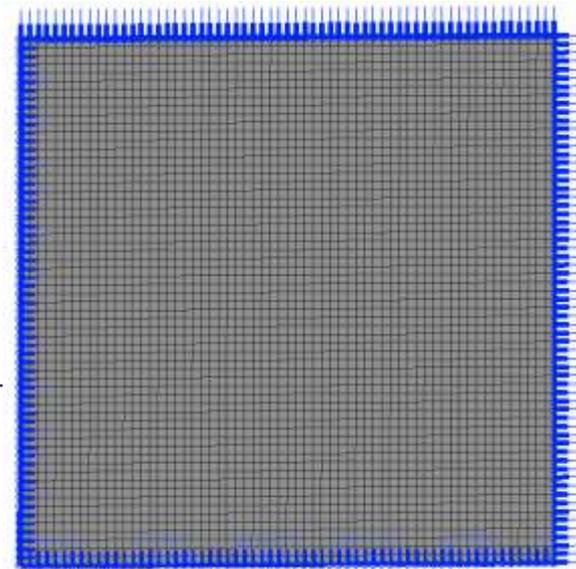
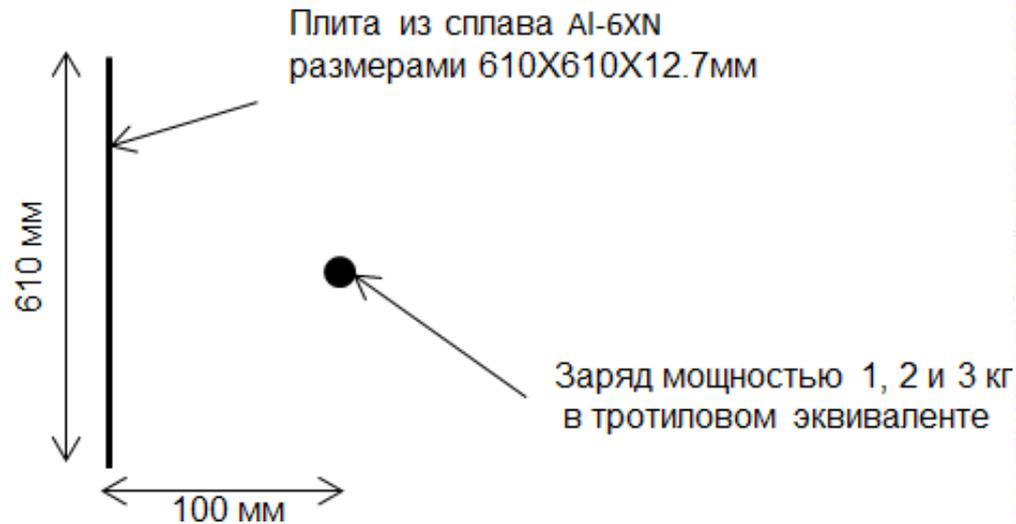
Бронирование автомобилей



Моделирование взрыва

Модельная задача

Деформация стальной плиты под взрывной нагрузкой



Время процесса- 0.003 с

к краям плиты приложены граничные условия заделки.

Цель- сравнение с экспериментальными данными,
выбор оптимального метода моделирования взрывного
воздействия

Методы: - связанный лагранжево-эйлеров анализ
- связанный акустически-структурный анализ
- методика ConWep



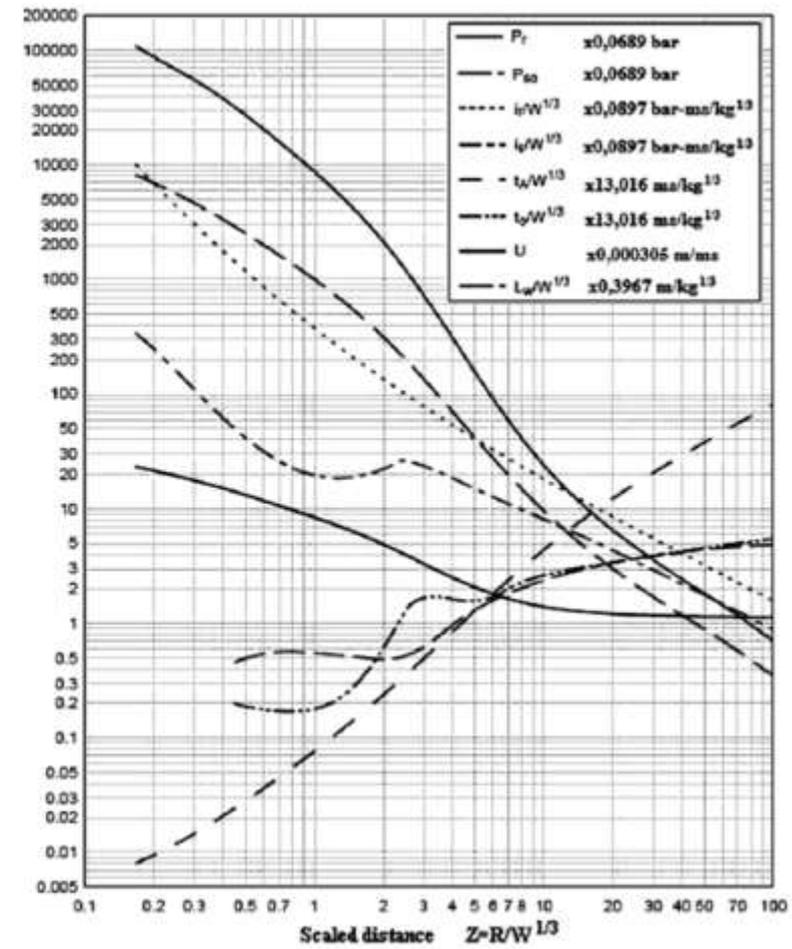
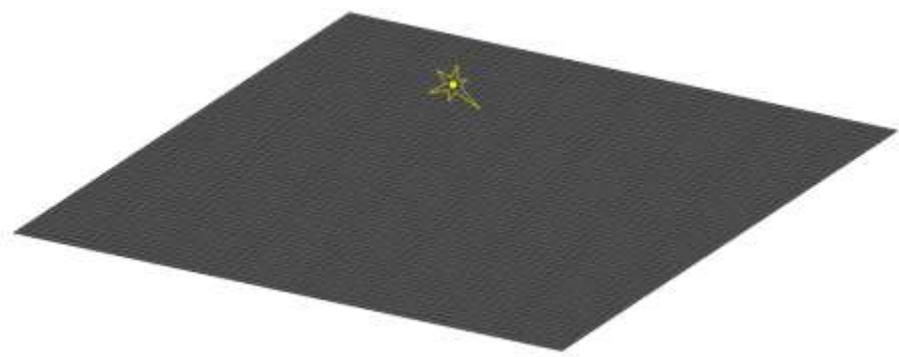
Модельная задача

1) ConWep software

ConWep использует понятие масштабированной дистанции, уравнение Фридлэндера (Friedlander) и массив экспериментальных данных, обработанных инженерами ВС США в 1984г

Масштабированная дистанция:

$Z = \frac{d}{\sqrt[3]{W}}$ где d – расстояние от центра снаряда
 W – вес взрывчатки в тротиловом эквиваленте

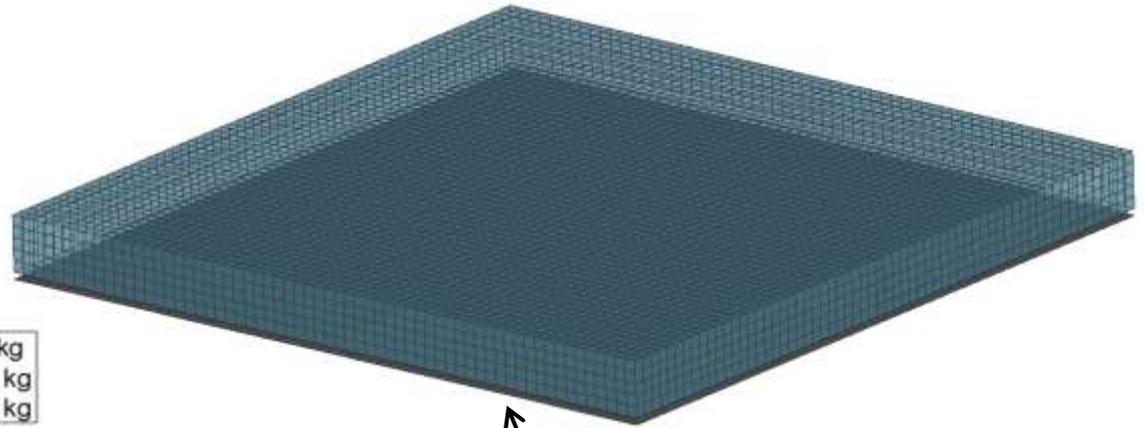


Модельная задача

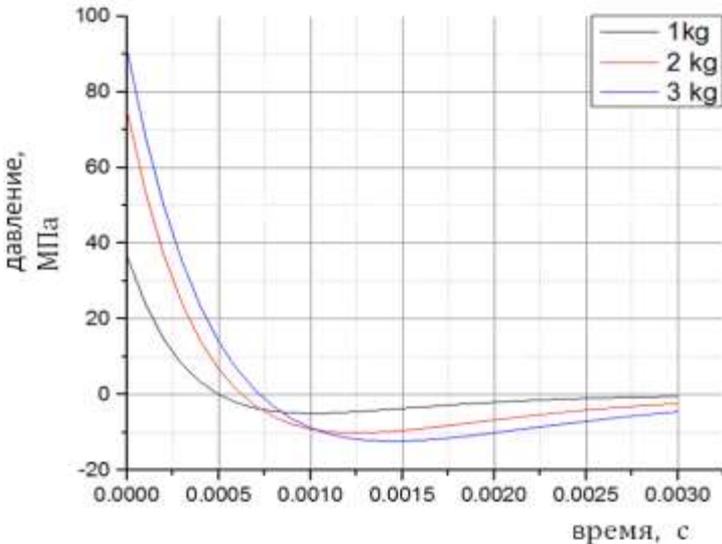
2) Coupled acoustic-structural analysis

Моделируется процесс распространения ударной волны от внешнего источника в акустической среде

Для работы требуется задать давление в отсчетной точке (0,0,50) и расположение источника взрыва.



Связь акустической среды со стальной плитой- связанный контакт



Модельная задача

3) Coupled eulerian-lagrangian analysis

Моделируется процесс взрыва, распространения ударной волны и реакции исследуемой конструкции

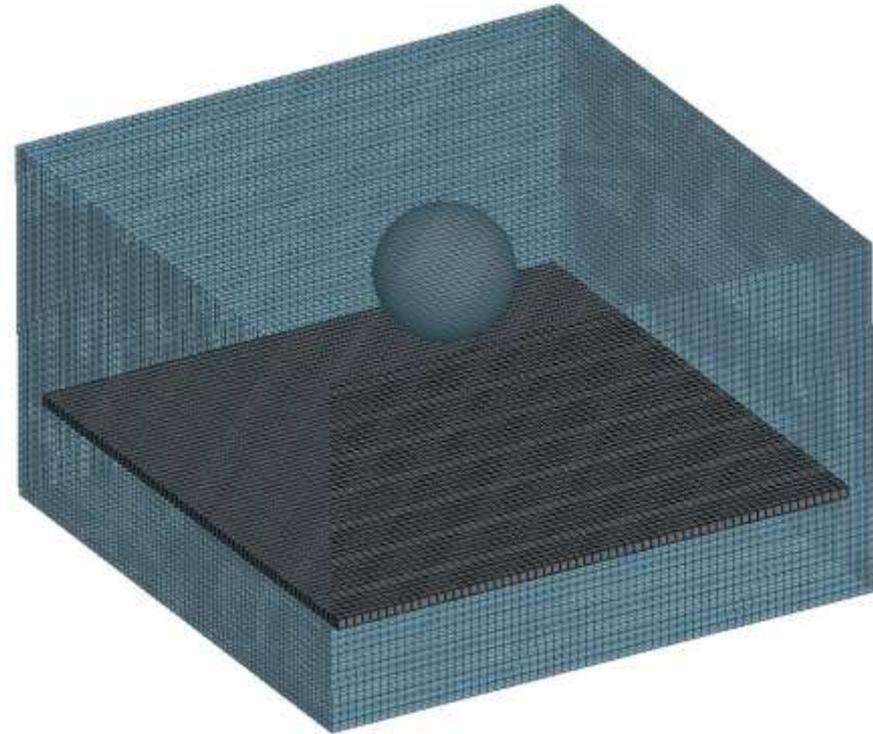
Материалы среды и взрывчатого вещества моделируются с помощью уравнений состояния:

Тротил (уравнение Джонса-Уилкинса-Ли):

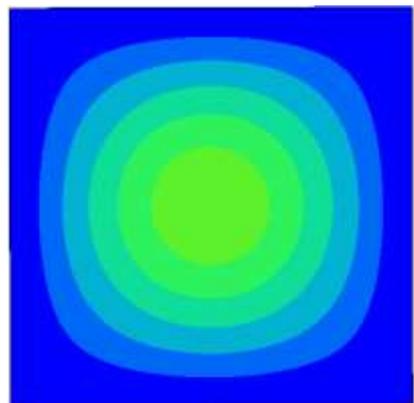
$$p = A \left(1 - \frac{\omega \rho}{R_1 \rho_0} \right) \exp \left(-R_1 \frac{\rho_0}{\rho} \right) + B \left(1 - \frac{\omega \rho}{R_2 \rho_0} \right) \exp \left(-R_2 \frac{\rho_0}{\rho} \right) + \omega \rho E_m$$

Воздух (уравнение идеального газа):

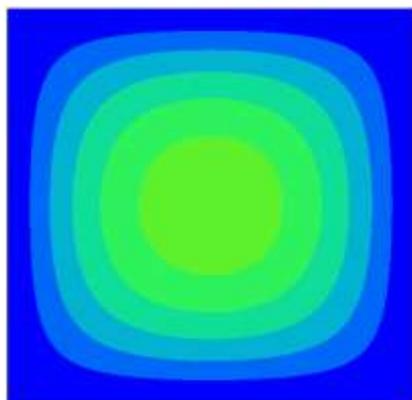
$$p + p_A = \rho R (\theta - \theta^z)$$



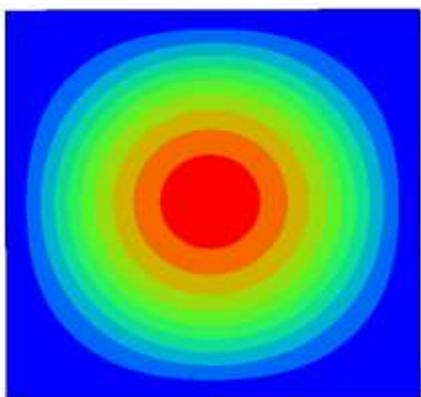
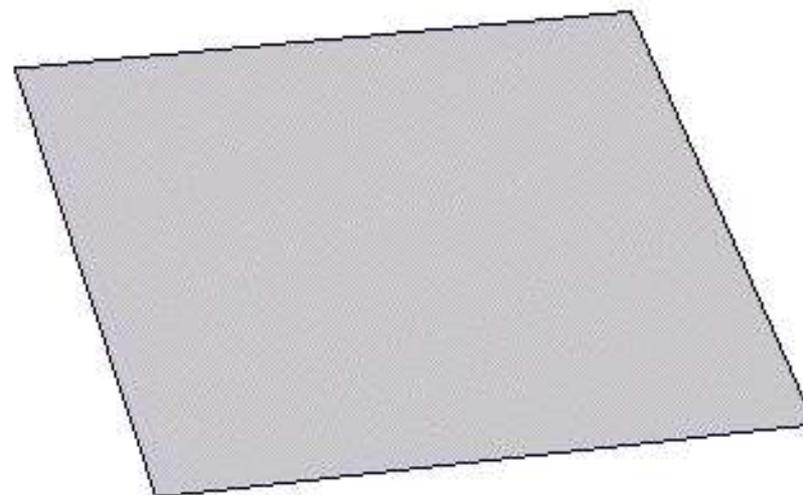
Результаты расчетов



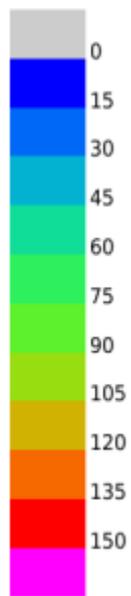
cel



cas



ConWep

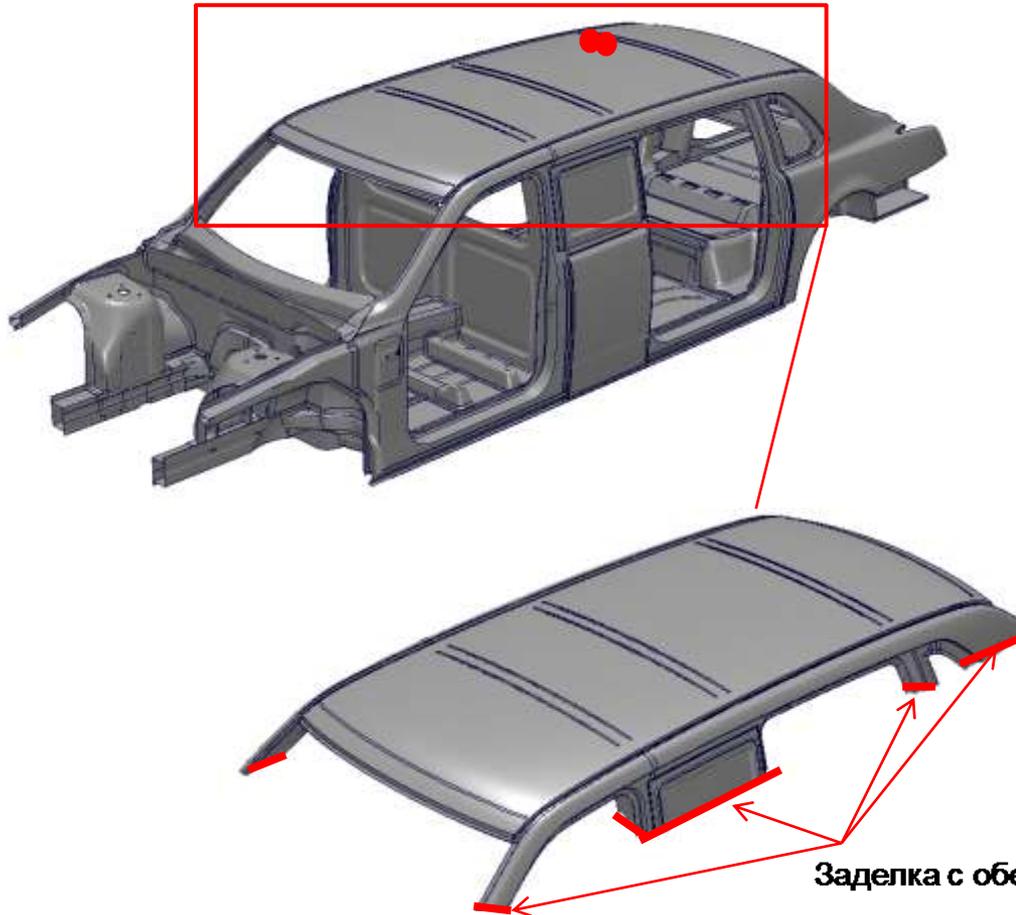


Перемещения, мм

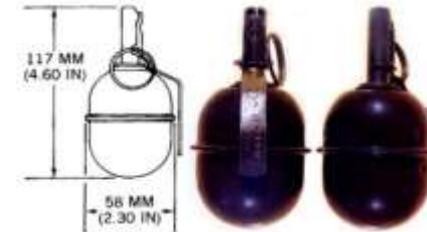
	эксперимент	Эйлерово-Лагранжев анализ		Структурно-акустический анализ		ConWep	
	$U_{\max}, \text{мм}$	$U_{\max}, \text{мм}$	$\delta, \%$	$U_{\max}, \text{мм}$	$\delta, \%$	$U_{\max}, \text{мм}$	$\delta, \%$
1 кг	37.65	26.63	-29	53.8	30	57.02	34
2 кг	71.37	46.36	-35	81.5	12	90.09	20
3 кг	132.94	84.73	-36	87.18	-34	152.5	12

Подрыв крыши автомобиля

Взрывается связка из двух гранат
РГД-5 над головой пассажира:



Граната РГД-5:

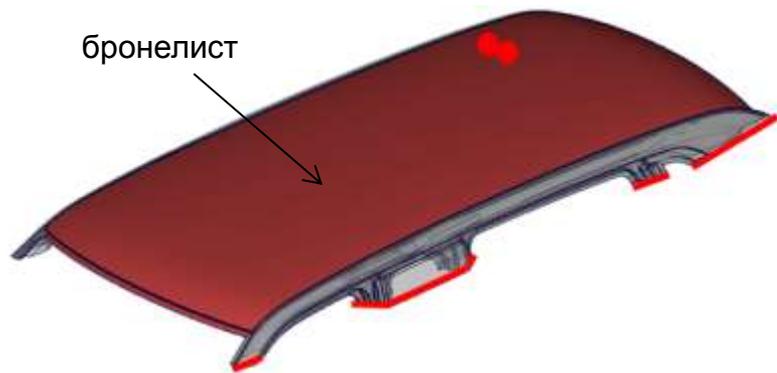


взрывчатое вещество: тротил
масса взрывчатого вещества: 0.11 кг

Обычный автомобиль

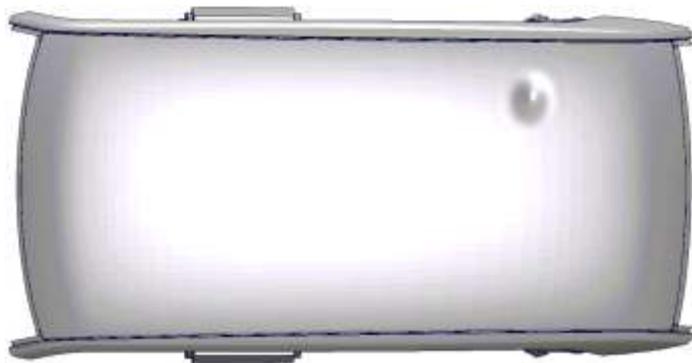


Конфигурация брони 1



Толщина листа 6 мм

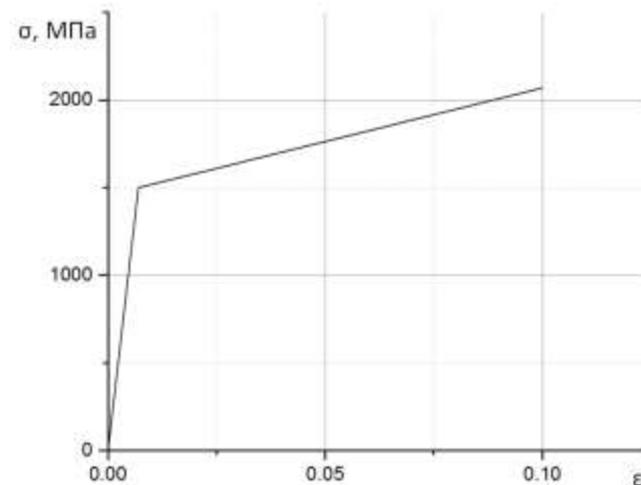
Time = 0.000100



Толщина листа 9 мм

Материал брони:

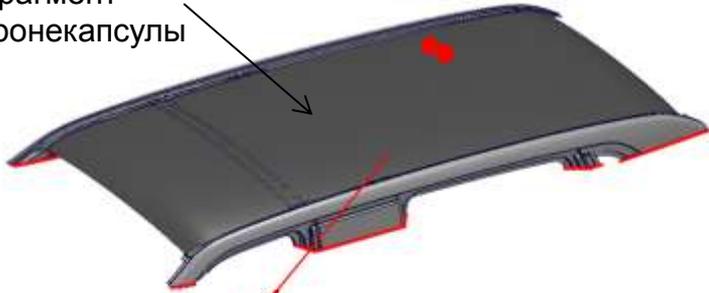
Предел текучести, МПа	1500
Предел прочности, МПа	2070
Предельное удлинение, %	10



Минимально допустимая
толщина листа- 8.7мм

Конфигурация брони 2

Фрагмент
броникапсулы

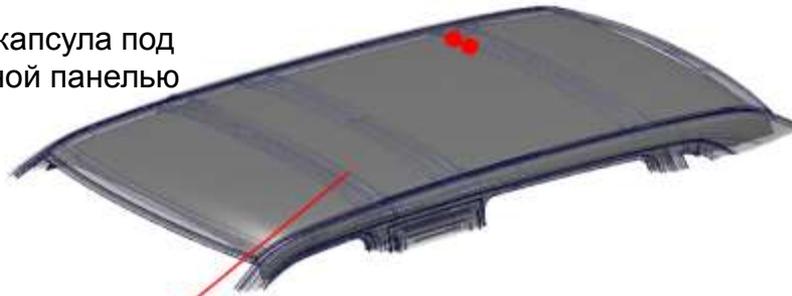


Минимально допустимая
толщина листа- 9 мм

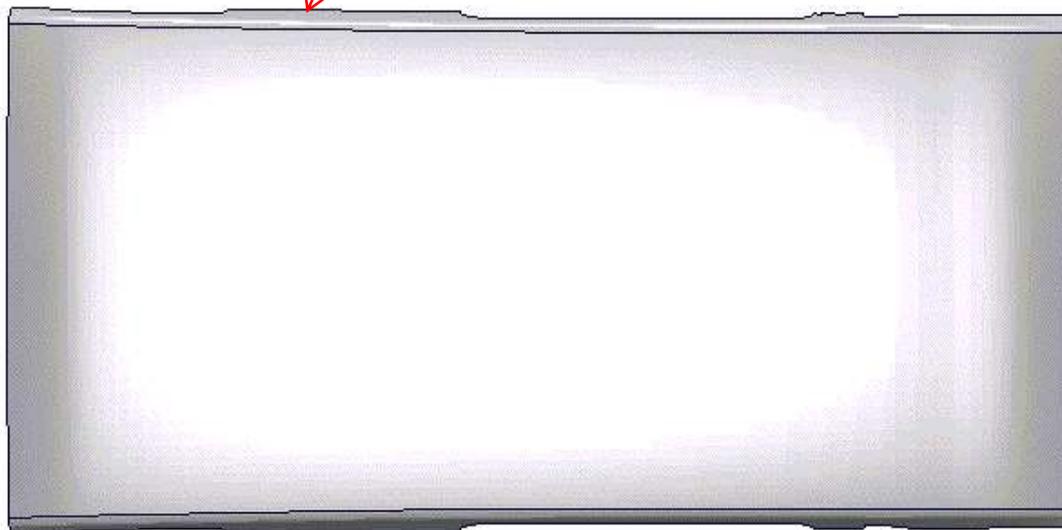
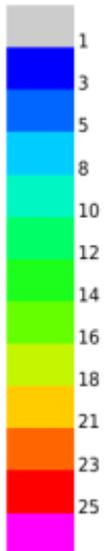


Конфигурация брони 3

Бронекапсула под
исходной панелью
крыши

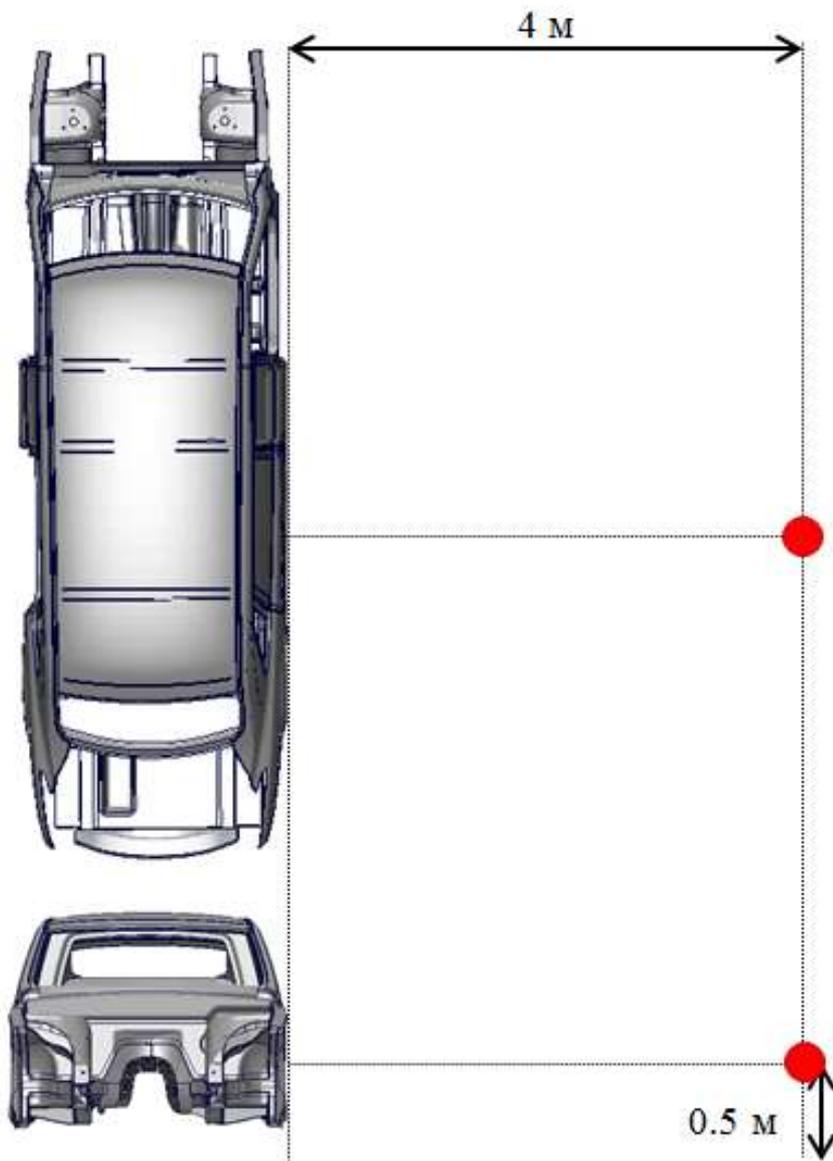


Перемещения, мм

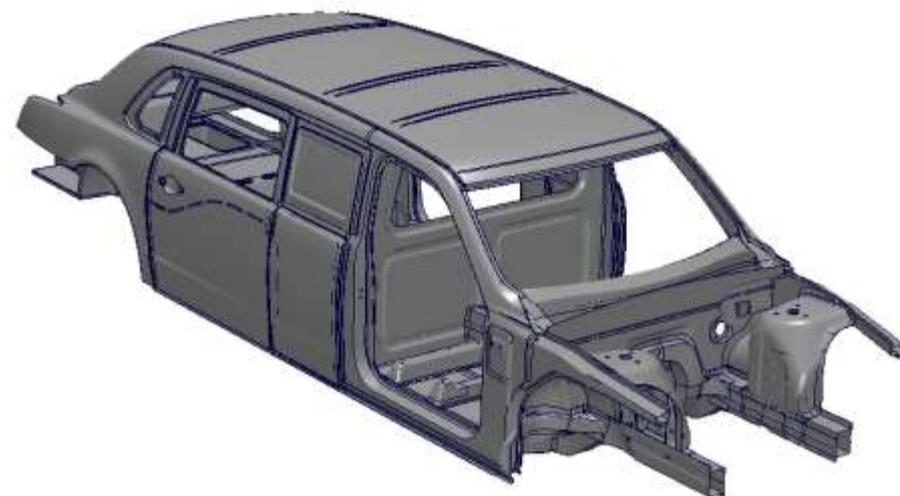


Time = 0.000000

Боковой взрыв

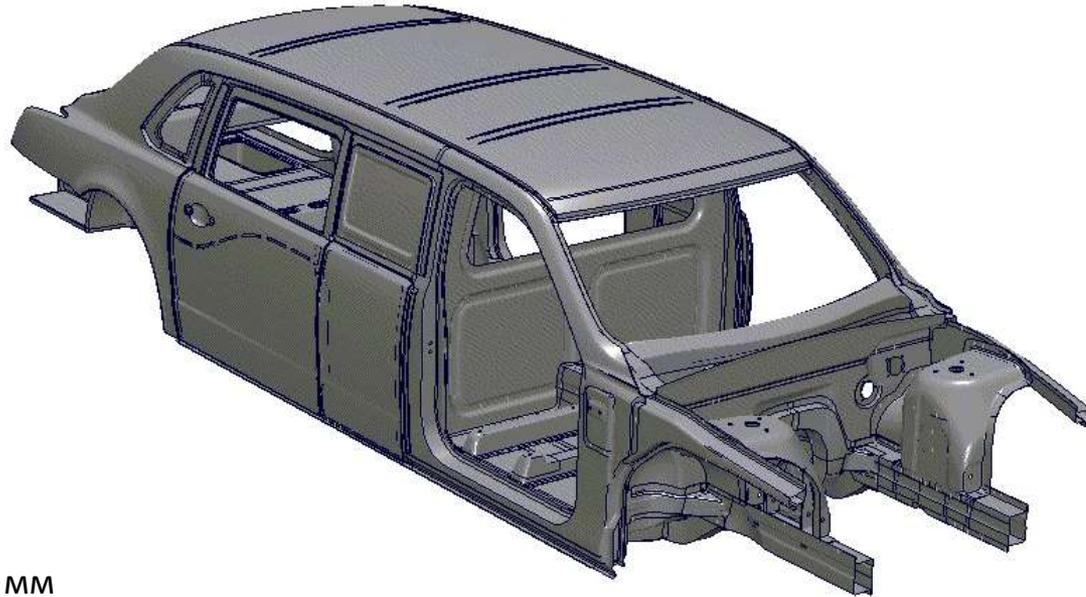


Взрывается 20 кг в тротиловом эквиваленте в 4 м от правой задней двери



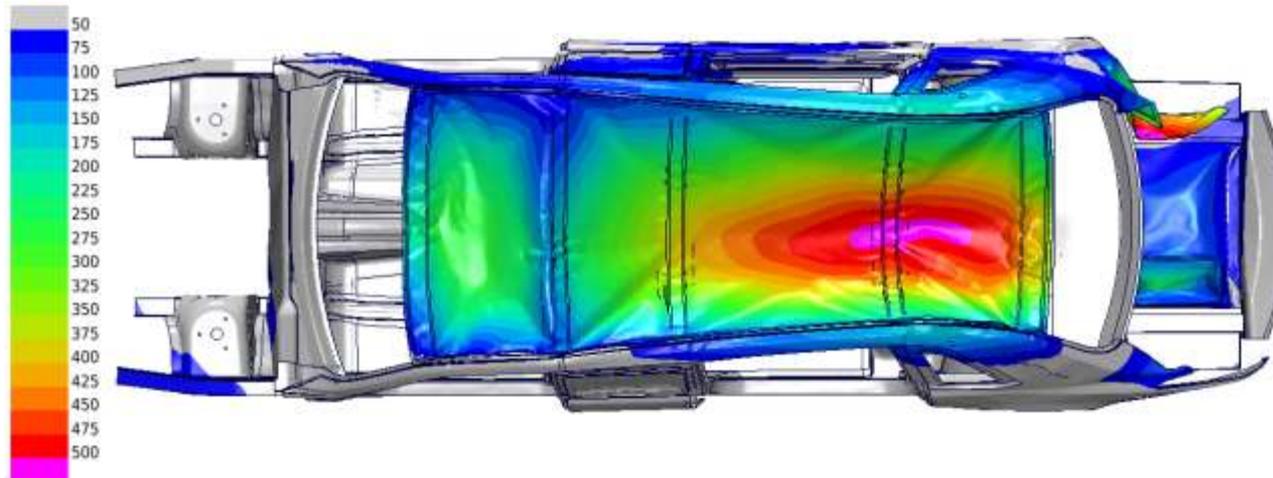
Используется КЭ модель кузова с правой задней дверью

Обычный автомобиль

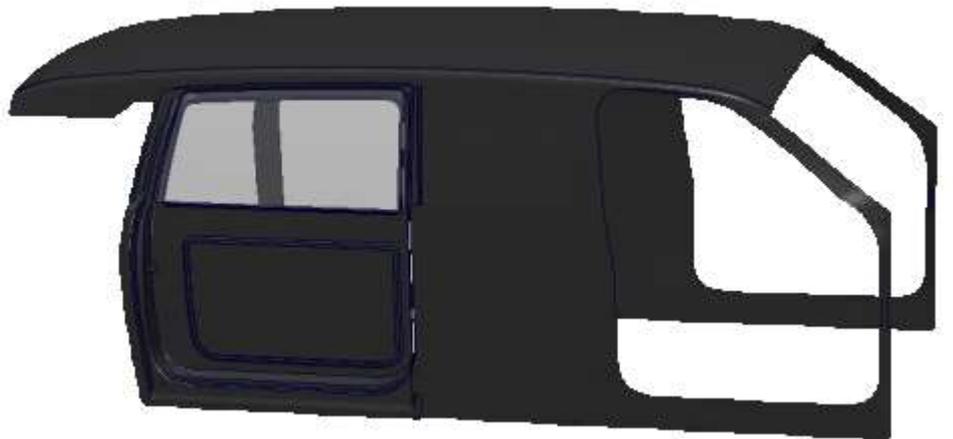
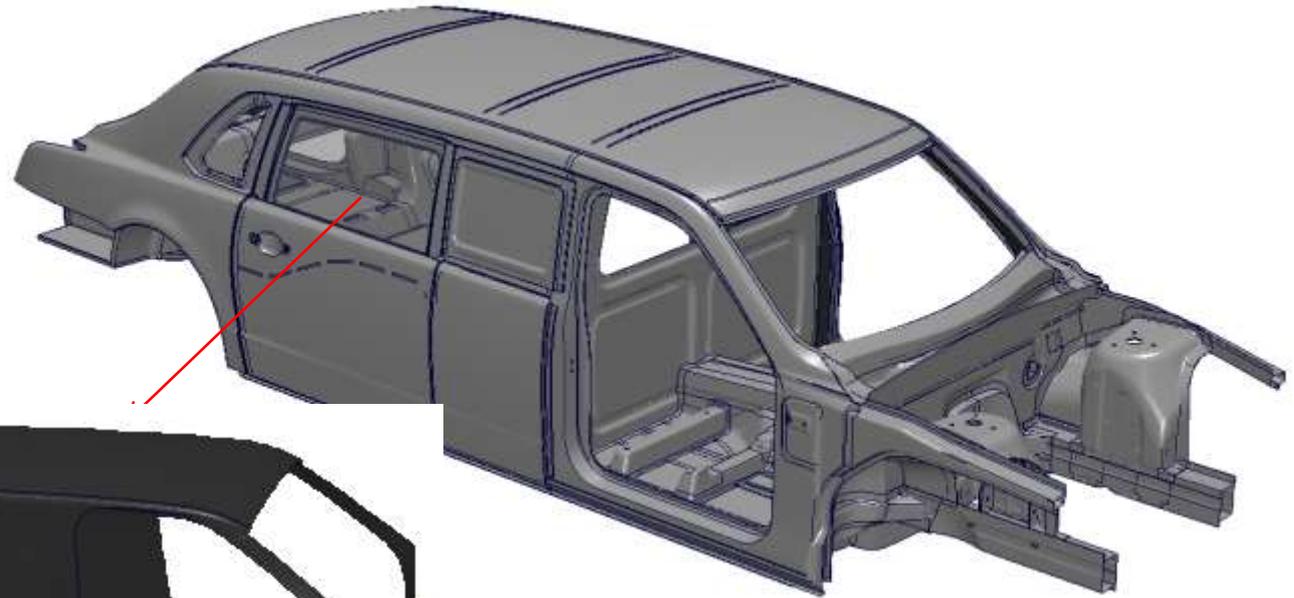


Time = 0.000000

Перемещения, мм

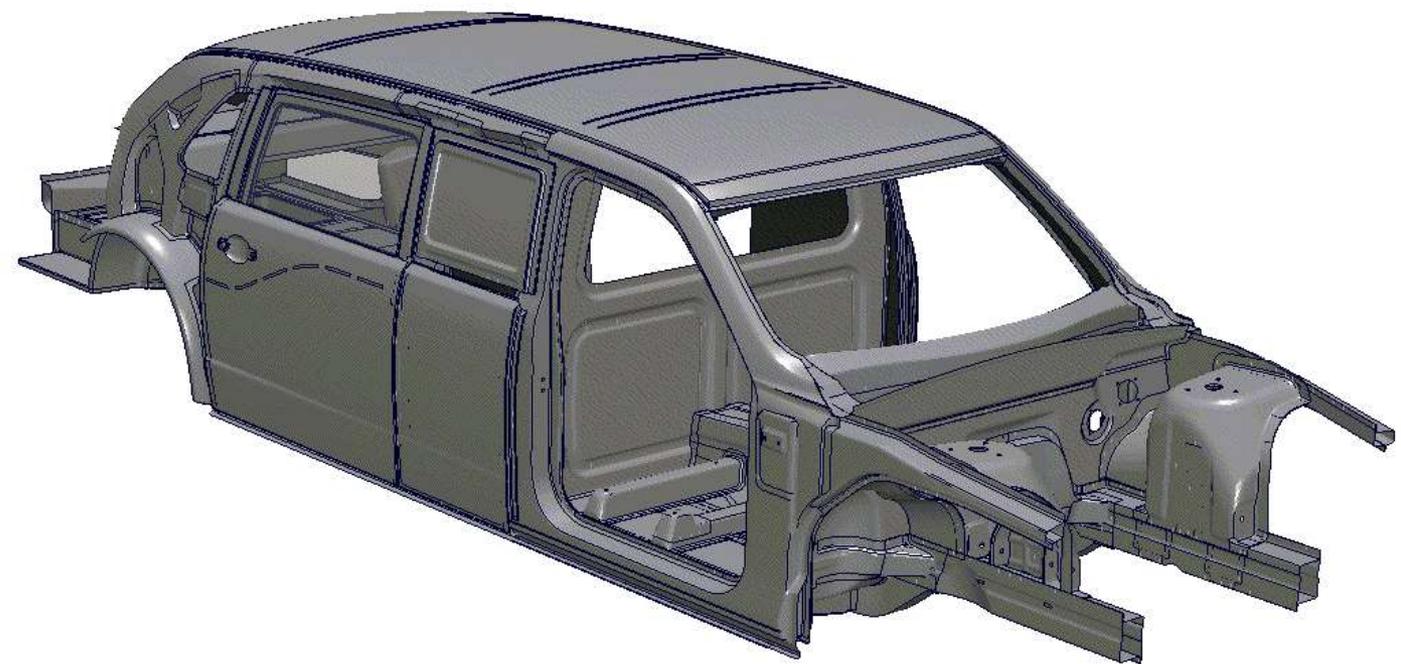


Бронированный автомобиль



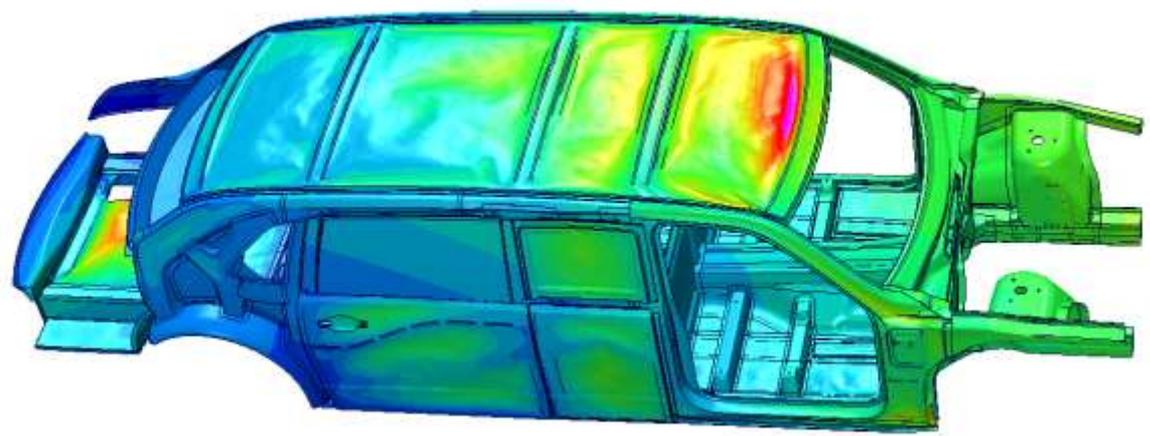
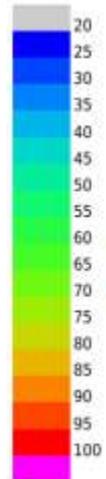
В кузов интегрируется фрагмент
броникапсулы, бронелист двери
и бронированное остекление
Толщины боковых панелей-15мм
толщина стекла-60 мм

Результаты моделирования



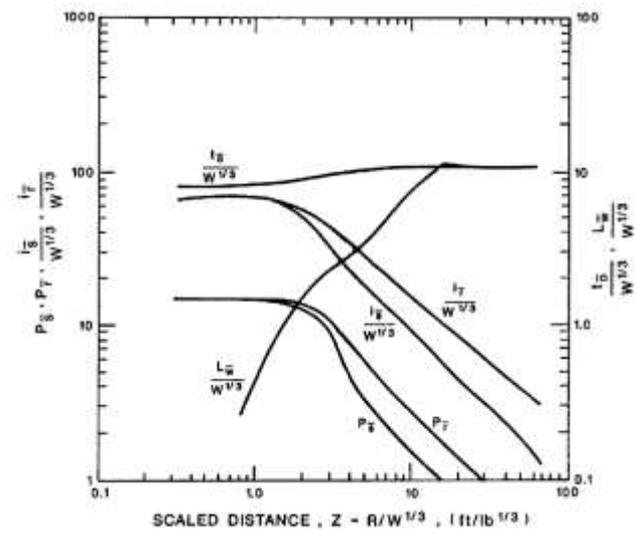
Time = 0.000000

Перемещения, мм

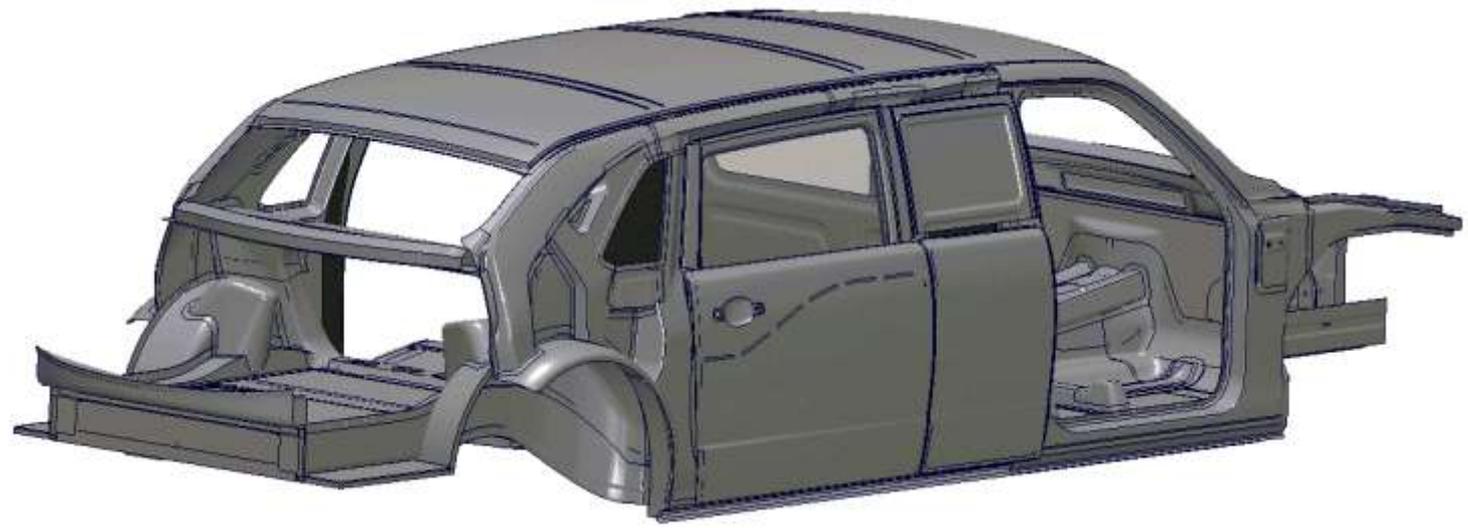


Учет негативной фазы

эксперимент



$Z=3.1$
 $P_{min} = -41000$ Па





Итоги работы

- Исследованы различные методы моделирования взрывного воздействия.
- На примере модельной задачи проведено сравнение данных методов. Методика ConWer признана наиболее подходящей для проблем автомобилестроения.
- Проведено моделирование подрыва крыши автомобиля. На примере этой задачи сделан вывод, что конфигурация бронирования играет существенную роль в устойчивости конструкции к взрывным воздействиям и требует тестирования на взрыв на всех этапах разработки
- Исследована задача о боковом взрыве автомобиля. Исследовано влияние на безопасность автомобиля негативной фазы ударной волны.
- При боковом взрыве автомобиля следует учитывать негативную фазу ударной волны. Необходимо разработать уточненную модель для такого нагружения.