

# Оптимизация прочности каркаса салона автомобиля при фронтальном ударе с использованием методов линейной статки

Овчинников В.А., ООО Ладуга ([www.laduga.ru](http://www.laduga.ru))  
Кирсанов А.Р., Хализов С.К., Курдюк С.А., Иванов Е.О.  
(ОАО АВТОВАЗ)

## Испытания по фронтальному удару Требования ЕС/ООН

Правило	Скорость	Барьер
EuroNCAP	64 км/ч	деформируемый
Правило R94	56 км/ч	деформируемый

Критерии по удару:

- Требования по кузову (передняя стойка, передний щиток)
- Травмирование манекена (водителя и пассажира)
- Удерживающие системы (требования к ремню безопасности)
- Рулевое управление (перемещение руля)
- Педали (перемещение педалей)
- Интерьер (приборная панель, сиденья)



## Критерии оптимизации кузова

- Требования по фронтальному удару (сильнонелинейный расчет)
- Требования по боковому удару (сильнонелинейный расчет)
- Требования по удару сзади (сильнонелинейный расчет)
- Требования по наезду на пешехода (сильнонелинейный расчет)
- Требования по удару на малых скоростях (сильнонелинейный расчет)
- Требования по жесткости (линейный статический расчет)
- Требования по вибрациям (модальный анализ)

## Стандартная оптимизация

### Линейные расчеты

Полноразмерная КЭ модель  
(400000-1000000 КЭ)

- Статика и динамика
- Модальный анализ

### Сильнонелинейные расчеты

Сокращенная КЭ модель  
(10000-50000 КЭ)

- Моделирование краш-теста

### Недостатки

- использование в процессе оптимизации нескольких разных моделей
- грубое упрощение модели кузова, применяемой для расчета на удар
- использование разнородных средств анализа

# Задача проектирования силовой структуры для фронтального удара

Элементы передка. Функция:

- максимальное поглощение энергии удара при заданных деформациях

Салон автомобиля. Функция в идеале:

- отсутствие пластических деформаций
- сохранение исходной геометрии при заданных нагрузках

**Разделение функций позволяет решать задачу проектирования салона независимо от задачи проектирования элементов передка**

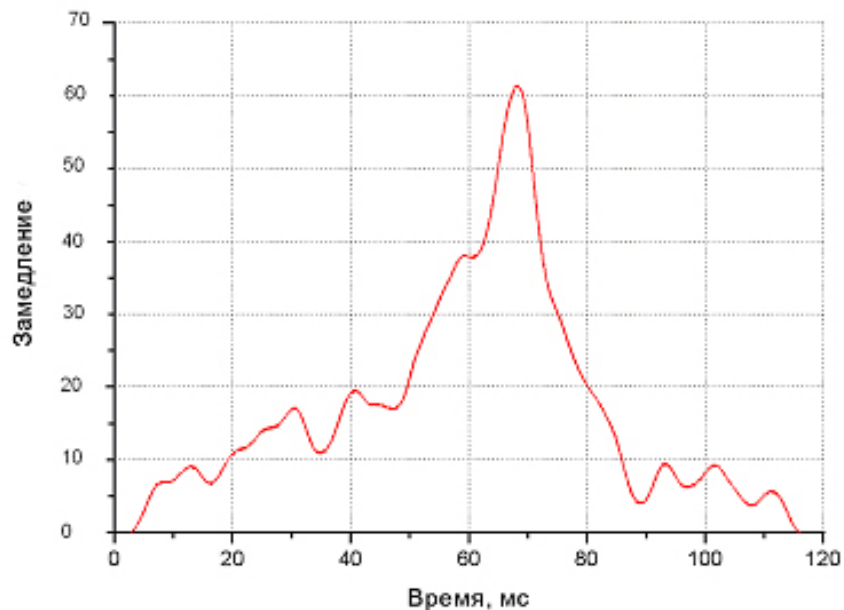
## Идеи предлагаемого подхода

- Использование единой полноразмерной КЭ модели автомобиля
- Однократное моделирование полномасштабного удара
- Расчет силовых потоков, нагружающих салон во время удара
- Оптимизация структуры салона методами линейной статики

## Корректность решения определяется моментами

- Определение моментов времени, характеризующихся максимальными нагрузками
- Корректное определение величины расчетных нагрузок
- Разработка адекватной расчетной схемы

## Определение моментов времени, характеризующихся максимальными нагрузками



Пики на

- 12-й мс

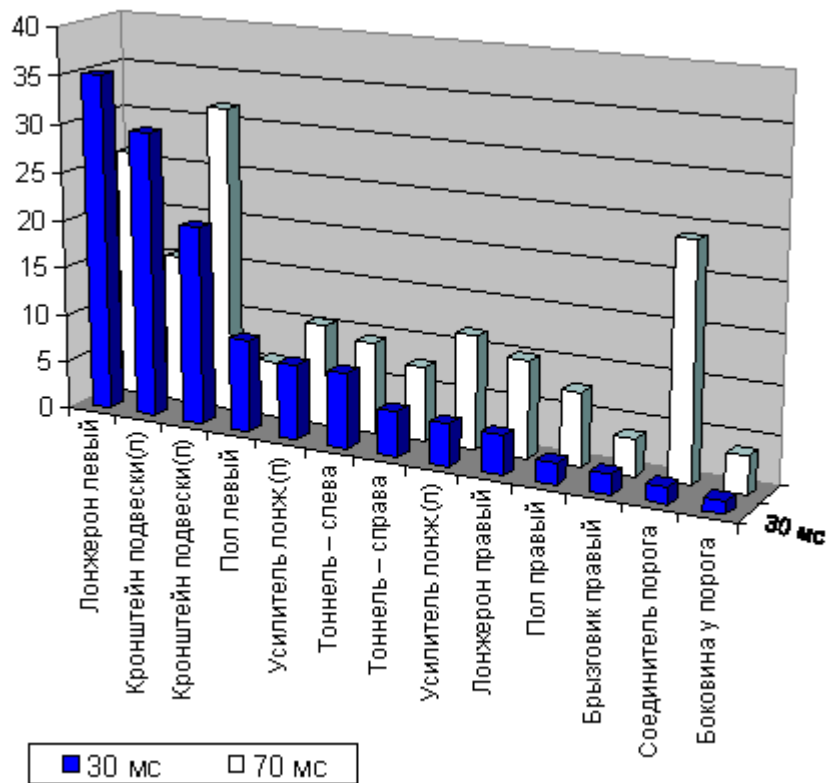
- 30-й мс ( $17 \text{ м/с}^2$ )

- 40-й мс

- 58-й мс

- 70-й мс ( $61 \text{ м/с}^2$ )

## Определение величины расчетных нагрузок



Суммарное усилие, действующее на салон в j-й момент времени

$$Ps_j = \sum_i F_{i,j}, i = 1, n$$

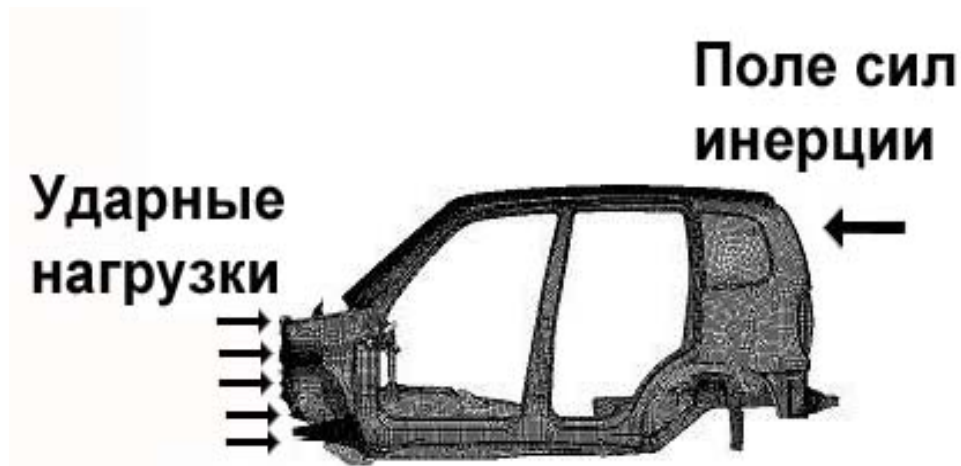
- 30-я мс ( $Ps = 148.7$  кН)

- 70-й мс ( $Ps = 186.7$  кН)

**Необходимо учитывать все моменты времени с пиковыми значениями ускорений**

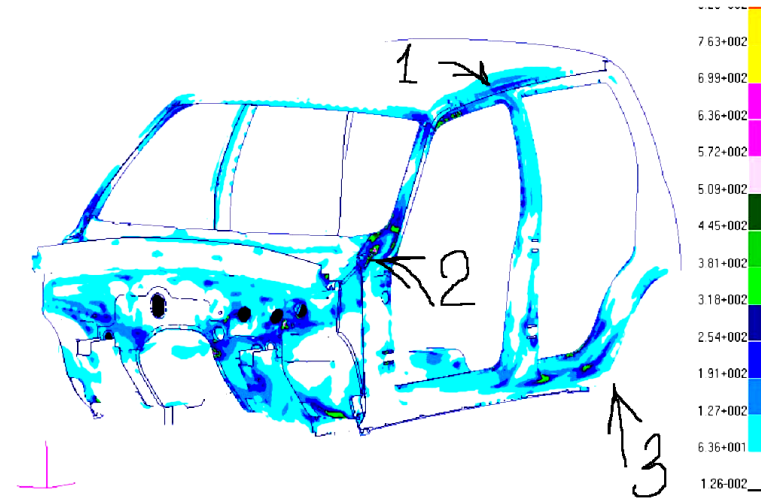


## Разработка расчетной схемы

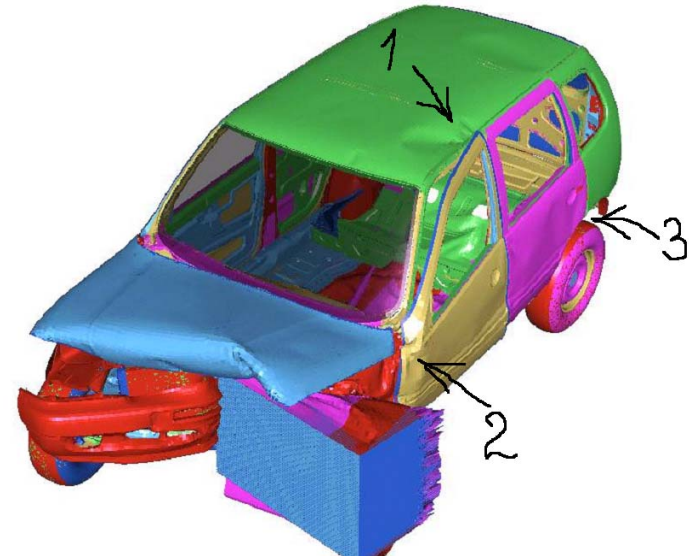


Рассчитывается распределение инерционных сил, уравнивающих ударные нагрузки, приложенные к салону автомобиля.

# Сравнение результатов статического расчета и моделирования удара



Статический расчет



Расчет на удар

## Постановка задачи оптимизации

Цель - снижение величины напряжений, вызывающих локальную потерю устойчивости

$$\min(\sigma_{\max}),$$

$$M \geq \left( \sum_k m_k, k = \overline{1, l} \right),$$

Ограничение по массе

$$t_{k,i} = t_k, i = \overline{1, n},$$

Толщина КЭ

$$T_{\min} \leq t_k \leq T_{\max}, k = \overline{1, m},$$

Ограничения по толщине детали

$$\theta_k \in \Theta, k = \overline{1, m}$$

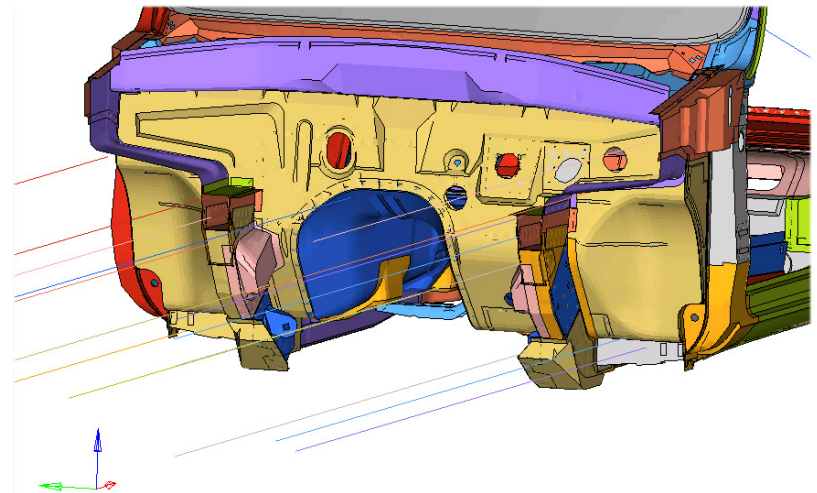
Эргономические и технологические ограничения

## Решение задачи на примере ВАЗ-2123



Полноразмерная модель

Приложение расчетных  
нагрузок к салону



## Чувствительность элементов

№	Название деталей	Порядковый номер коэффициента чувствительности детали	
		На 30 мс	На 70 мс.
1	Боковина	1	1
2	Панель крыши	2	3
3	Тоннель пола	3	6
4	Щиток передка	4	7
5	Соединитель порога пола	5	10
6	Панель пола передняя левая	6	-
7	Панель пола передняя правая	7	-
8	Лонжерон пола передний	8	-
9	Соединитель лонжерона с полом	9	-
10	Накладка боковины нижняя	10	9
11	Панель передка боковая	-	2
12	Накладка ветровой стойки	-	4
13	Усилитель ветровой стойки	-	5
14	Усилитель центральной стойки;	-	8

## Формулировка ограничений

$$t_{k,i} = t_k, i = \overline{1, n}$$

$$T_{\min} \leq t_k \leq T_{\max}, k = \overline{1, m}$$



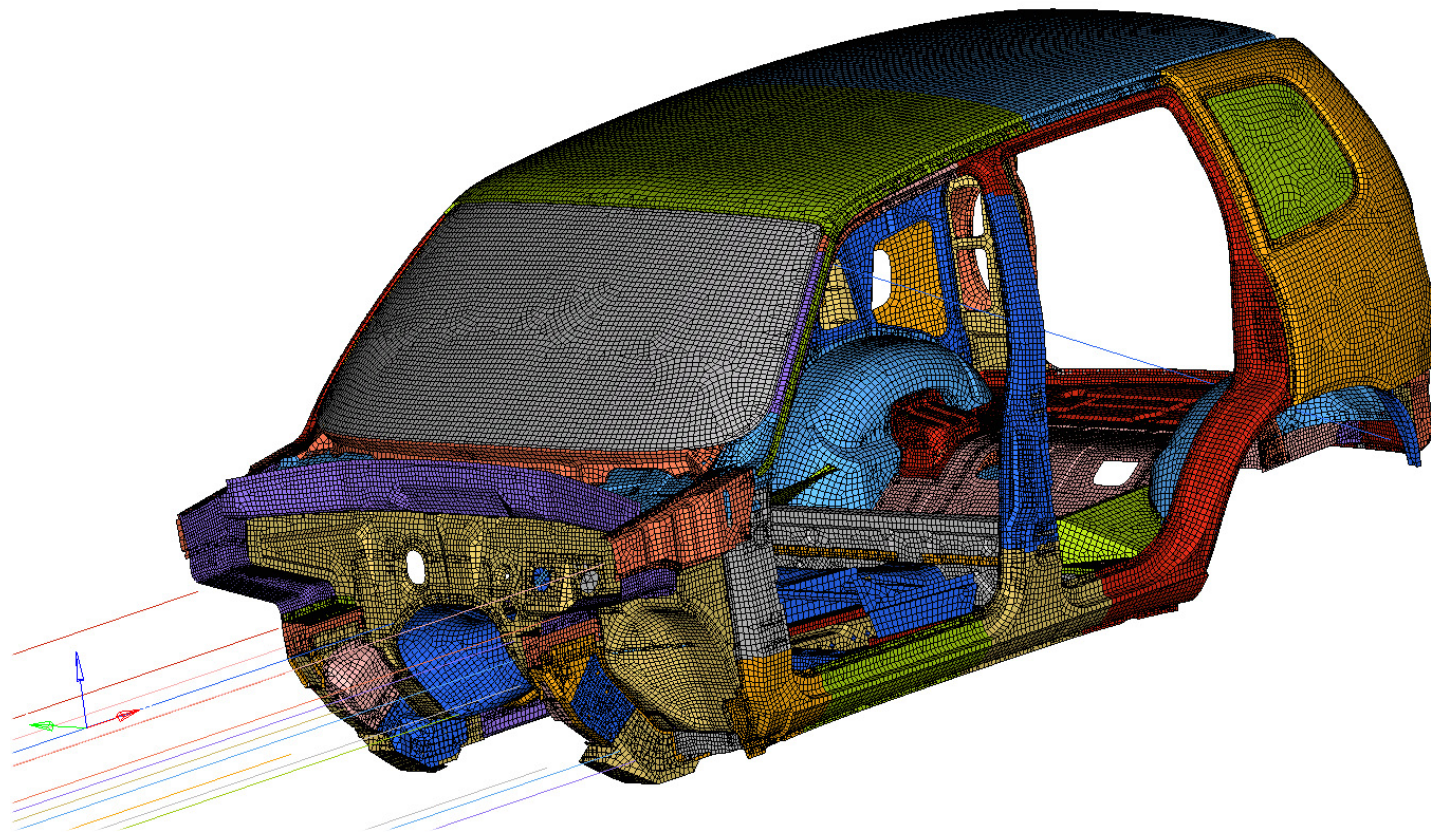
$$T_{\min} \leq t_{k,i} \leq T_{\max}, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}$$

**Задача параметрической оптимизации толщин элементов модели**

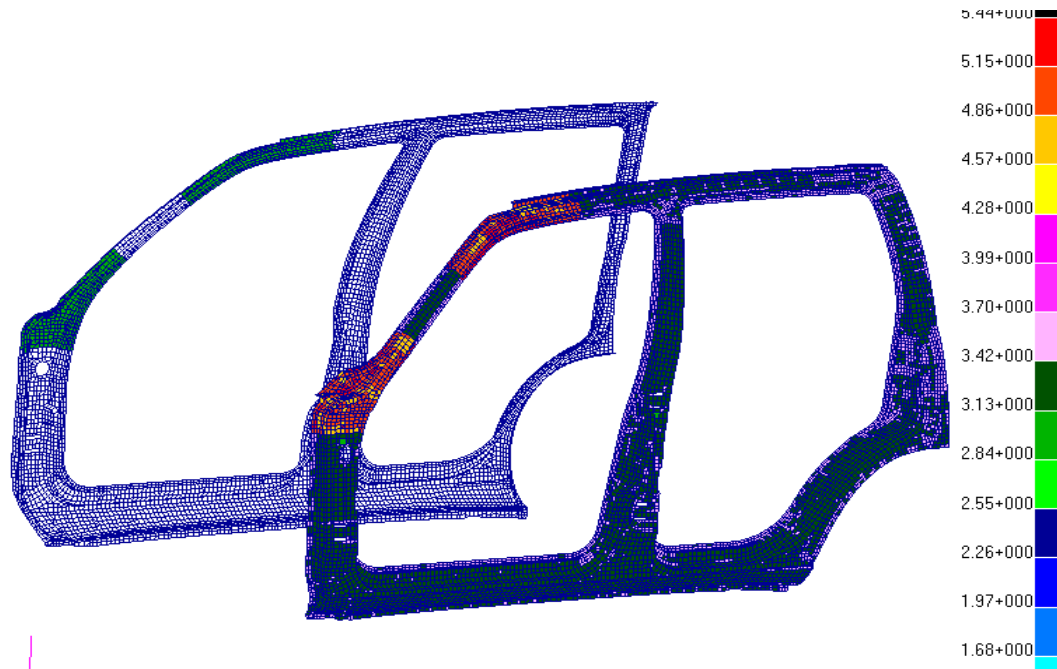
$$t_{ek} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{k,i} - t_k)}{n}$$

**- Толщина новых усилителей**

## Модель для статического расчета



## Результаты оптимизации



Улучшение оценки автомобиля по требованиям EuroNCAP:  
- с 4.5 до 12 баллов



## Выводы по предлагаемому подходу

- **Использование единой полноразмерной модели автомобиля** как для расчетов на удар, так и для прочностного расчета (практически в два раза сокращает трудоемкость подготовки задачи к решению)
- **Исключение расчета на удар из оптимизационного цикла**, что позволяет применить для оптимизации конструкции средства решения задач линейной статики и обеспечить решение задачи за несколько десятков часов процессорного времени компьютера на базе Pentium IV
- **Сопоставимость качественной и количественной картины** поведения конструкции автомобиля при ударе с результатами реальных испытаний и корректность определения нагрузок на каркас салона автомобиля, что недостижимо при использовании упрощенных моделей

**ООО Ладуга ([www.laduga.ru](http://www.laduga.ru))**