

Использование средств системного моделирования для верификации и валидации технических решений на ранних стадиях проекта

УСЛОЖНЕНИЕ ПРОДУКТА (МУЛЬТИФИЗИКА)

Развитие в последние годы электроники, программного обеспечения, роботизация, беспилотного транспорта привело к сильному усложнению систем управления и состава изделия в целом.

Данное усложнение и требования функциональной безопасности привели к развитию следующего подхода во всем мире: проектирование через моделирование (Model-based engineering, simulation-based design).

Данная концепция требует создания и анализа моделей системы на всех уровнях и этапах проектирования изделия.

УПРАВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЯМИ

Модель отражает требования всех уровней. Модель используется для каскадирования требований

УЧАСТИЕ МОДЕЛИ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Применение модели в сквозном цикле проектирования на всех стадиях проекта. Постепенное уточнение модели по мере конвергенции свойств

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

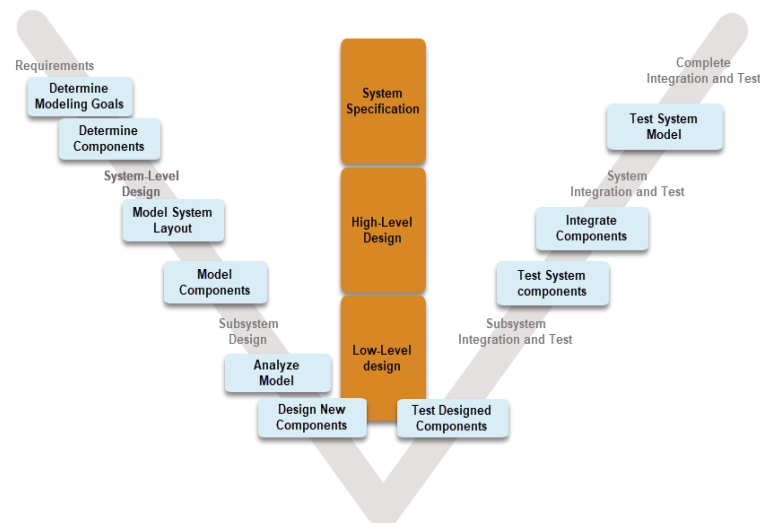
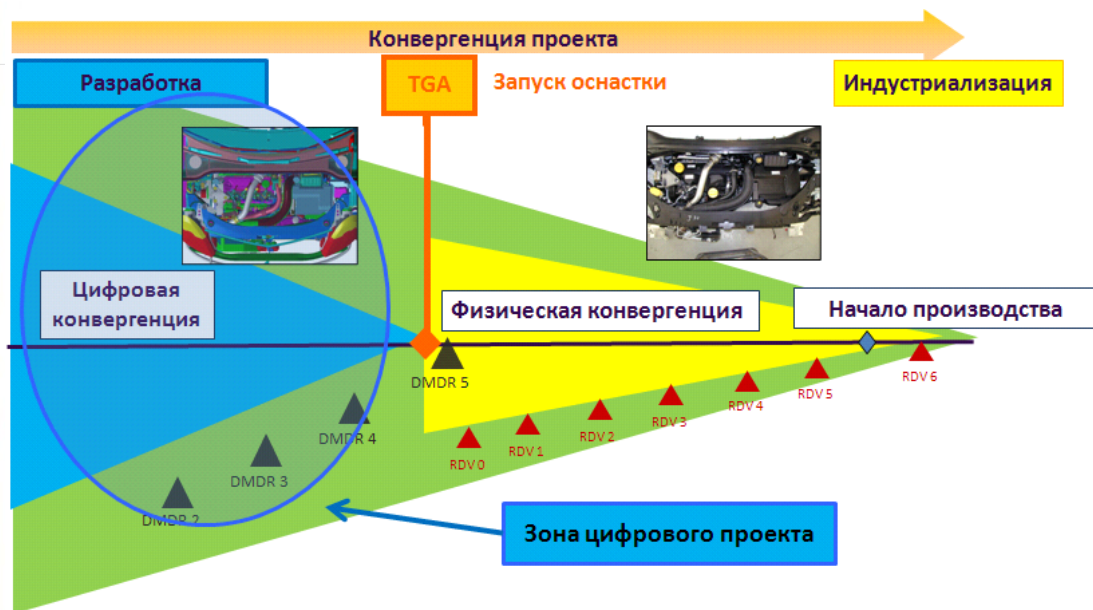
Создание двойников системы, подсистемы и узлов. Отражение свойств контекста в системной модели. Виртуальная модель отражает все требуемые свойства

ОПТИМИЗАЦИЯ И МУЛЬТИВАРИАНТНЫЙ АНАЛИЗ

Оптимизация изделия также проводится еще на стадии проектирования.

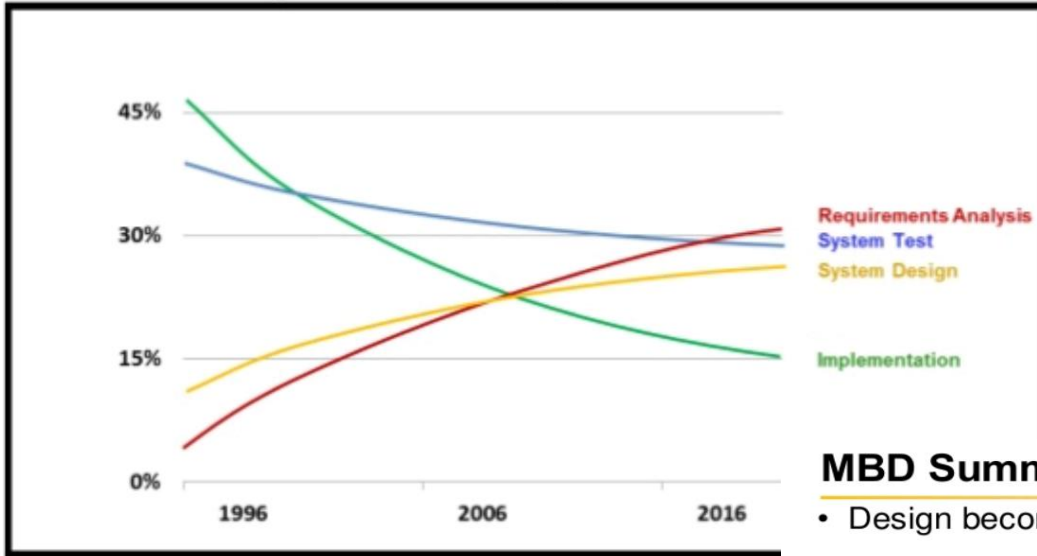
ОТЛАДКА ИЗДЕЛИЯ

Отладка изделия происходит на виртуальных стендах, полувиртуальных стендах, на продукте.



MBD Summary

- More time on design Less time on implementation and test



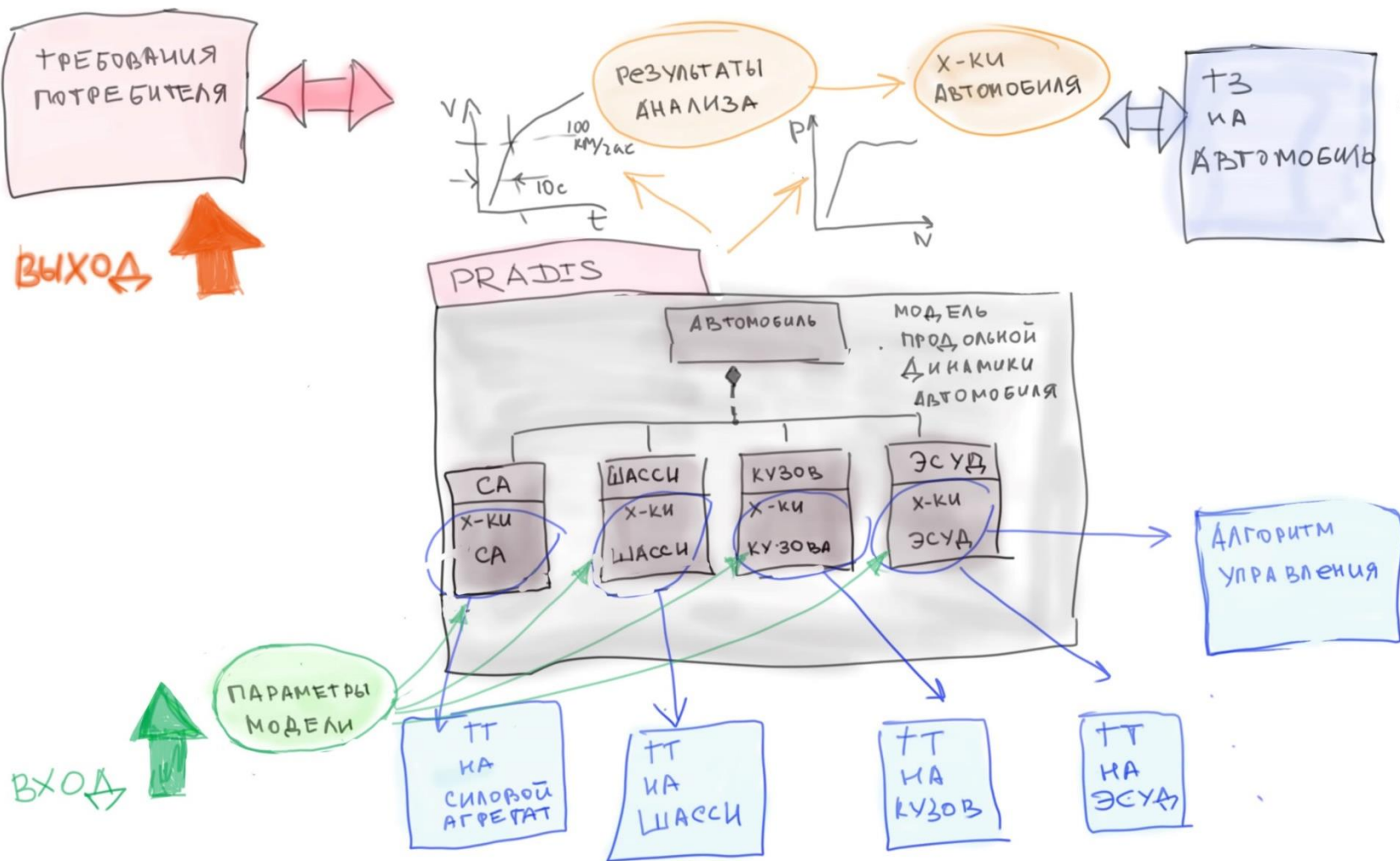
Source: Arthur D. Little GmbH - Studie "Kosten-/Nutzenanalyse der modellbasierten Softwareentwicklung" (chart translated)

MBD Summary...

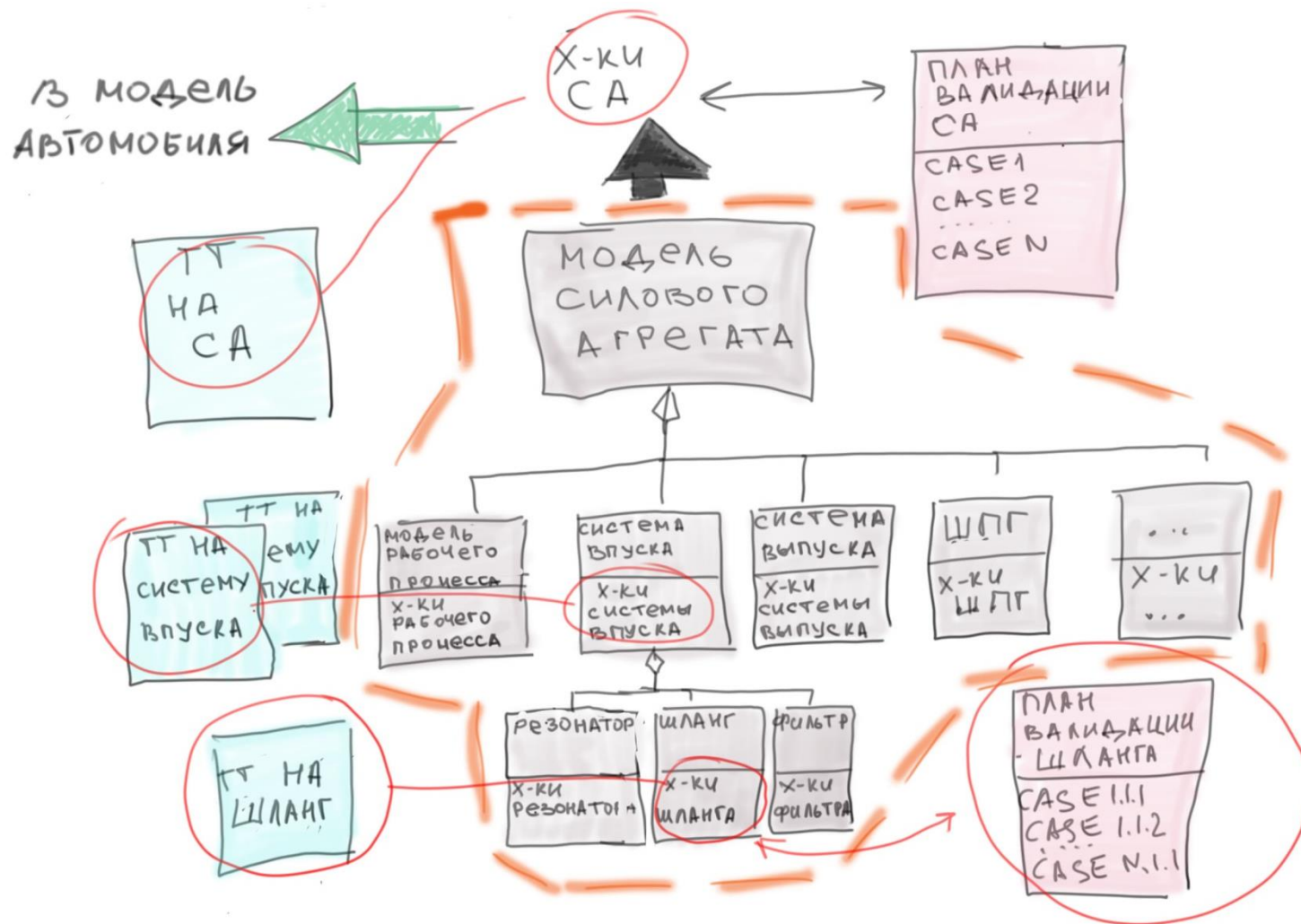
- Design becomes the high ground - in automotive systems

| | 1990 | Today |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| Requirements | Done by Automaker | Done by Automaker |
| Feature Development | Done by Suppliers | |
| Design | | |
| Application Code | | |
| BIOS / RTOS / COMM | | |
| ECU Hardware | | Done by Suppliers |
| Integration | | |
| Calibration | | |
| Validation | | |

Процесс определения ТТ к системам на основе оптимизации модели автомобиля



Использование результатов системного анализа для разработки основных проектных документов



Проектирование технологически сложных продуктов

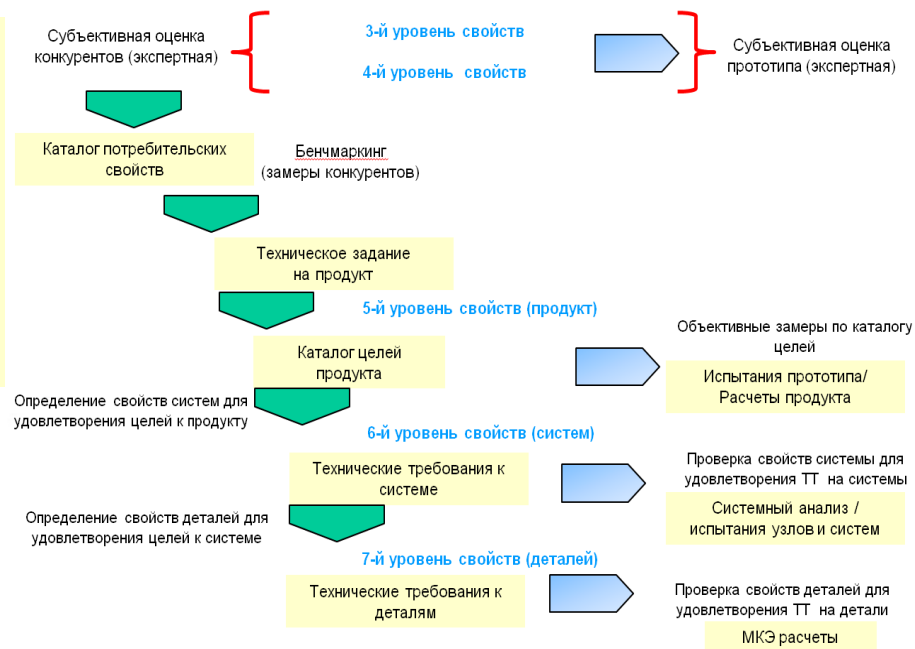
Правильная постановка задачи: уже 50% успеха

Разработка грамотных, корректных непротиворечащих технических требований – задача уровня эксперта в области

Решение: разработка технических требований на основе системного моделирования

Сложные технические системы - системы, поведение которых сложно моделировать из-за сложных зависимостей между их частями или из-за сложных взаимодействий между данной системой и окружающей средой

- ▶ Системное моделирование продукта
- ▶ Формирование ТТ на продукт, системы, узлы.
- ▶ Формирование ТТ для поставщиков
- ▶ Синтез характеристик узлов
- ▶ Анализ межсистемного взаимодействия
- ▶ Определение мероприятий для достижения целей
- ▶ Виртуальные испытания и верификация требований

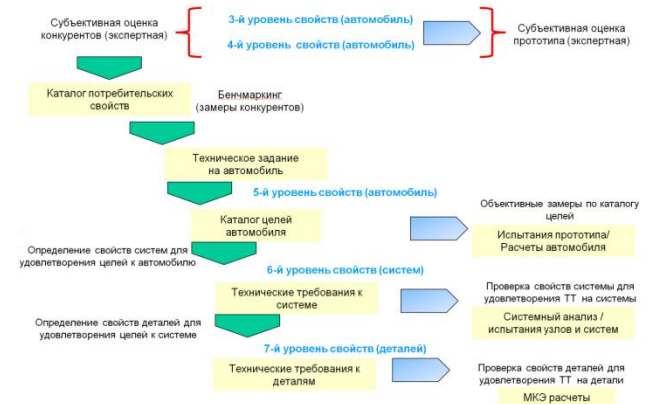
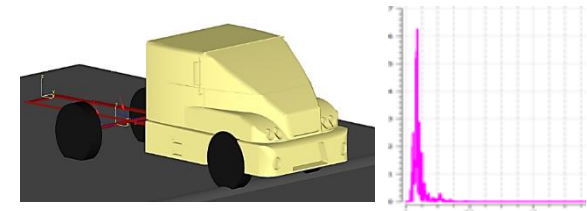


Возможности PRADIS

- ▶ Моделирование динамики систем различной физической природы (механика, гидравлика, пневматика, электроника, биомеханика (манекены), системы управления)
- ▶ Библиотека моделей различных физических систем
- ▶ Методы локальной и глобальной оптимизации
- ▶ Богатые функции пре-постпроцессинга и кастомизации

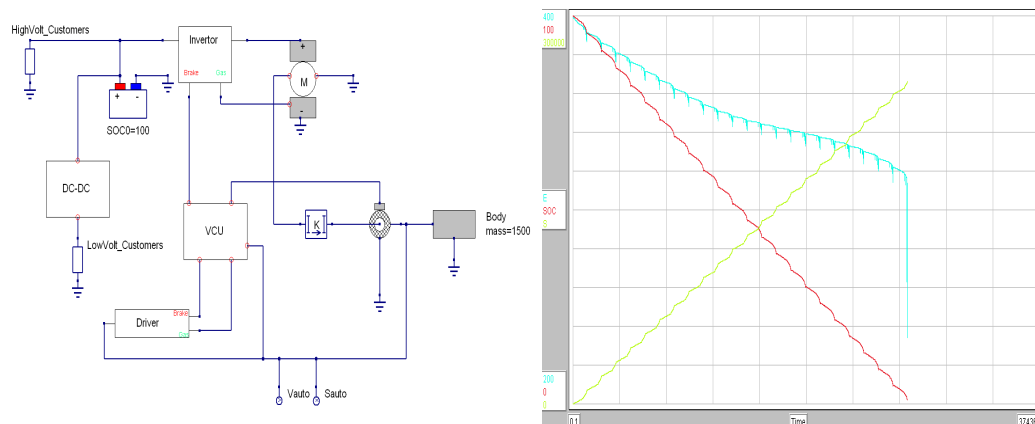
Применение PRADIS

- ▶ системный анализ автомобиля (вибрации, продольная и поперечная динамика, термоменеджмент)
- ▶ моделирование шасси автомобиля (подвеска, трансмиссия, рулевая и тормозная системы)
- ▶ моделирование ДВС (поршневых) – расчеты термодинамики и вибраций
- ▶ моделирование работы прессов и мехатронных систем

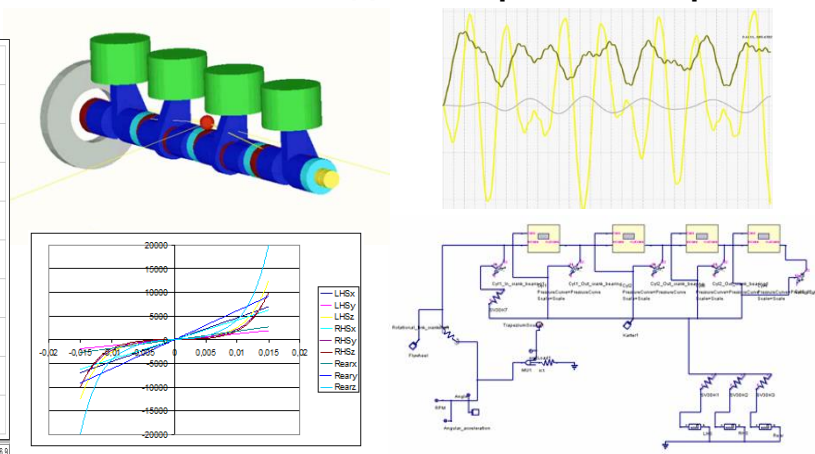


Примеры выполненных работ

1. Расчеты электробаланса электромобиля



2. Анализ систем ДВС для расчета вибраций



PRADIS предназначен для управления характеристиками продукта на протяжении всего процесса инжиниринга продукта

1. PRADIS позволяет:

1. Создать модель продукта, его систем и подсистем, узлов
2. Описать характеристики узлов и с помощью моделирования получить характеристики продукта
3. Синтезировать характеристики систем, подсистем и узлов для достижения целевых характеристик продукта
4. Контролировать ход процесса проектирования с точки зрения характеристик, выбирать варианты развития продукта на основе результатов расчетов.

2. Могут быть описаны системы разного уровня. На примере автомобиля:

1. Автомобиль в сборе
2. Двигатель
 1. Система впуска
 2. Система выпуска
 3. ГРМ или КШГ
3. Трансмиссия
 1. КПП
 2. Главная передача
 3. Валы
4. Подвеска
5. Электронная архитектура
6. Кузов ...

3. Могут быть описаны системы разной физической природы. На примере автомобиля:

1. NVH свойства (расчет свойств внешней и внутренней акустики, оценка вибраций)
2. Термоменеджмент и HVAC (оценка теплового баланса, оценка комфорта, система охлаждения)
3. Управляемость (расчеты подвески и движения автомобиля)
4. Динамика (оценка продольной динамики, энергобаланса, тормозных свойств)
5. И т.д.

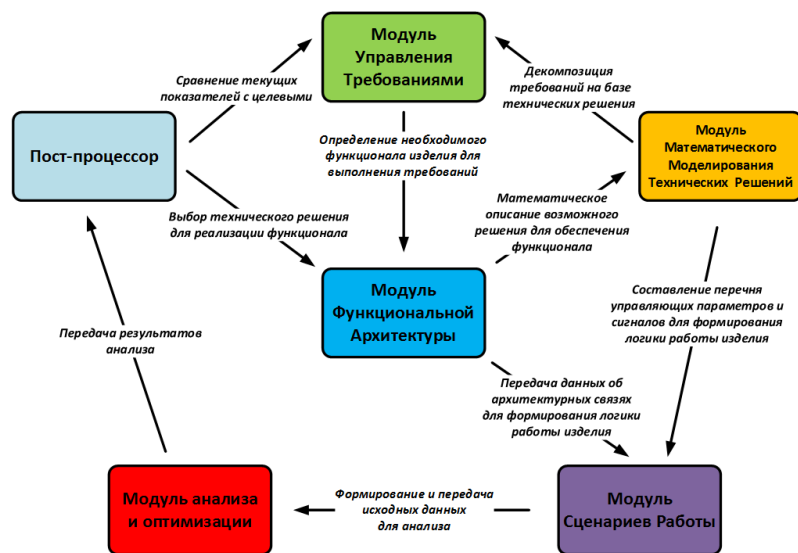
4. Может выполняться синтез характеристик различными методами оптимизации

5. Решения PRADIS

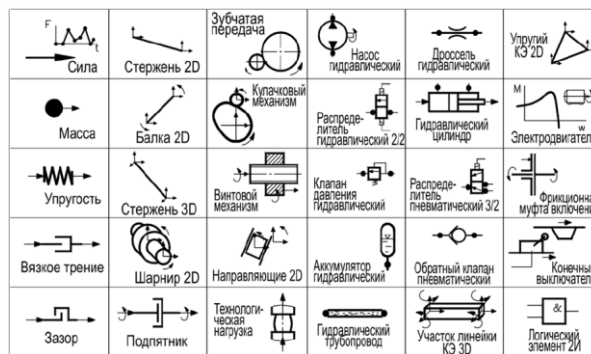
1. Управление характеристиками продукта на уровнях от главного конструктора до инженера-конструктора
2. Снижение рисков по достижению свойств технического решения
3. Упрощение выбора технического решения на разных стадиях проекта

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА

Архитектура



Расширяемая библиотека мат.моделей

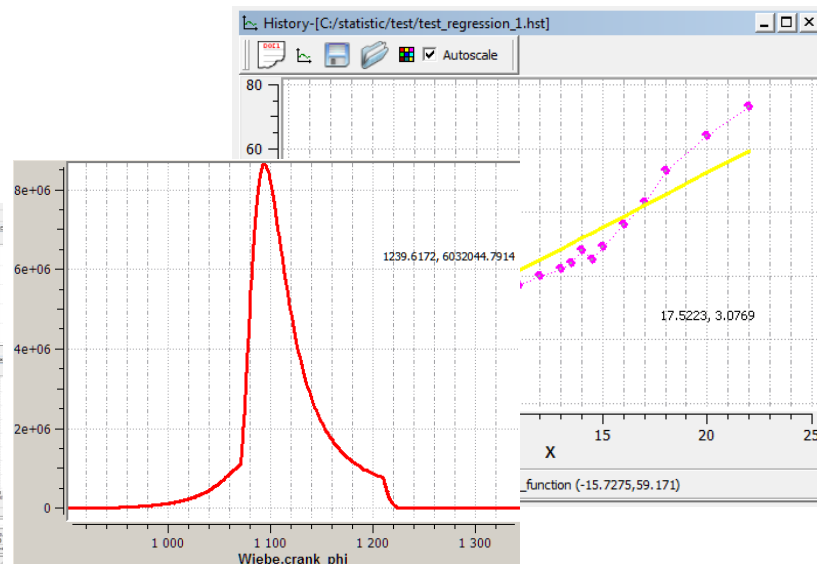
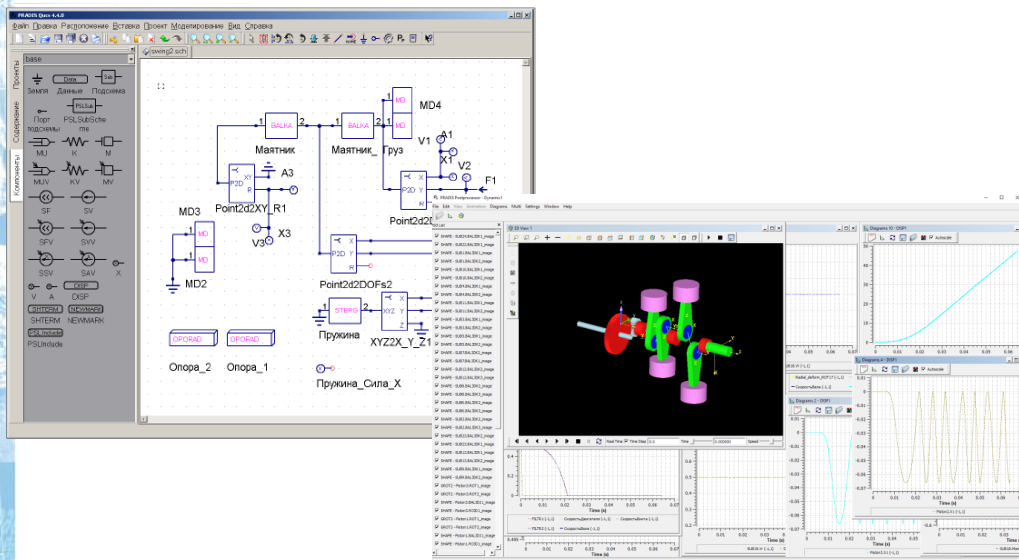


- Механика 1D/2D/3D
- Гидравлика
- Пневматика
- Электроника
- Биомеханика
- Системы управления
- Акустика
- и др.

Расширяемый набор инструментов пре- и постобработки (на Python)

Решатели: динамики, многовариантный анализ (оптимизация, статистика)

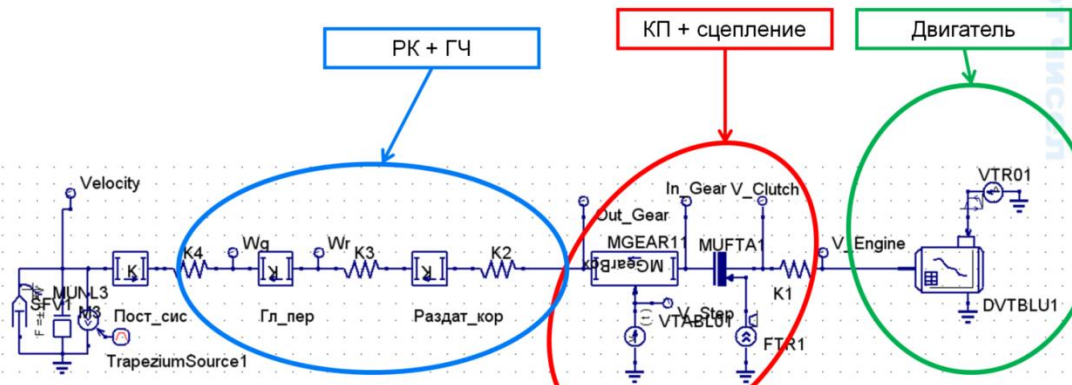
Схемный препроцессор + 3D/2D Постпроцессор



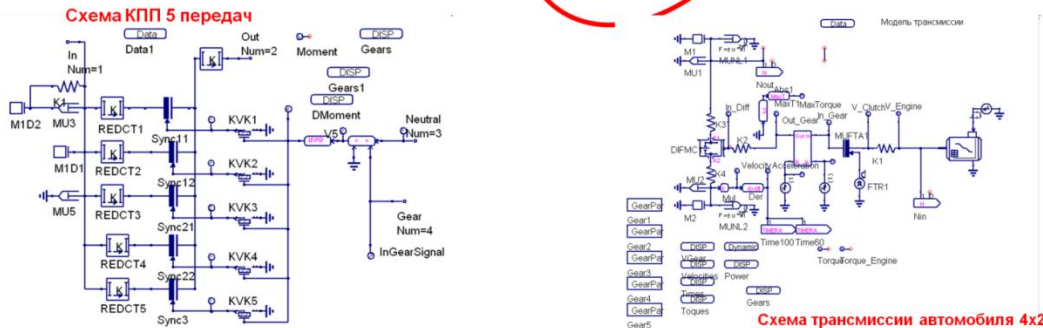


ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ РЕШЕННЫХ В PRADIS

ПРОДОЛЬНАЯ ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЯ

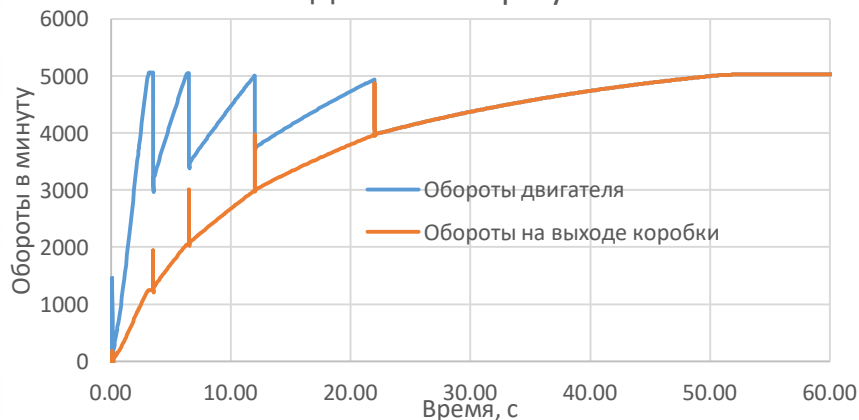


| ID | Идентификация расчетного случая | Уровень | Параметр/свойство | Целевое значение | Расчетное значение |
|---------|---------------------------------|---------|--|------------------|--------------------|
| AT1.1 | AT1_1 | 4 | Время разгона | | |
| AT1.1.1 | AT1_1.1 | 5 | Время разгона с места 0-60 км/ч (curb + 150 kg) | 6.4 | 6.4 |
| AT1.1.2 | AT1_1.2 | 5 | Время разгона с места 0-1000 м (curb + 150 kg) | - | - |
| AT1.1.3 | AT1_1.3 | 5 | Время разгона с места 0-100 км/ч (GVW + 1500 kg) | 16.1 | 16.1 |
| AT1.1.4 | AT1_1.4 | 5 | Время разгона при движении 40-100 км/ч 3 | - | - |
| AT1.1.5 | AT1_1.5 | 5 | Время разгона при движении 60-100 км/ч 4 | - | - |
| AT1.1.6 | AT1_1.6 | 5 | Время разгона при движении 80-120 км/ч 4 | 12.5 | 12.5 |
| AT1.1.7 | AT1_1.7 | 5 | Время разгона при движении 80-120 км/ч 4 | - | - |
| AT1.1.8 | AT1_1.8 | 5 | Время разгона при движении 100-140 км/ч 5 | - | - |
| AT1.1.9 | AT1_1.9 | 5 | Время разгона при движении 100-140 км/ч 5 | - | - |

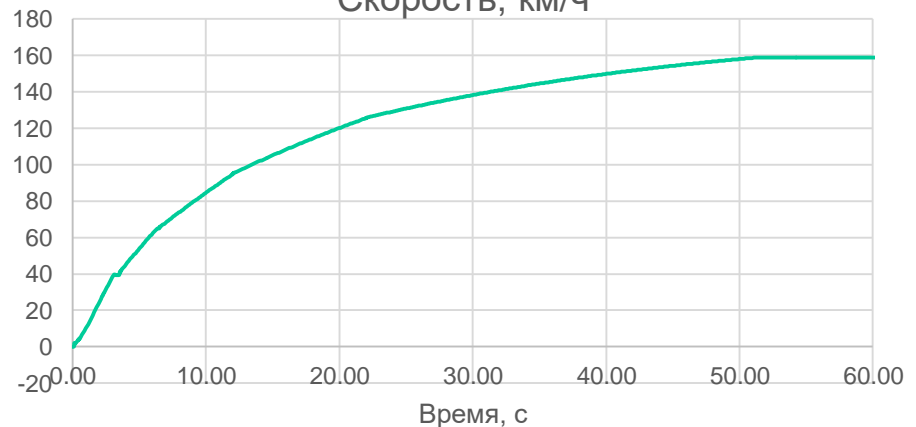


- Масса снаряженного автомобиля (без водителя) (Curb) -1940 кг
- Полная масса автомобиля (GVW)– 2540 кг
- Коэффициент аэродинамического сопротивления -0.44
- Аэродинамический фактор– 3.028 м^2
- Коэффициент трения качения -0.01
- Передаточные числа коробки передач
-4.06, 2.466, 1.673, 1.245, 1
- Передаточное отношение понижающей передачи – 2.45
- Передаточное число главной передачи – 4.11

Динамика при уклоне 0%



Скорость, км/ч



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ПОДБОРА ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ КП

$$f_0(x) \rightarrow \min(\max), x \in \Omega$$

при условиях

$$g(x) \geq 0$$

$$h(x) = 0$$

Постановка задачи:

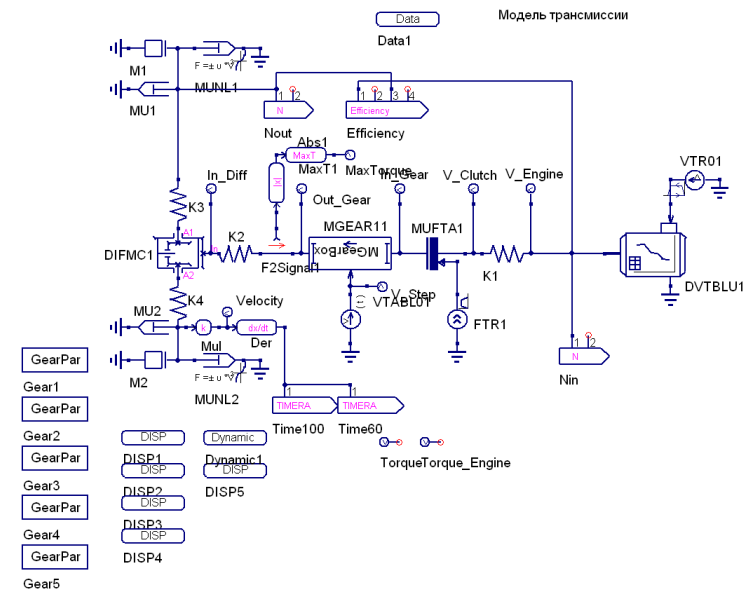
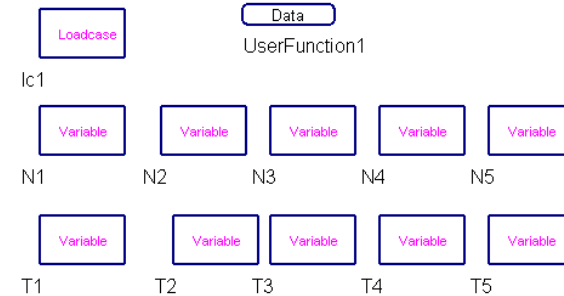
- Определить передаточные числа N1-N5 (параметры)

Чтобы (ограничения)

- Разгон до 100 км/ч меньше, чем за G1 с
- Разгон с 60 до 100 км/ч меньше, чем за G2 с
- Максимальный момент в сцеплении менее G3 Нм
- Максимальный момент в КП менее G4 Нм
- Максимальный момент в главной передаче менее G5 Нм
- Максимальная скорость более, чем G6 км/ч

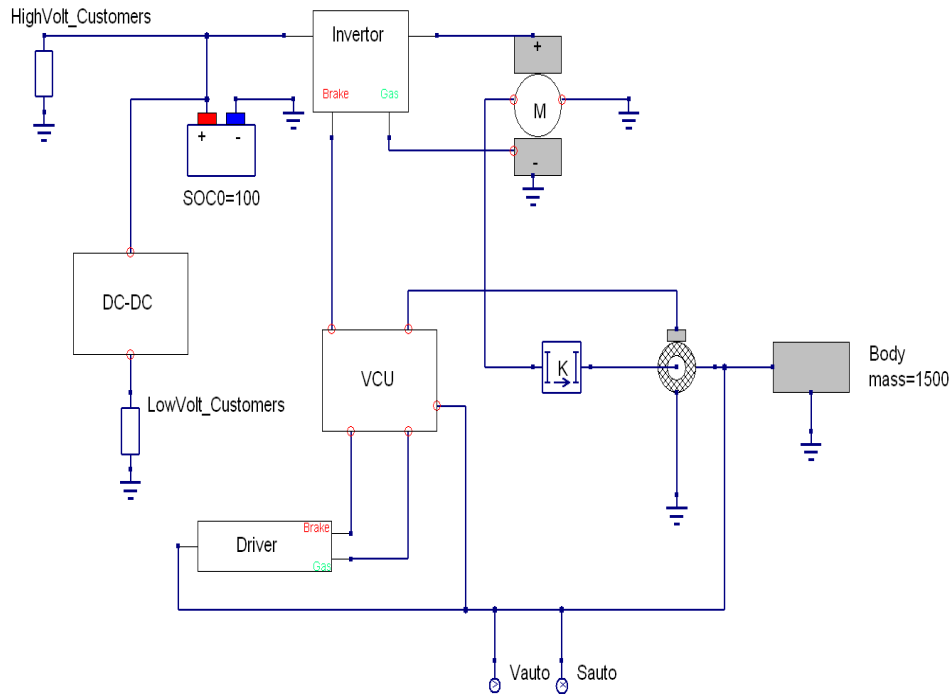
При этом минимизируем

- расход топлива на NEDC (цель)
- другие цели (многокритериальный подход)



МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОБАЛАНСА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Модель в PRADIS



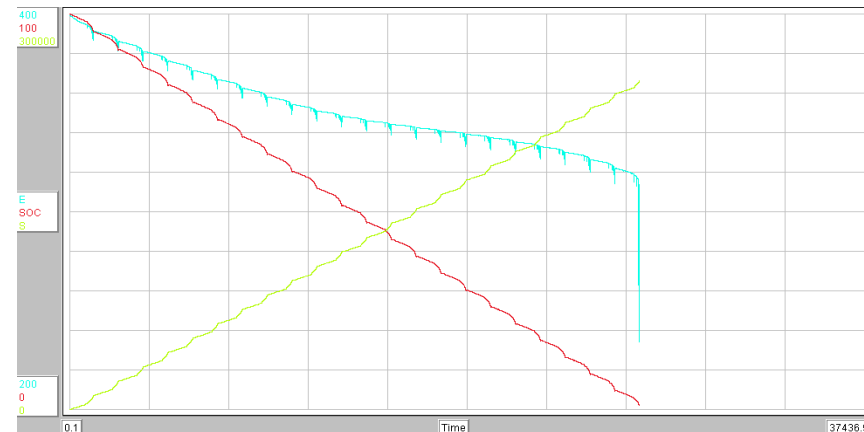
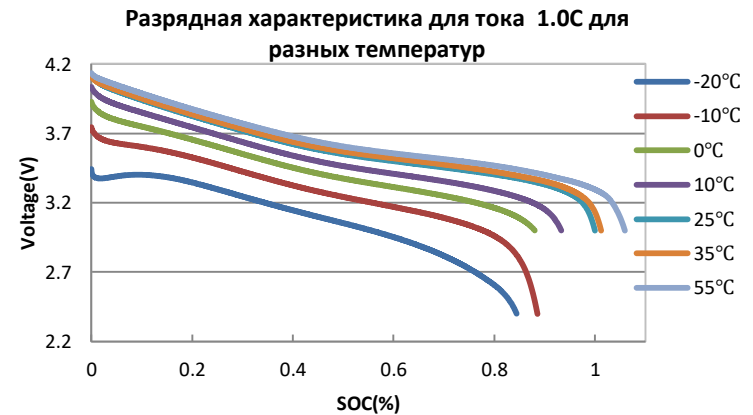
- ▶ энергия расходуется электродвигателем и потребителями
- ▶ характеристики батареи зависят от температуры, токов заряда-разряда, уровня заряда
- ▶ модель автомобиля в 1D (только продольная динамика)
- ▶ учитываются потери в шинах, аэродинамическое сопротивление, к.п.д. трансмиссии
- ▶ водитель контролирует скорость с помощью сигналов gas и brake
- ▶ учитывается рекуперация
- ▶ Учитывается уклон дороги

РЕЖИМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

▶ Лето-день-солнце, Лето - ночь – дождь, Зима-день-солнце, Зима - ночь - снег

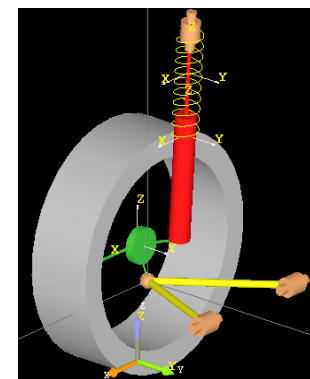
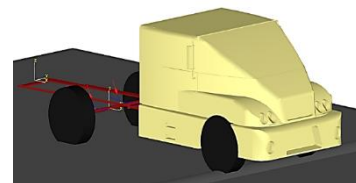
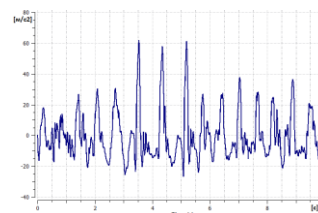
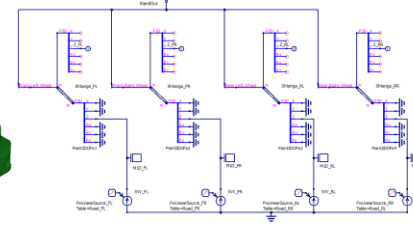
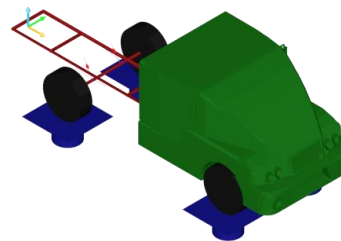
УКЛОН ДОРОГИ

▶ 0%, 0.5%, 4%, 8%, 12%



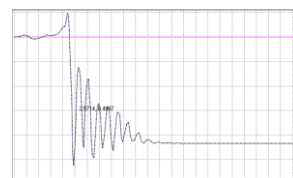
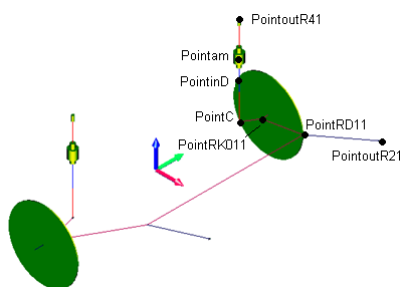
Проектирование подвески автомобиля

- ▶ Моделирование испытаний устойчивости и управляемости автомобиля/сельскохозяйственной техники
- ▶ Анализ параметров устойчивости и управляемости
- ▶ Определение кинематики/эластокинематики подвески и рулевого управления
- ▶ Расчет плавности хода
- ▶ Оптимизация ходовой части, рулевого управления
- ▶ Расчет нагрузок на кузов
- ▶ Проектирование элементов подвески



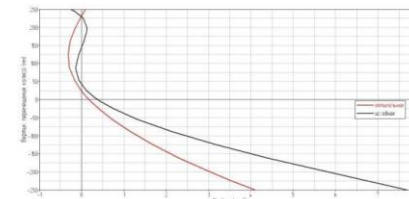
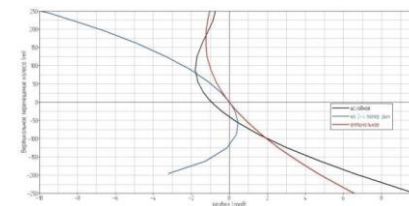
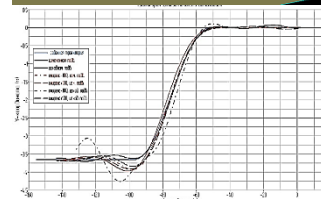
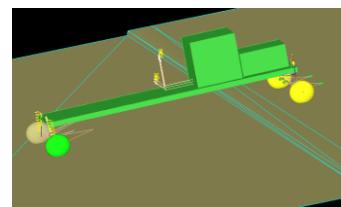
Примеры выполненных работ

1. Анализ и оптимизация нагрузок на кузов от подвески легкового автомобиля

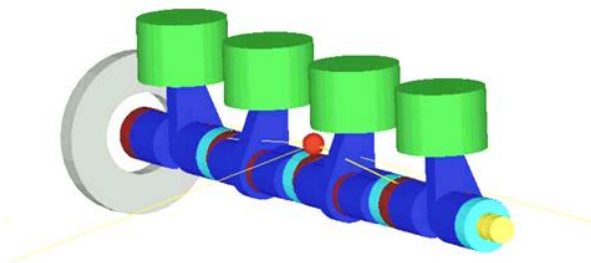


Снижение нагрузки на кузов до **50%**

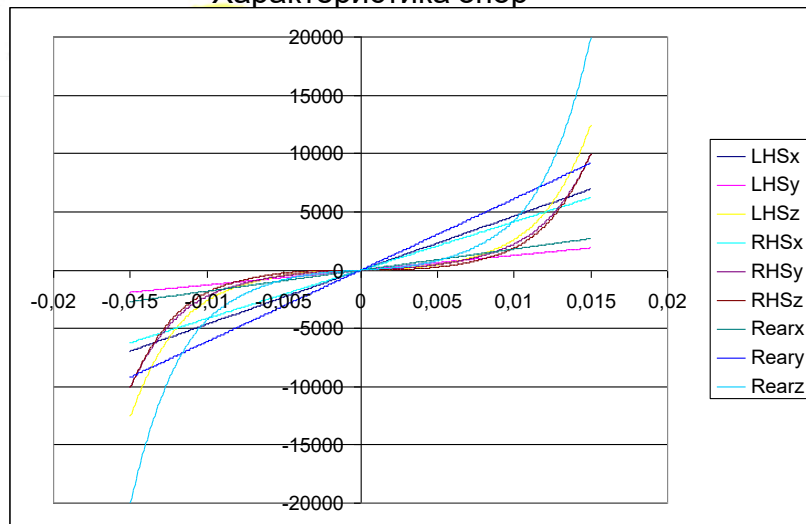
2. Анализ и оптимизация подвески вездехода



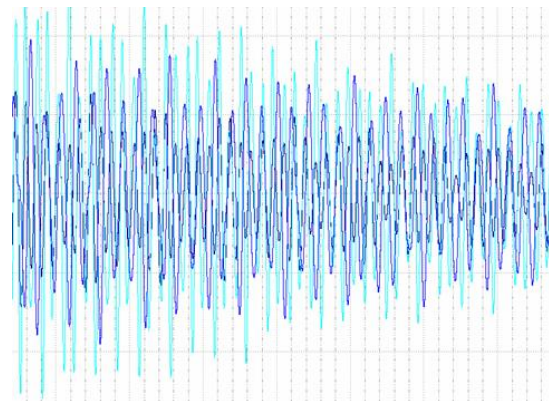
- ▶ Расчет вибраций силового агрегата
- ▶ Определение наилучшего места опор
- ▶ Оптимизация характеристик опор



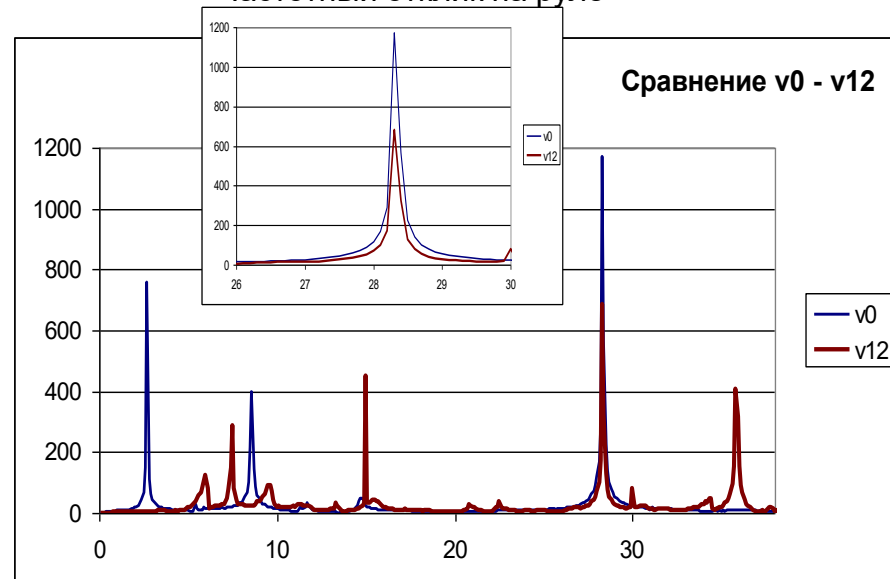
Характеристика опор



Силы в опорах

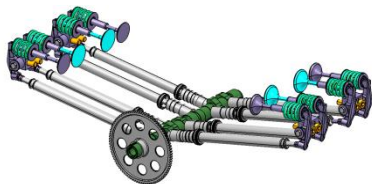


Частотный отклик на руле

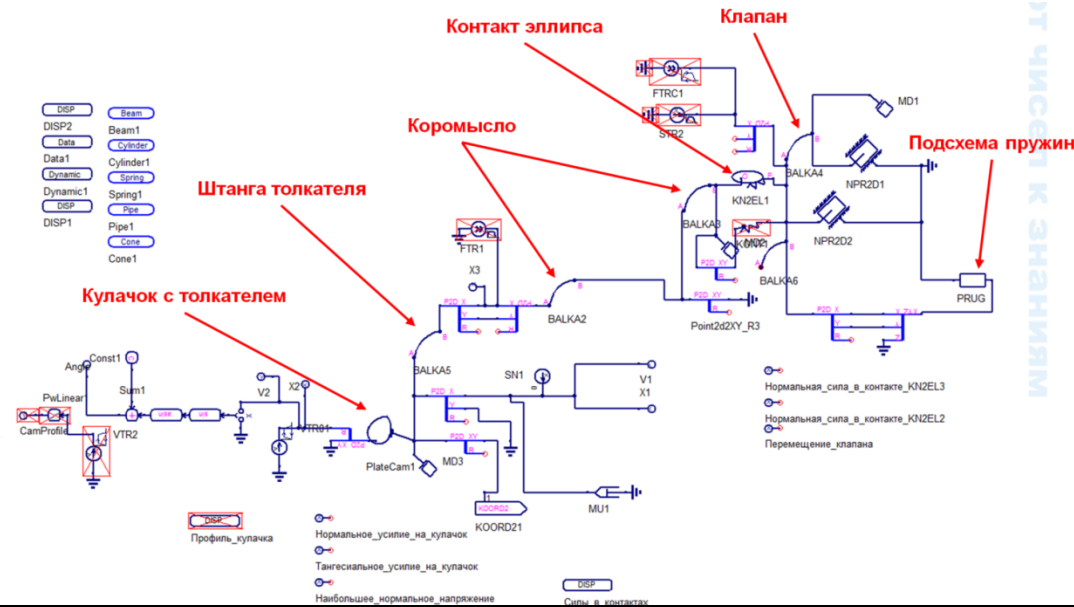


- ▶ В оптимальном варианте вибрации уменьшены в 1,7 раз.

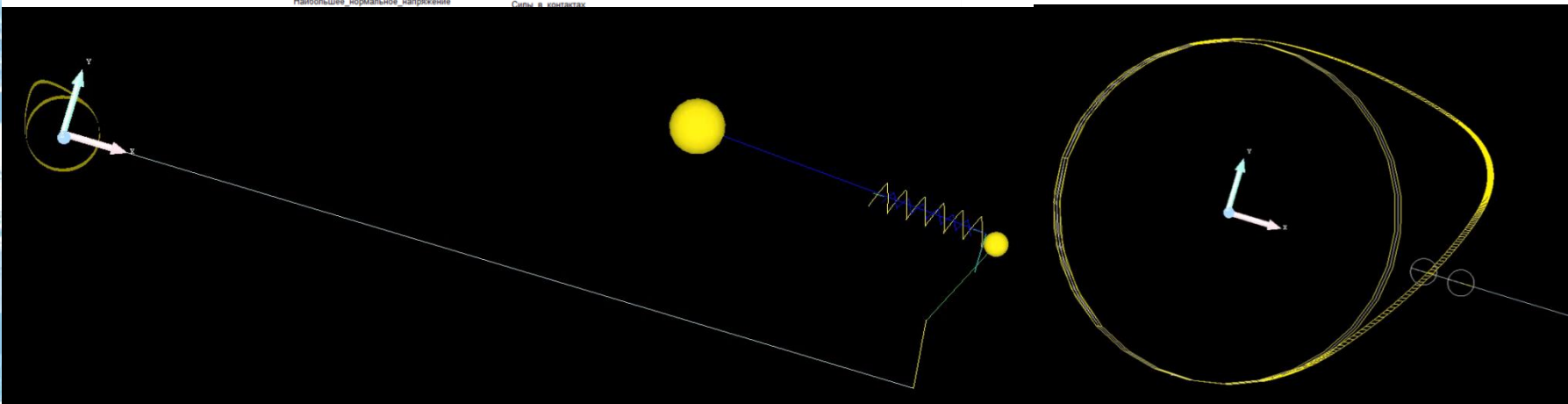
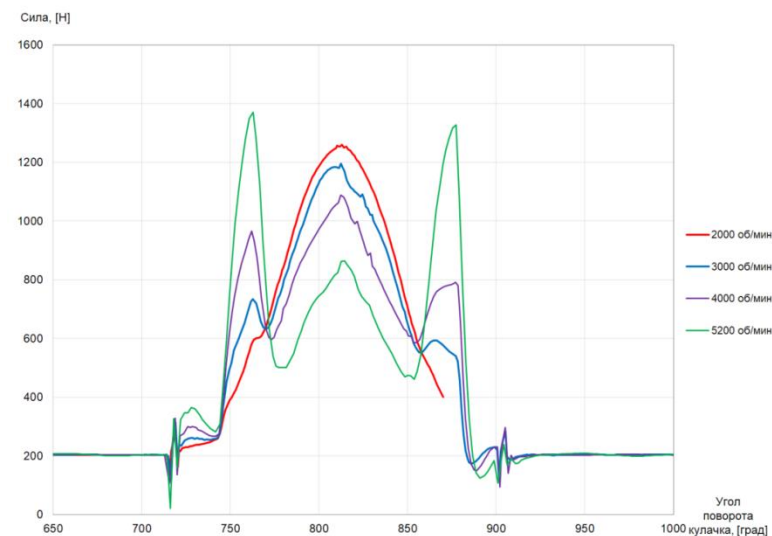
РАСЧЕТЫ ГРМ



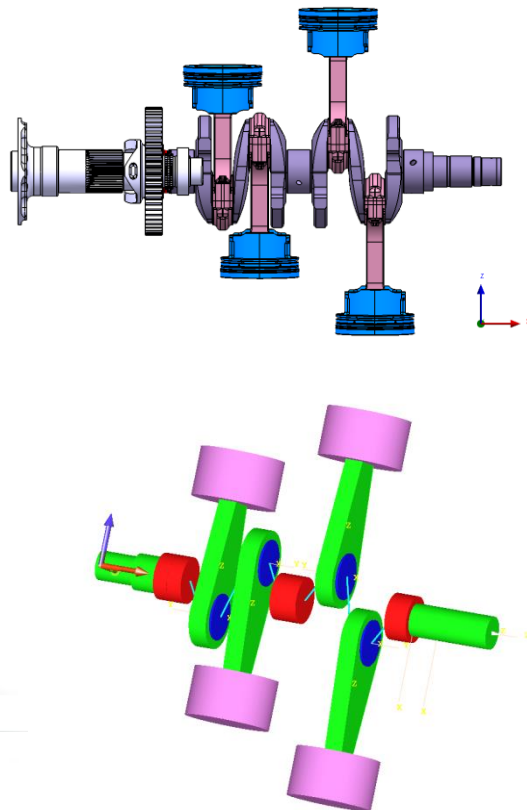
от чисел



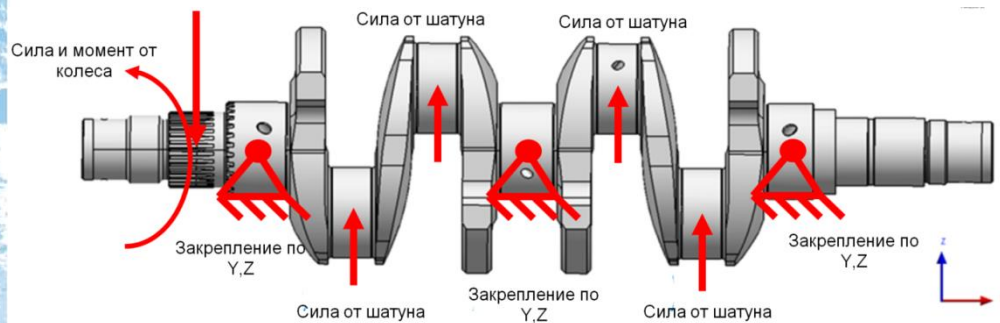
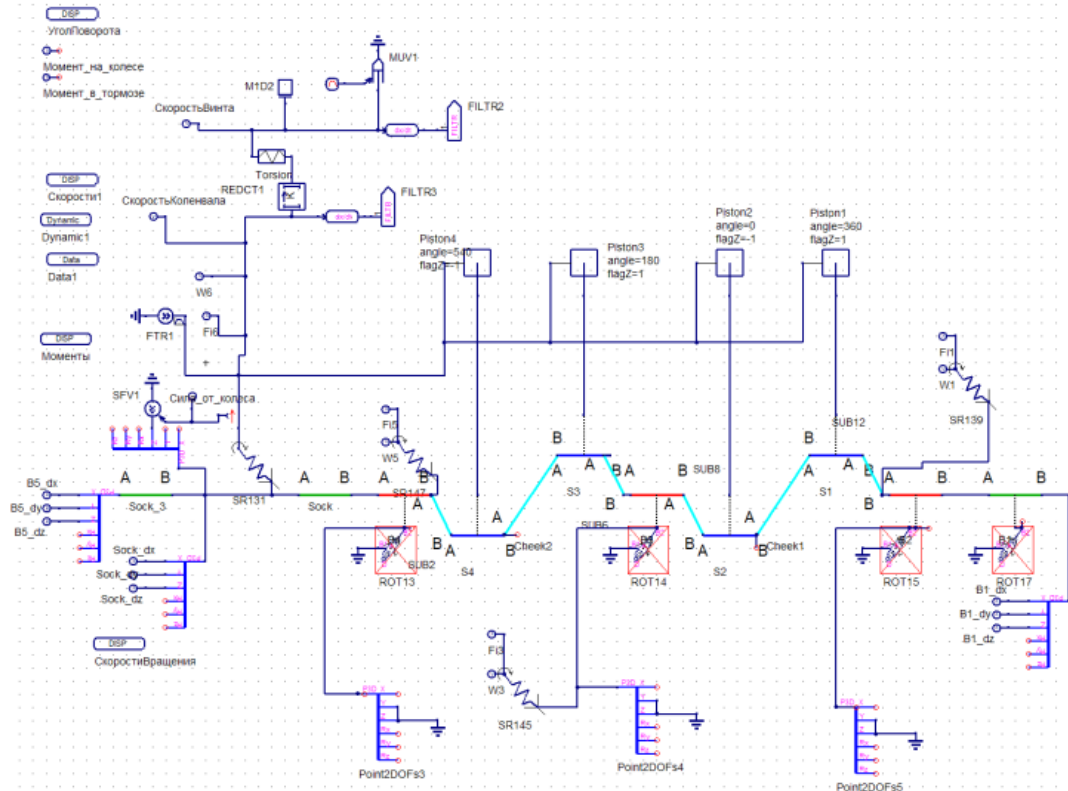
Нормальное усилие на кулачок



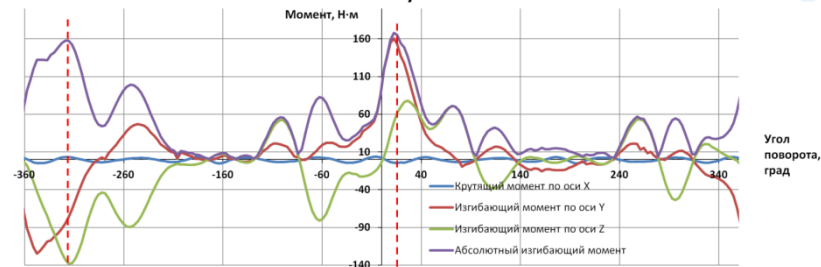
РАСЧЕТЫ КШМ



Базовая задача



Моменты в шатунной шейке №3



В системе моделируется коленвал и его закрепление, система шатун-поршень, система редуктор-тorsiон-винт. Также моделируется тормоз для установки вращения коленвала в среднем на 5500 об/мин



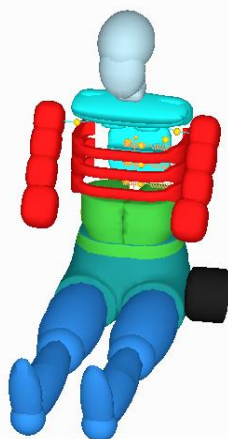
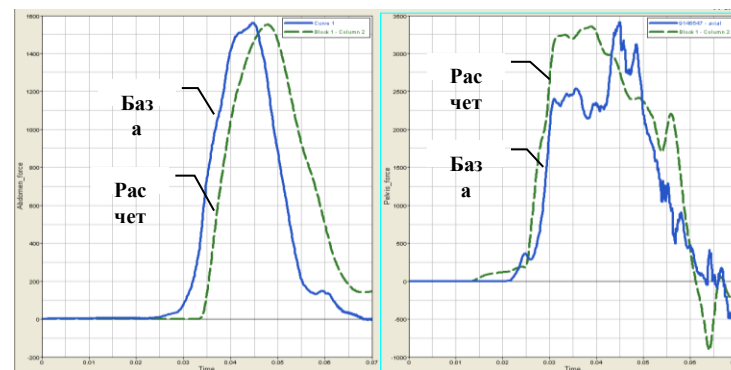
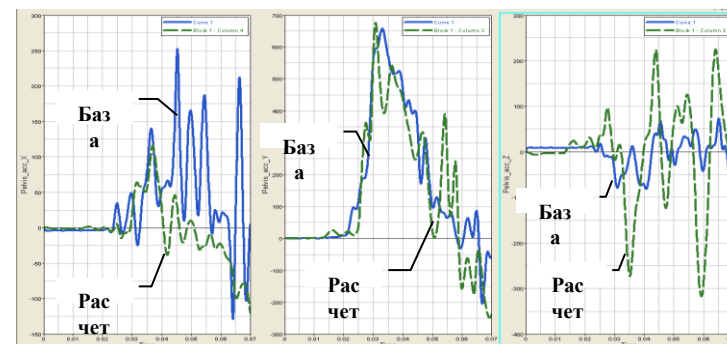
0 мс удара



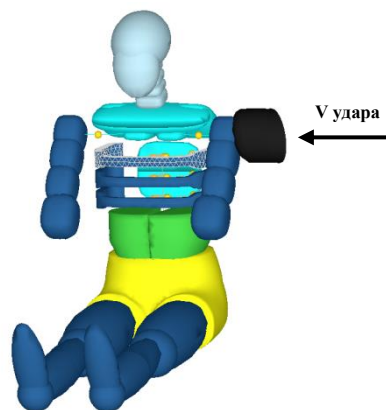
37 мс удара



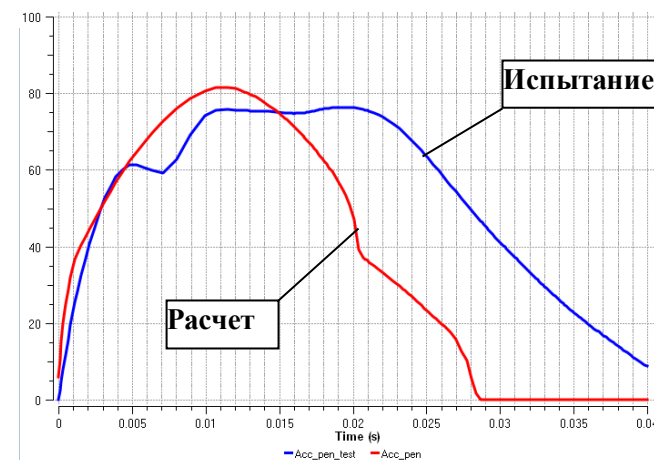
70 мс удара



Y удара



V удара



БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!

ООО «Ладуга»

ОТ ЧИСЕЛ К ЗНАНИЯМ