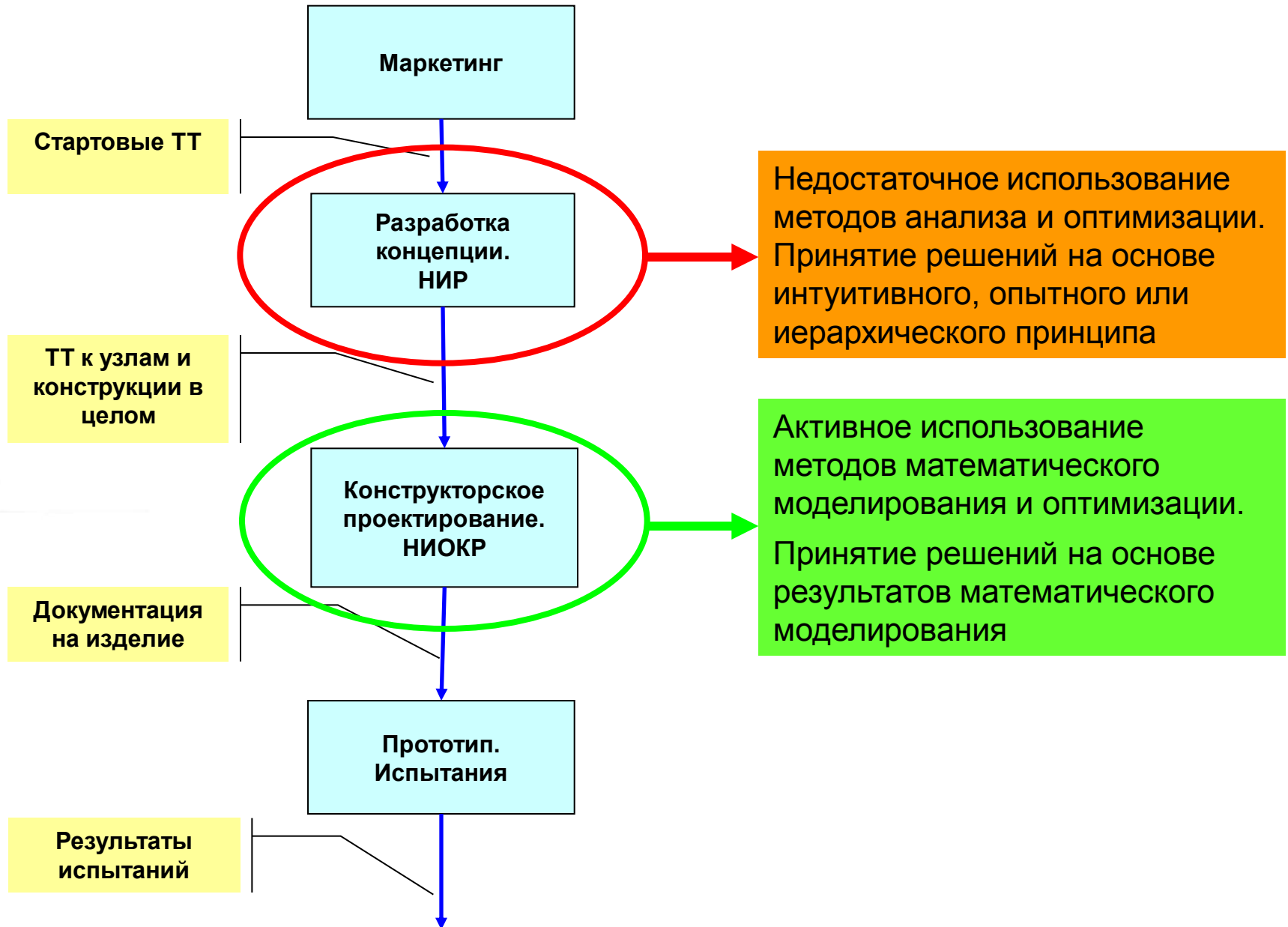


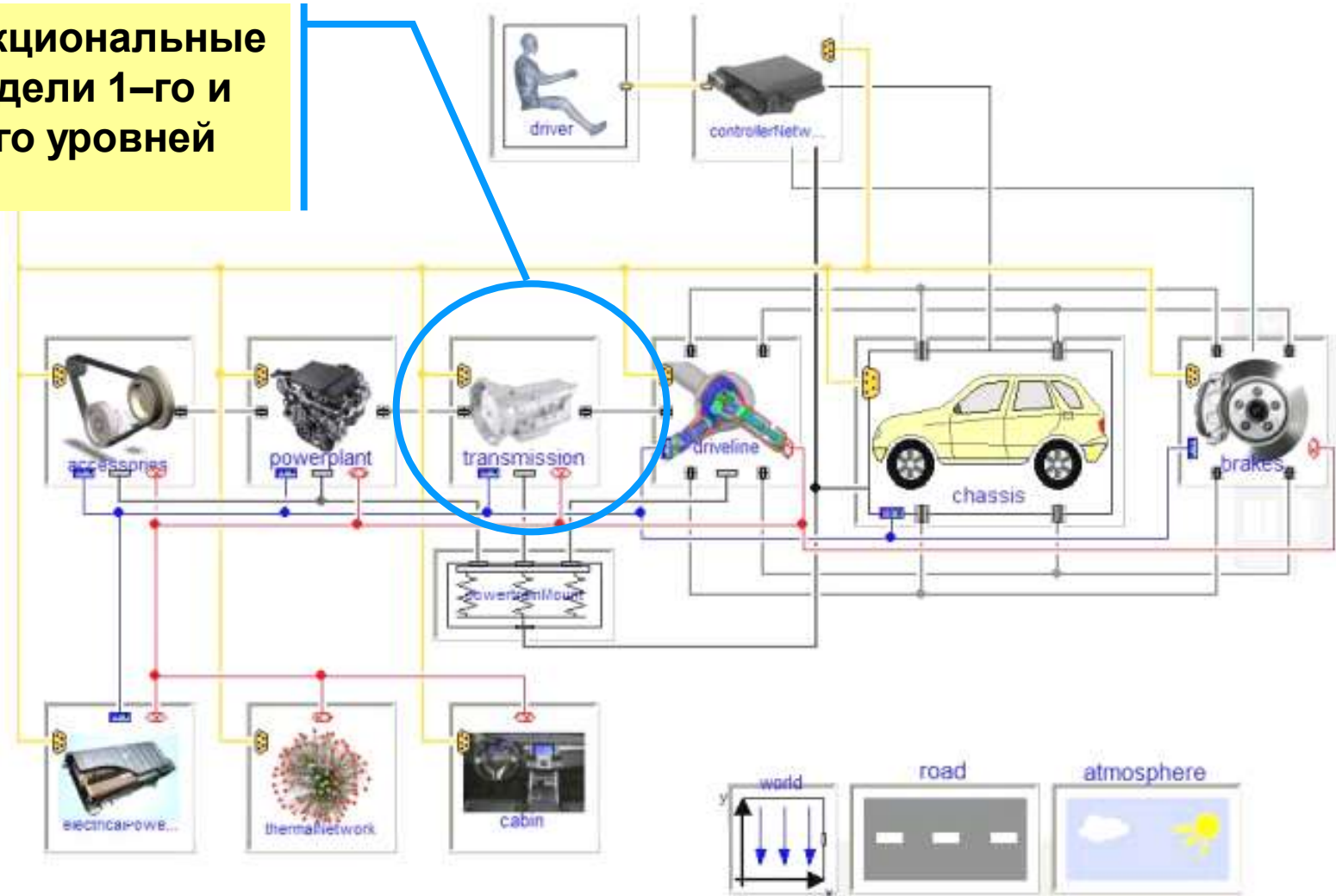
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА СТАДИИ НИР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЯ

Этапы проектирования

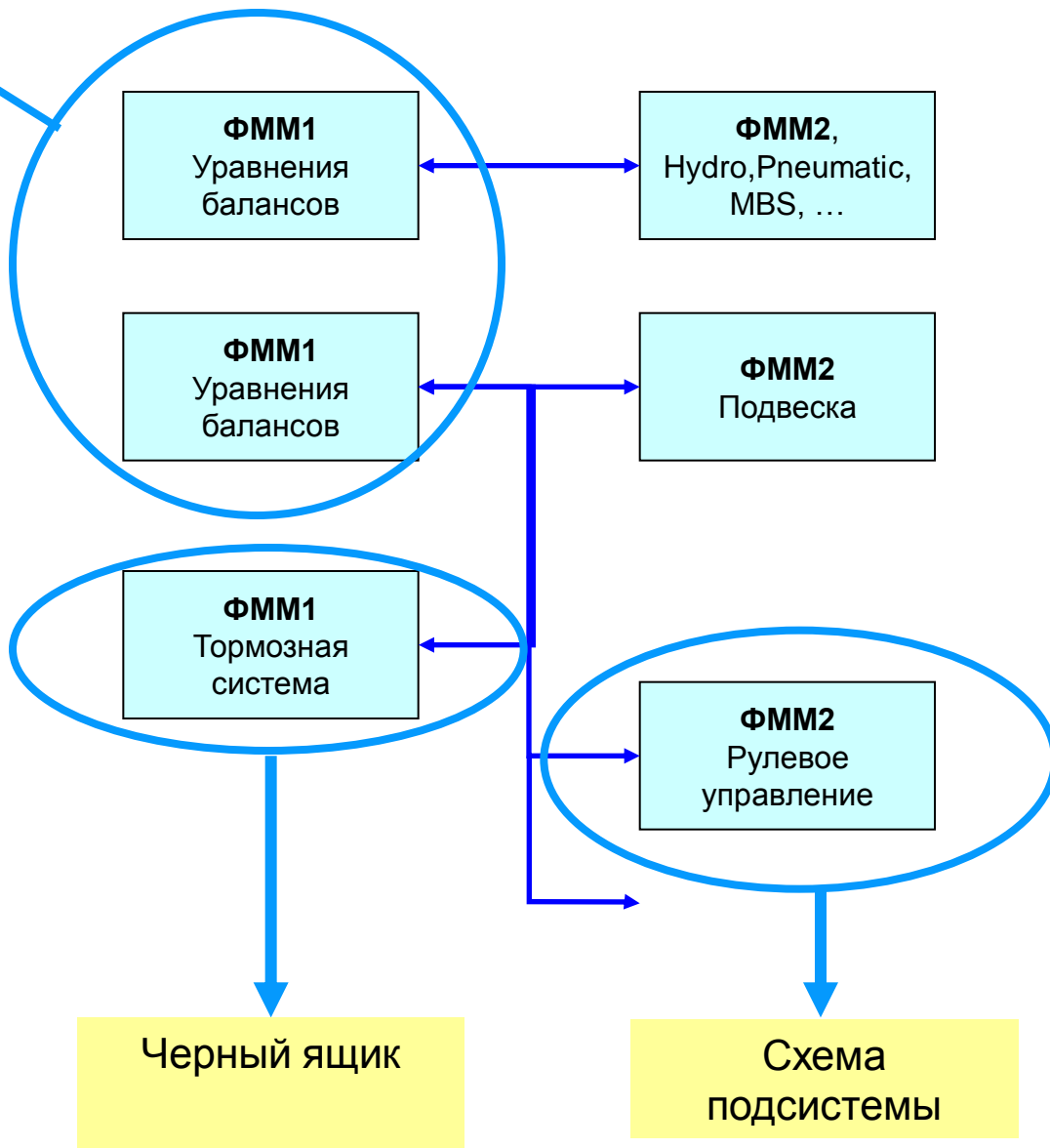
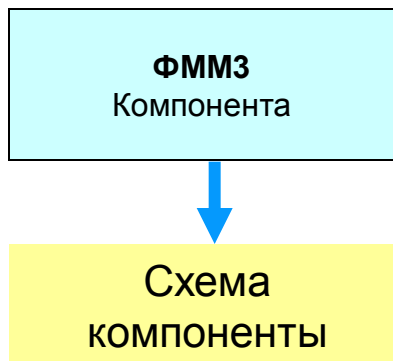


Структура модели автомобиля

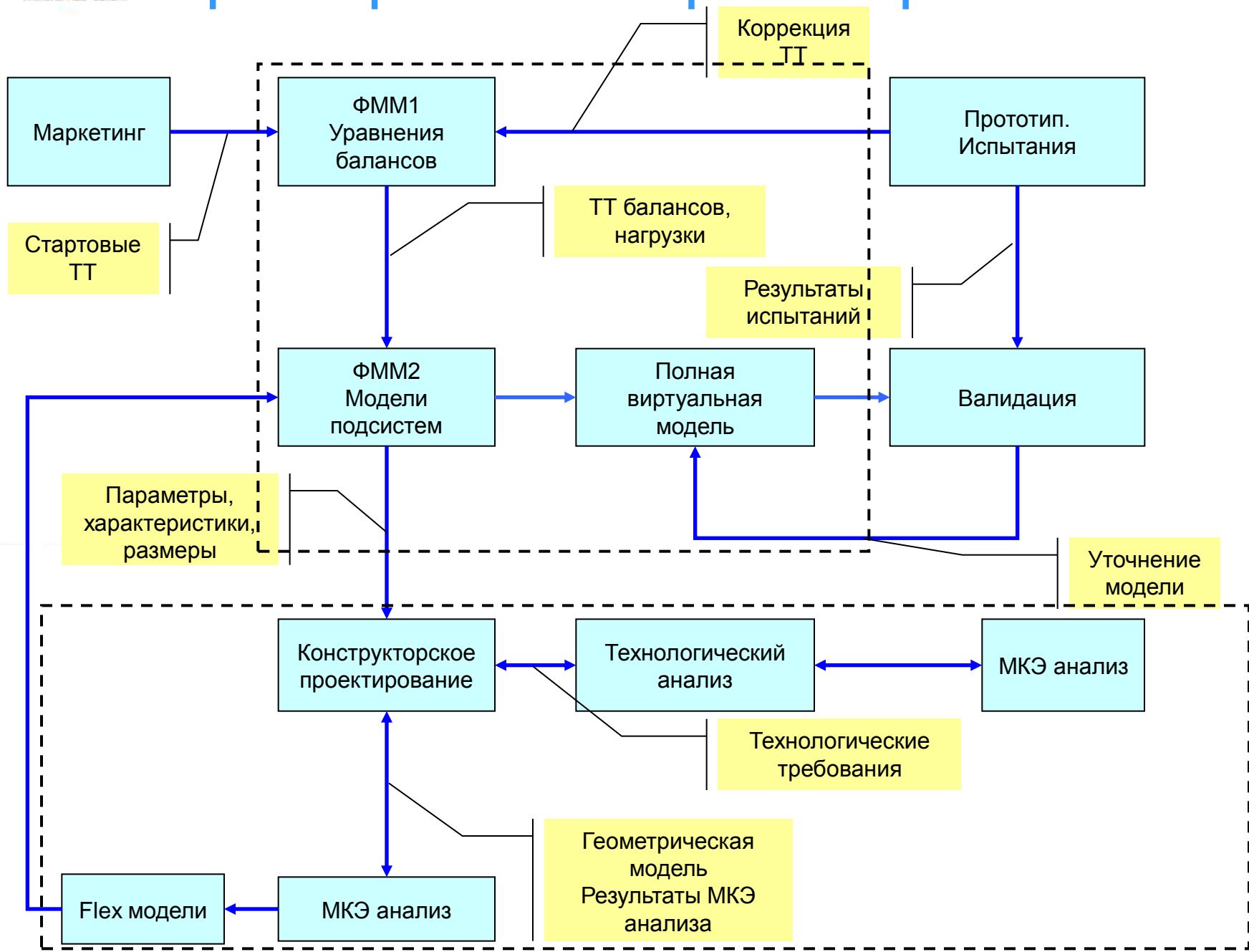
Функциональные модели 1-го и 2-го уровней



- ▶ Силовые потоки
- ▶ Электробаланс
- ▶ Баланс мощности
- ▶ Тепловой баланс
- ▶ Акустический баланс
- ▶ Массы
- ▶ Стоимость
- ▶ Технологичность
- ▶ Качество
- ▶ Интегральная оценка автомобиля

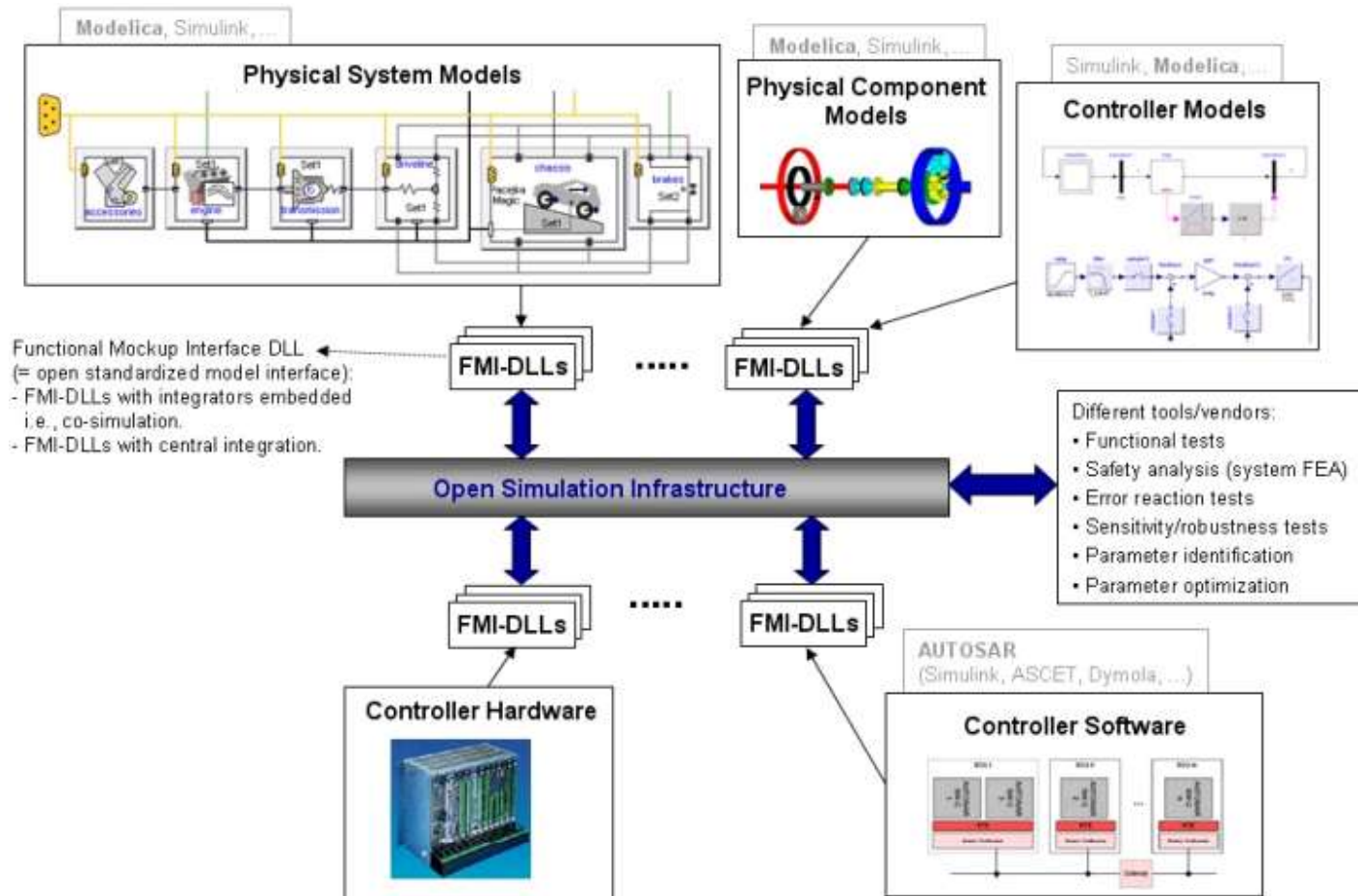


Пример схемы проектирования



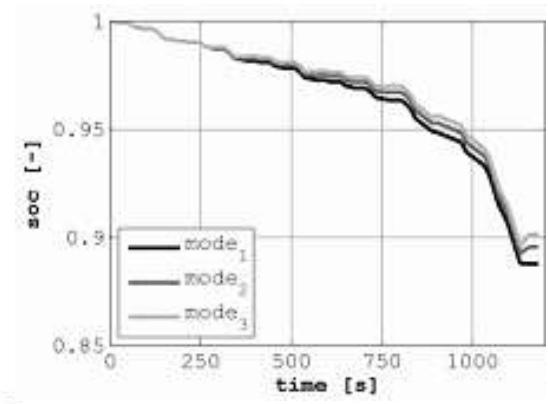
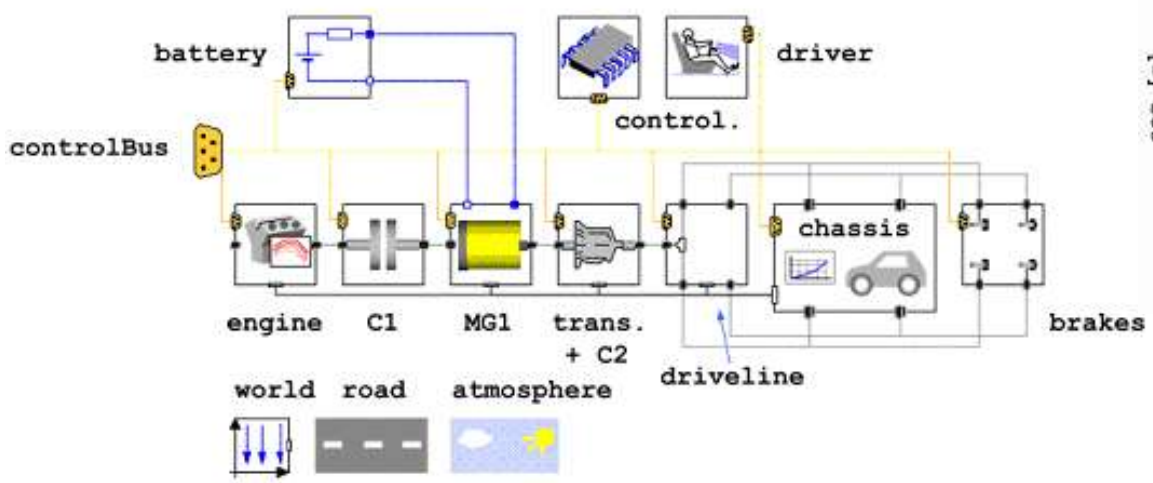
Описание моделей. Стандарты

- ▶ Язык описания моделей: Modelica
- ▶ Обобщенная схема автомобиля: Vehicle Architecture Model
- ▶ Функциональная модель: Functional Mock-up Unit (FMU)
- ▶ Интерфейс для моделей: Functional Mock-up Interface (FMI)
- ▶ Проект MODELISAR

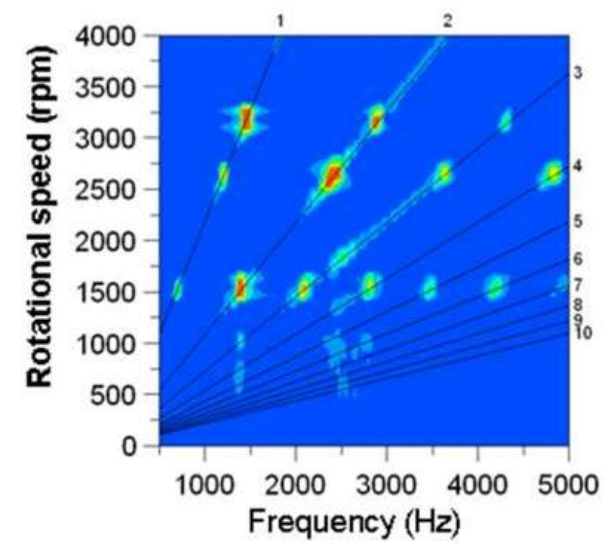
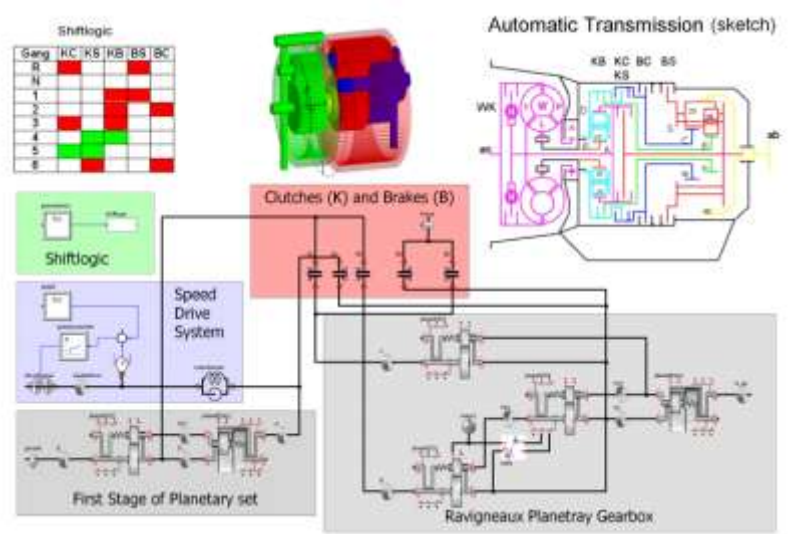


Примеры моделей разного уровня

▶ Модель гибридного автомобиля



▶ Модель АКПП



- ▶ Различные архитектуры изделия
- ▶ Состав изделия
- ▶ Правила объединения подсистем изделия в единую систему
- ▶ Математические функциональные модели разного уровня подсистем и изделия в целом
- ▶ Математические модели от поставщиков компонент или подсистем
- ▶ Параметры подсистем и системы в целом
- ▶ Критерии оценки подсистем и изделия в целом
- ▶ Ограничения для параметров и критериев
- ▶ Набор технических требований (на НИР, на НИОКР,...)
- ▶ Сценарии жизненного цикла изделия (расчетные случаи)
- ▶ Модели синтеза изделия и подсистем (постановка задач синтеза)
- ▶ Методики испытаний
- ▶ Результаты испытаний

▶ Задача анализа

- ▶ Построение математической модели изделия
- ▶ Создание набора сценариев и методик испытаний
- ▶ Расчет критериев, соответствующих стартовым ТТ на основе параметров ФММ1

▶ Задача синтеза (поиск ТТ на узлы и изделие в целом)

- ▶ Критерии оценки подсистем и изделия в целом
- ▶ Ограничения для параметров и критериев
- ▶ Набор технических требований (на НИР, на НИОКР,...)
- ▶ Модели синтеза изделия и подсистем (постановка задач синтеза)

Оценка изделия для задачи синтеза

▶ Маркетинговые критерии

- ▶ Цена
- ▶ Качество
- ▶ Масса
- ▶ Мощность двигателя
- ▶ Время разгона до 100 км/ч
- ▶ Экономичность
- ▶ ...

▶ Технические критерии

- ▶ Жесткость кузова
- ▶ Управляемость
- ▶ Уровни вибраций
- ▶ Уровни шума
- ▶ Аэродинамические параметры
- ▶ ...

Интегральный критерий ?

**Многокритериальная
задача**

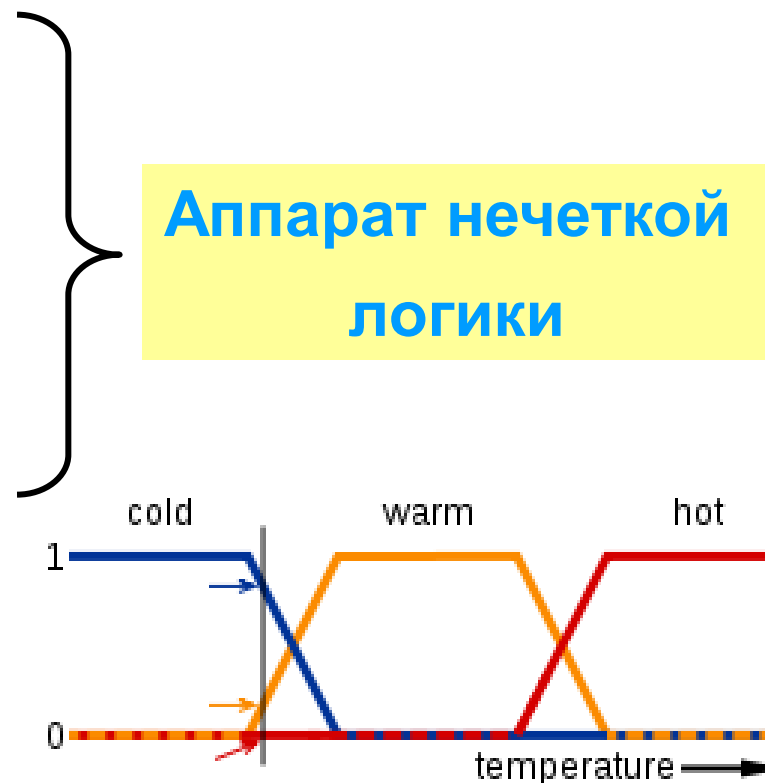
**Многокритериальные
методы?**

- ▶ **Хорошо формализуемые критерии**

- ▶ Критерии рассчитываемые по заданному алгоритму

- ▶ **Плохоформализуемые критерии**

- ▶ Человеческая оценка
- ▶ Прогнозы
- ▶ Оценки содержащие в себе неуверенность
- ▶ Критерии сочетающие в себе различные свойства



Инструменты анализа и синтеза

▶ Задачи анализа

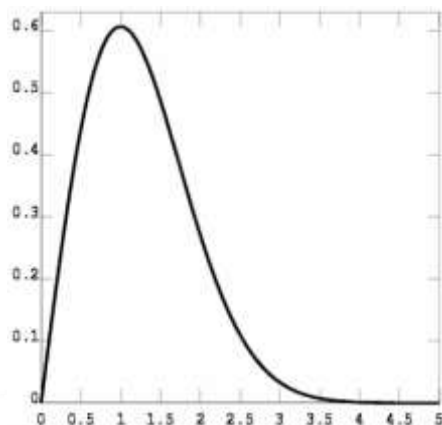
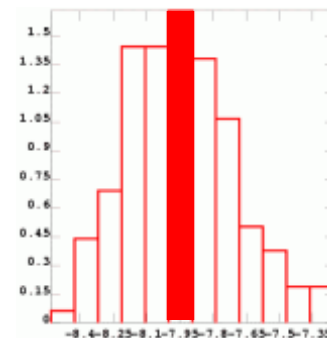
- ▶ Прямое математическое моделирование
- ▶ Анализ чувствительности
- ▶ Статистический анализ

▶ Задачи синтеза

- ▶ Оптимизация (параметрическая, топологическая,...)
- ▶ Робастная оптимизация
- ▶ Поиск множества Парето
- ▶ Кластеризация решений
- ▶ Многокритериальная оптимизация
- ▶ Поиск на И-ИЛИ дереве
- ▶ Нечеткий поиск

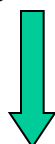
Робастная оптимизация

- уменьшение зависимости от случайных параметров
- увеличение допусков при производстве компонент
- учет разброса входных параметров

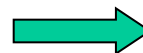


Контролируемые факторы:

- Толщины
- предел текучести

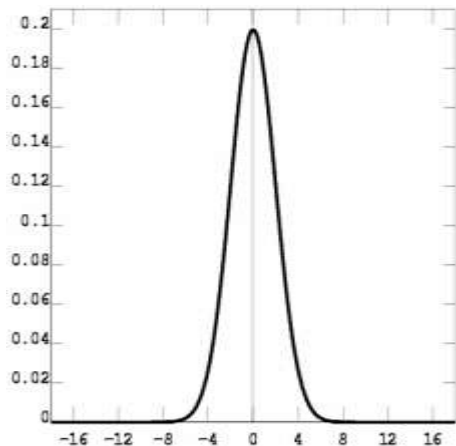
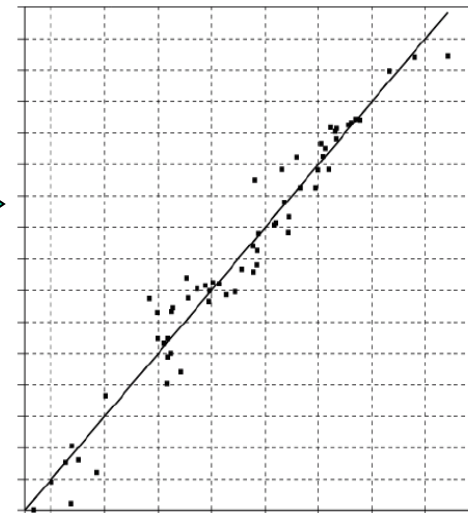
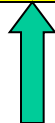


Модель



Неконтролируемые факторы:

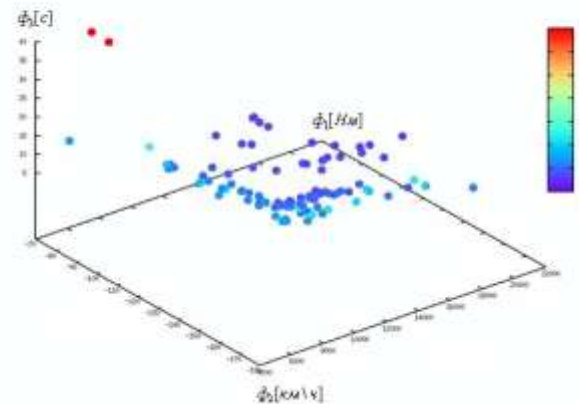
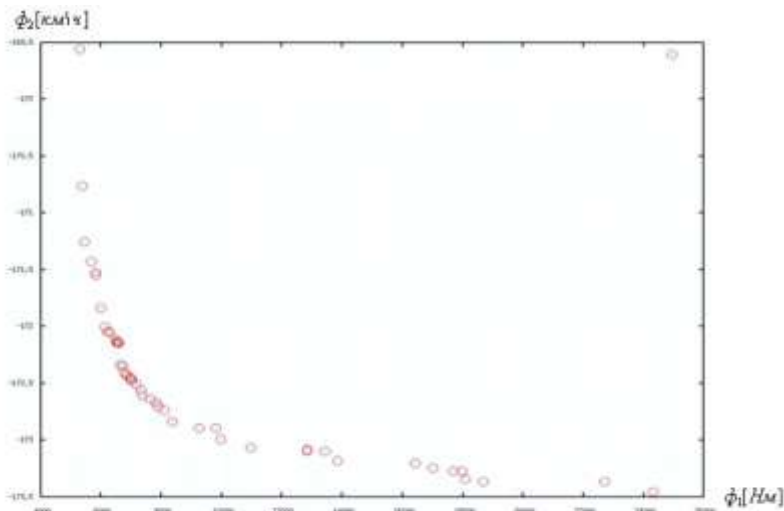
- Масса
- Скорость



▶ **Многокритериальная задача**

- ▶ Поиск наилучших решений среди альтернатив
- ▶ Решения находятся на фронте Парето

▶ **Пример для задачи проектирования трансмиссии**

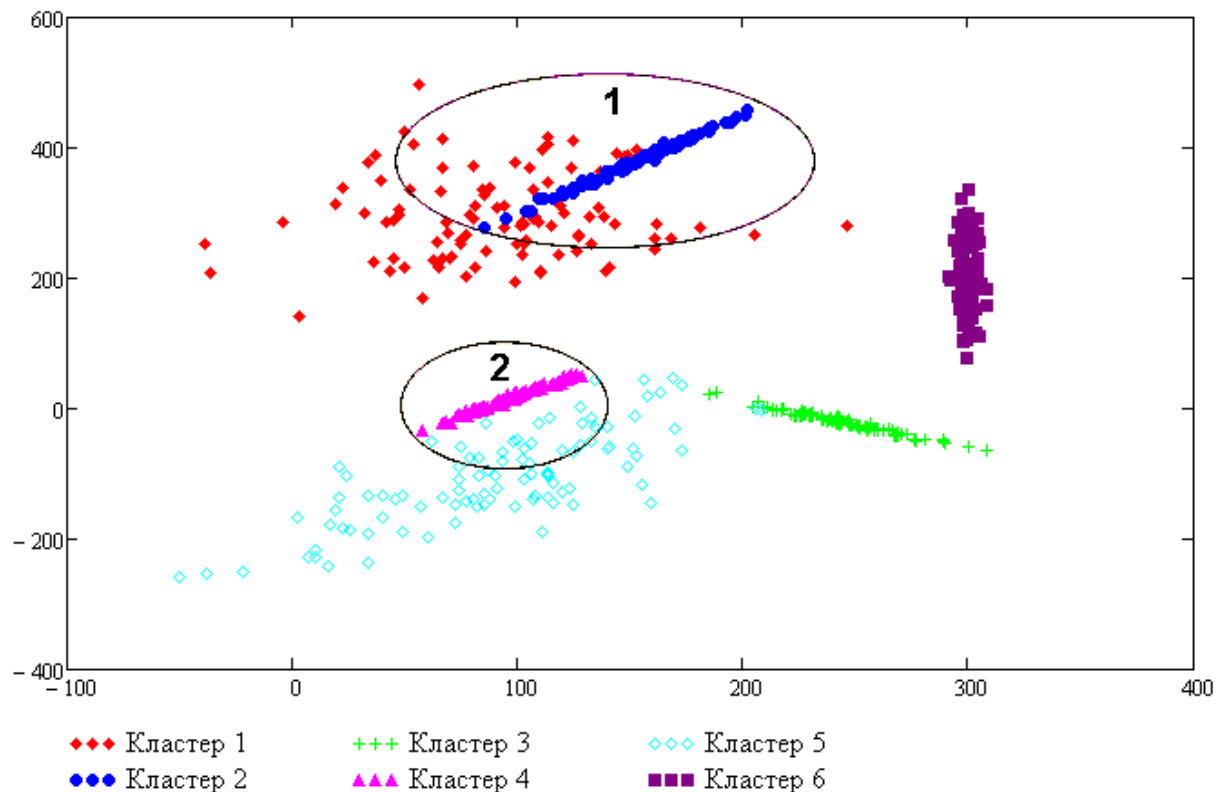


▶ Фронт Парето для критериев скорость-нагрузка

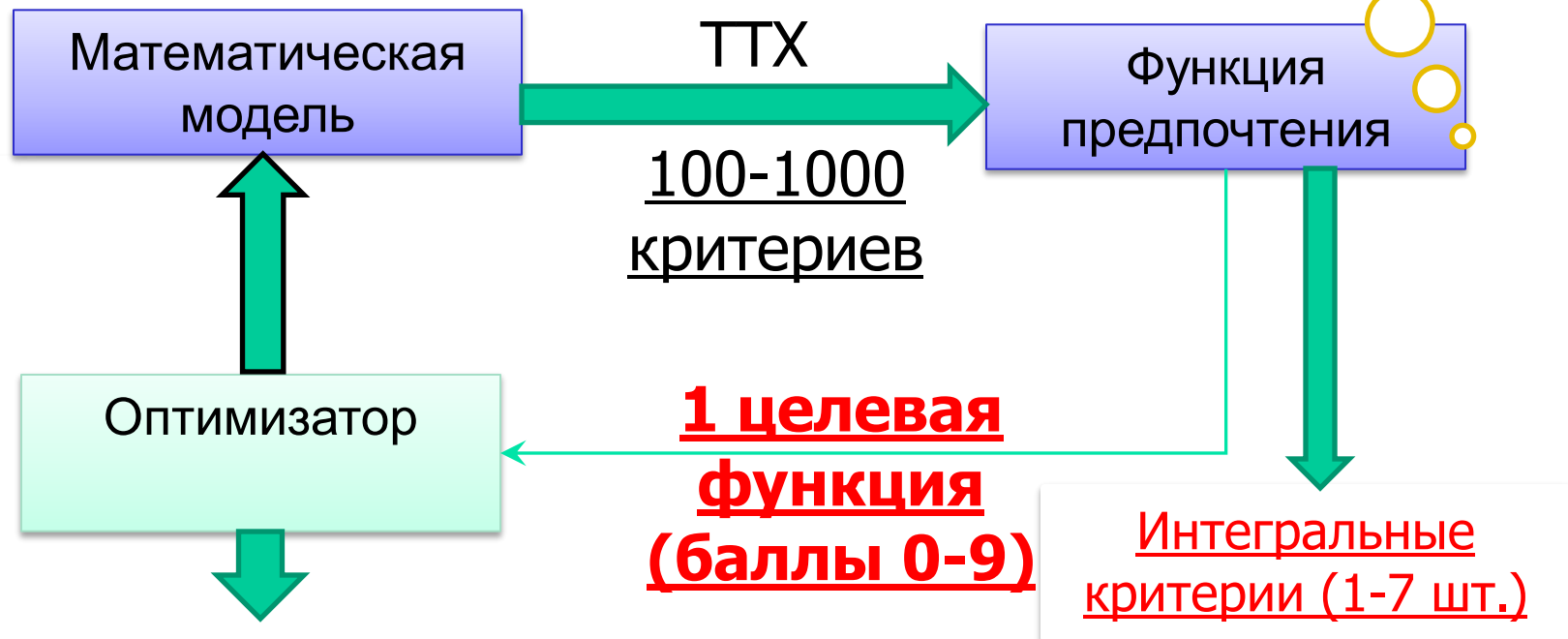
▶ Фронт Парето для критериев скорость-нагрузка-время разгона

▶ Кластерный анализ

- ▶ Группировка решений (например, после поиска множества Парето)
- ▶ Формирование базового семейства (на основе центра группы)
- ▶ Поиск закономерностей среди решений



- ▶ Методы свертки
- ▶ Минимаксные методы
- ▶ Методы иерархий
- ▶ Методы с участием эксперта
- ▶



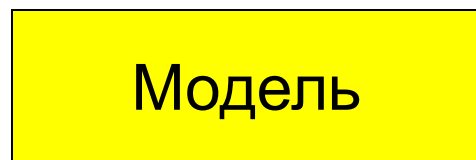
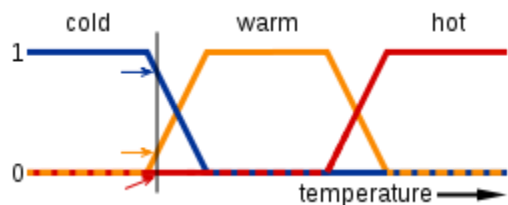
Поиск на И-ИЛИ дереве

- ▶ Представление изделия в виде И-ИЛИ дерева
- ▶ Представление модификаций изделия
- ▶ Генерация различных вариантов представления изделия
- ▶ Комбинаторный поиск оптимальных вариантов изделия

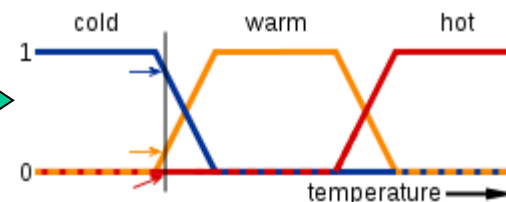


- ▶ Расчет нечетких критериев на основе нечетких параметров
- ▶ Поиск требуемой нечеткости параметров для получения требуемых нечетких критериев

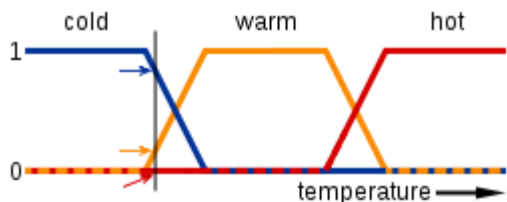
Контролируемые факторы



Нечеткие критерии

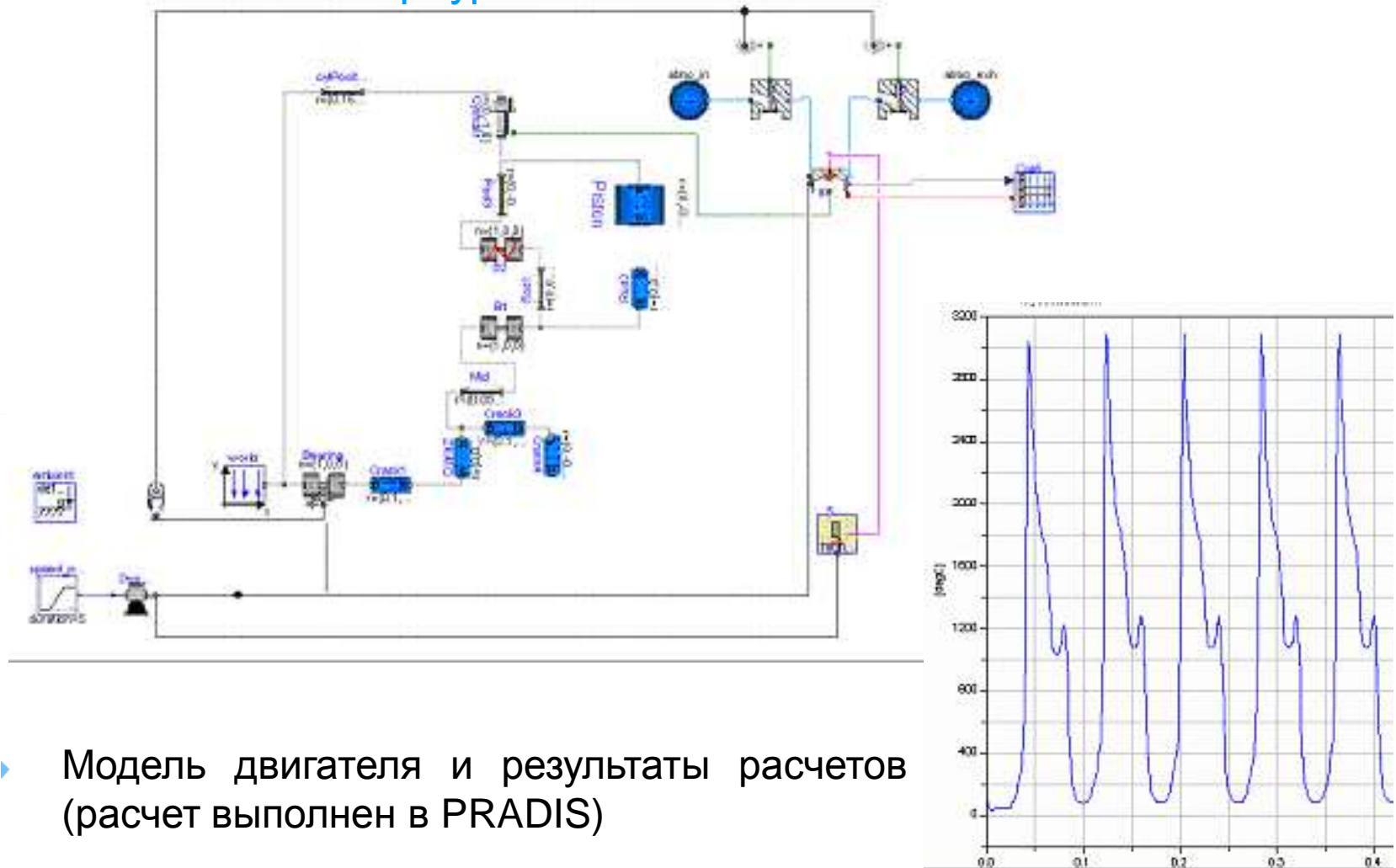


Неконтролируемые факторы



Пример задачи с разным уровнем моделирования

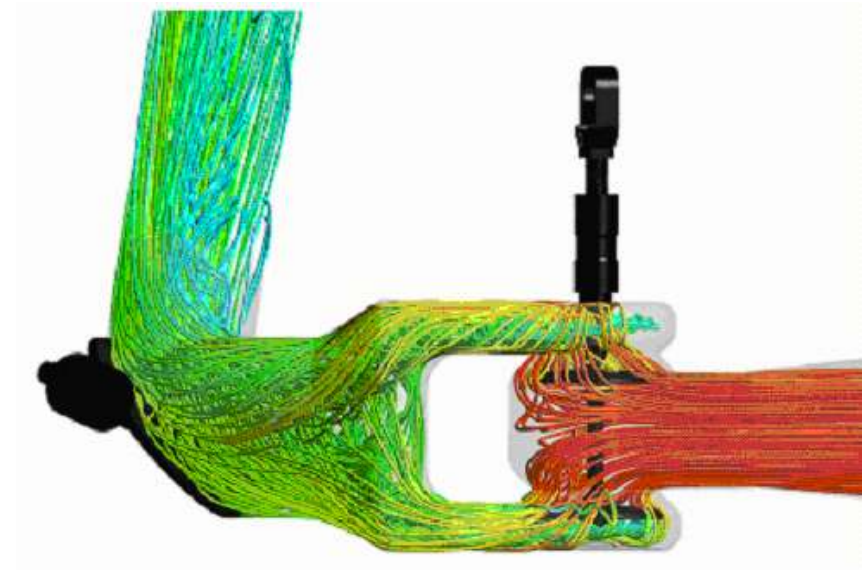
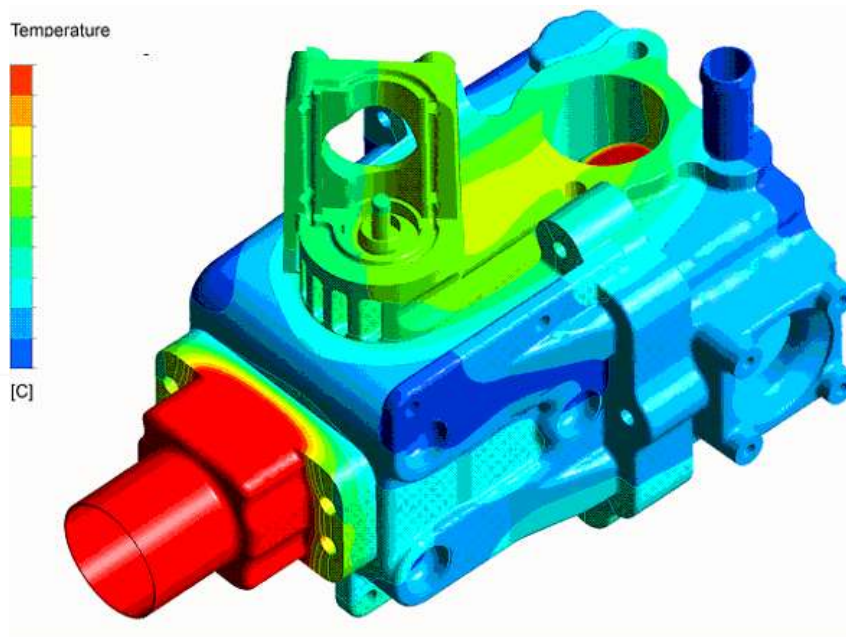
- ▶ Двигатель внутреннего сгорания на функциональном уровне
- ▶ Решение на макроуровне



- ▶ Модель двигателя и результаты расчетов (расчет выполнен в PRADIS)

Пример задачи с разным уровнем моделирования

- ▶ Система рециркуляции выхлопных газов (EGR)
- ▶ Решение на микроуровне



- ▶ Модель EGR модуля (сопряженный теплообмен и моделирование газовых потоков)

БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ

ООО «Ладуга»

ОТ ЧИСЕЛ К ЗНАНИЯМ