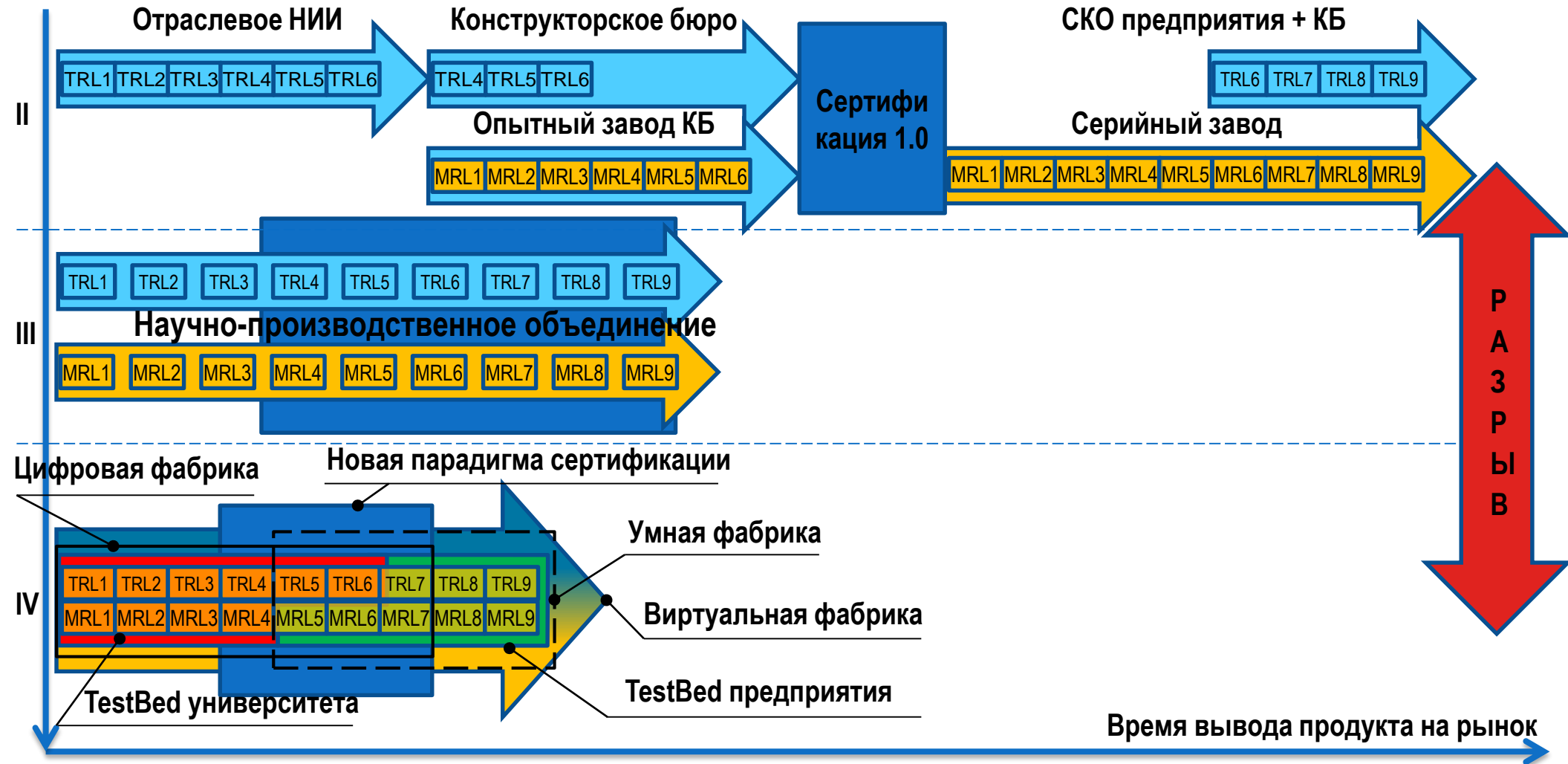


# Создание цифровой платформы Фабрики будущего для проектирования грузовой автомобильной техники

**Келлер Андрей Владимирович**



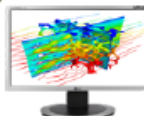
# Переход к IV индустриальному укладу



# Концепция Фабрик Будущего

## (ЦИФРОВАЯ) Digital Factory

Проектирование и управление жизненным циклом продукта, включая новую парадигму сертификации



## («УМНАЯ») Smart Factory

Гибкое (быстро перенастраиваемое) производство и массовая кастомизация



## (ВИРТУАЛЬНАЯ) Virtual Factory

Создание ценности, глобальное сетевое производство и логистика



Планирование изделия  
Product Planning

Проектирование изделия  
Product Design

Планирование производства  
Production Planning

Пусконаладочные работы  
Rampup

Серийное производство  
Production

Эксплуатация  
Use of Product

Сервисное обслуживание  
Service

### Технологии:

- Цифровое проектирование и моделирование (CAD/CAE/HPC/CAO/CAM/CAAM/PDM/PLM)
- Новые материалы и конструкции, включая сертификацию
- Аддитивные и гибридные технологии
- CNC-технологии
- Big Data (управление расчетными данными)

### Эффекты:

- Сокращение числа ошибок при проектировании
- Сокращение переделок и производственных отходов
- Сокращение срока вывода продуктов на рынок

### Продукт:

- DMU (цифровой макет)
- Опытный образец и/или мелкая серия

### Уровень готовности технологий:

- TRL 1 – TRL 9
- MRL 1 – MRL 10

### Технологии:

- Цифровое проектирование и моделирование (CAD/CAE/HPC/CAO/CAM/CAAM/PDM/PLM)
- Новые материалы и конструкции, включая сертификацию
- Аддитивные и гибридные технологии
- CNC-технологии
- Промышленные роботы
- MES- и ICS-системы
- Сенсорика
- Индустриальный Интернет
- Big Data

### Эффекты:

- Сокращение отхода- и энергоемкости производства
- Повышение производительности
- Сокращение предпусковых / предостановочных операций

### Продукт:

- Серийное изделие

### Уровень готовности технологий:

- TRL 4 – TRL 9
- MRL 4 – MRL 10

### Технологии:

- Цифровое проектирование и моделирование (CAD/CAE/HPC/CAO/CAM/CAAM/PDM/PLM)
- Новые материалы и конструкции, включая сертификацию
- Аддитивные и гибридные технологии
- CNC-технологии
- Промышленные роботы
- MES- и ICS-системы
- Сенсорика
- Индустриальный Интернет
- Big Data
- Информационные системы управления предприятием (ERP, CRM, SCM...)

### Эффекты:

- Повышение добавленной стоимости продуктов
- Увеличение занятости
- Прозрачность цепочек поставок
- Защита интеллектуальной собственности

### Продукт:

- Цепочка поставщиков
- Опытный образец и/или мелкая серия
- Серийное изделие

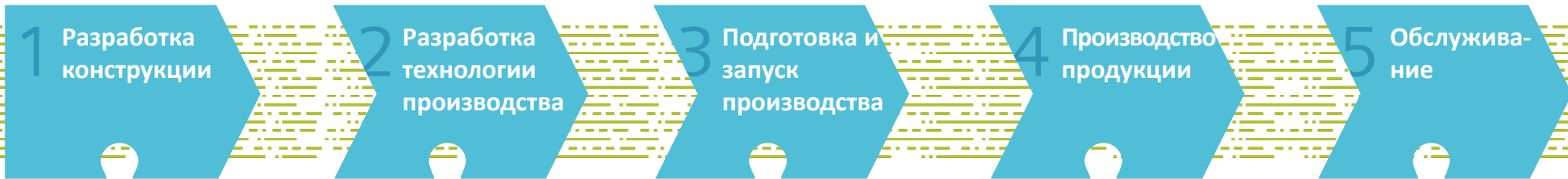
### Уровень готовности технологий:

- TRL 1 – TRL 9
- MRL 1 – MRL 10

**Требуется объединить и перевести в цифровой вид,  
всю цепочку создания изделия**



**Требуется объединить и перевести в цифровой вид,  
всю цепочку создания изделия**



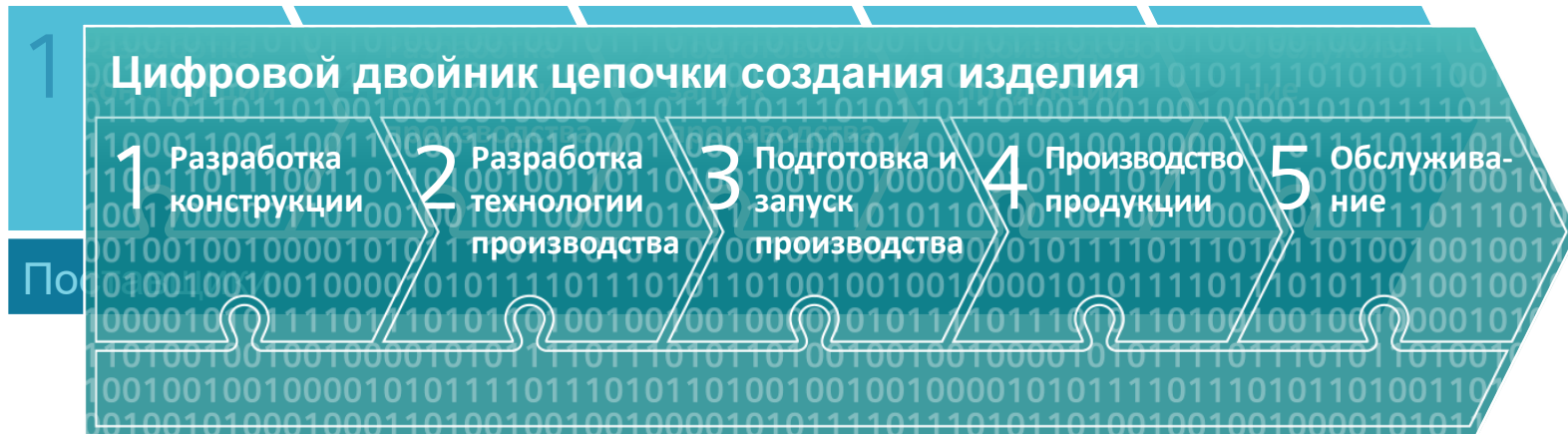
# Реализовать комплексный подход на протяжении всего жизненного цикла изделия

## Управление данными о жизненном цикле изделия

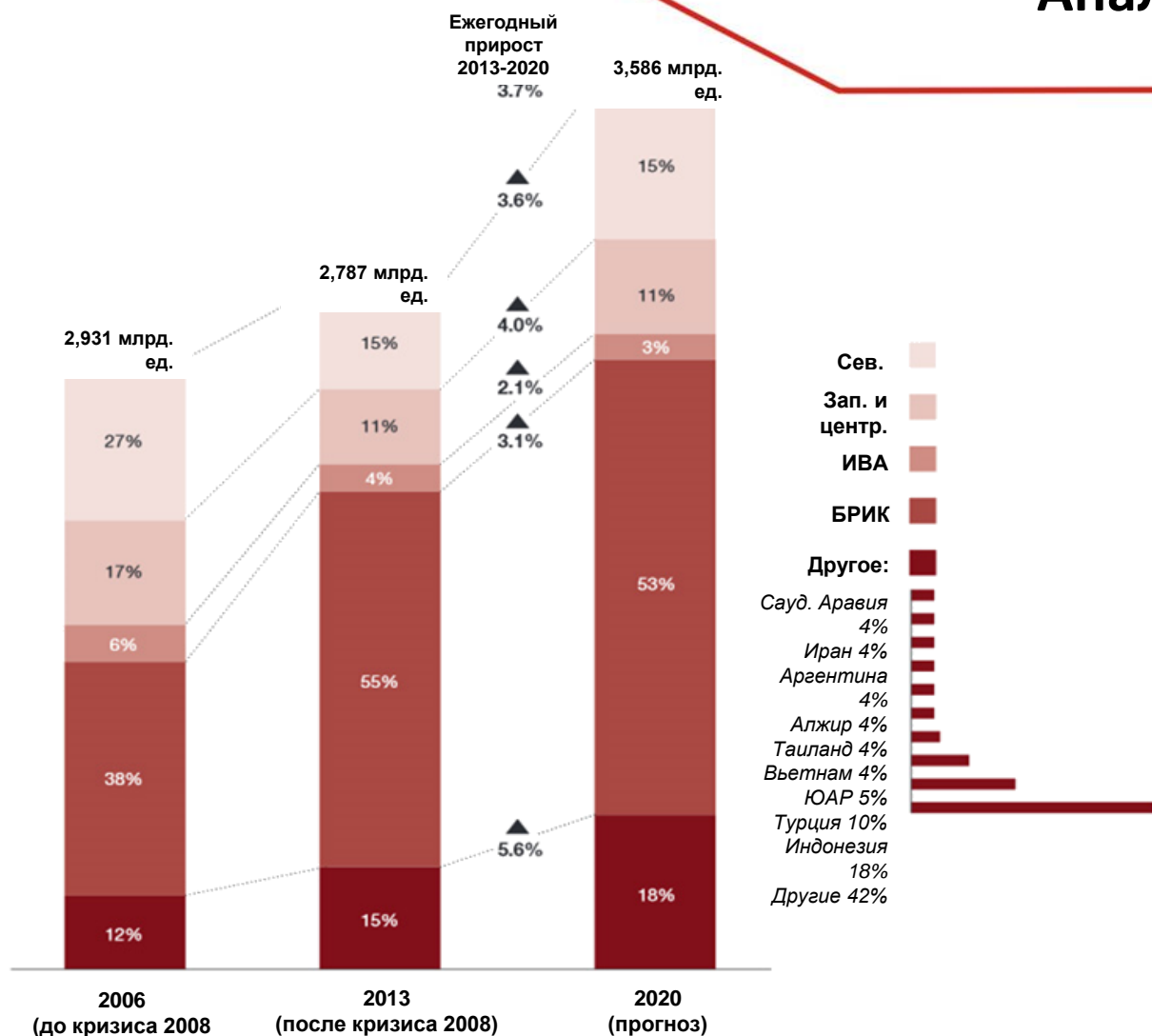


# Объединяя виртуальный и реальный мир по цепочке создания изделия

## Управление данными о жизненном цикле изделия



# Анализ развития мирового рынка



**Тренды рынка грузовиков с массой более 6 т до 2020 г.**

Ежегодный прирост рынка на 4-5%

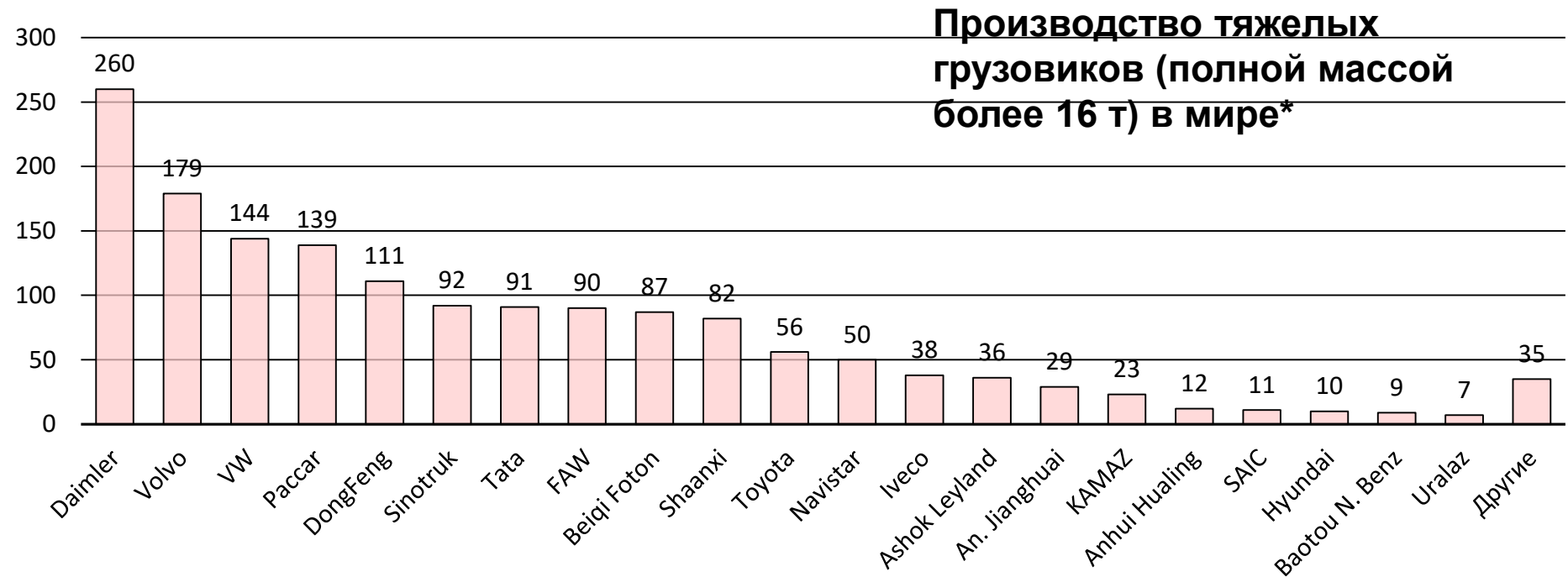
Доля рынка развивающихся стран БРИКС – не менее 50%

Общий объем рынка к 2020 г – более 3,5 млн. единиц

Примечания: ИВА – индустриализированная восточная Азия (Гонг-Конг, Япония, Сингапур, Южная Корея и Тайвань)

Источник: PwC (2014 г.)

# Анализ развития мирового рынка



\*источник: The Global Truck Industry, 2016 edition, Automotive Reports Ltd

## Объем мирового рынка тяжелых грузовиков (полной массой 16 т и выше):

В 2015 г. более **1,7 млн.** шт. (из них магистральных тягачей ≈ 450 тыс. ед.)

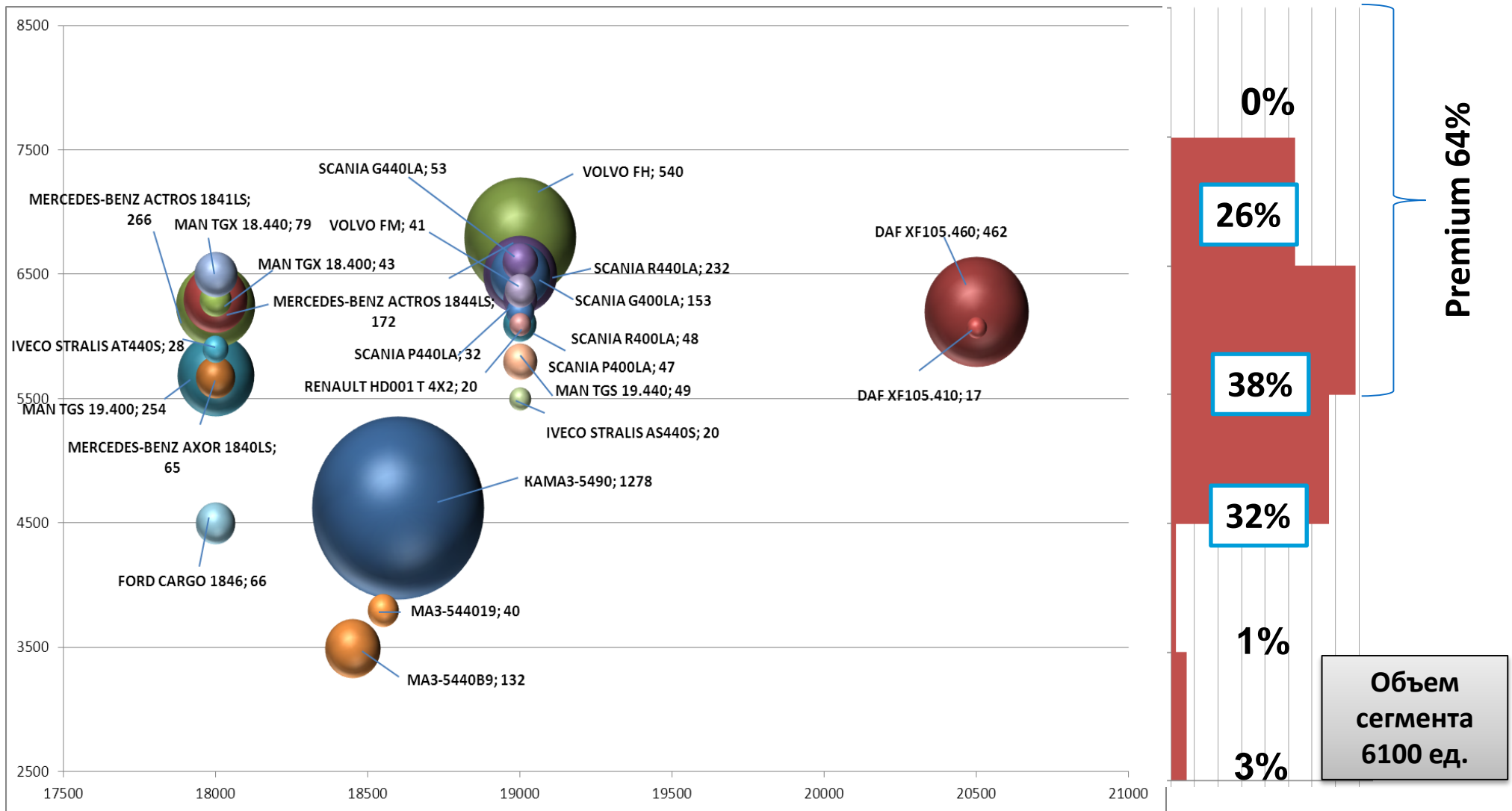
При сохранении общего тренда роста рынка грузовиков, объем рынка магистральных тягачей составит около **540 тыс. шт.**, из них премиальный сегмент – не менее 380 000 тыс. шт. (2,8 трлн. руб.)

# ОСНОВНЫЕ КОНКУРЕНТЫ И АНАЛОГИ

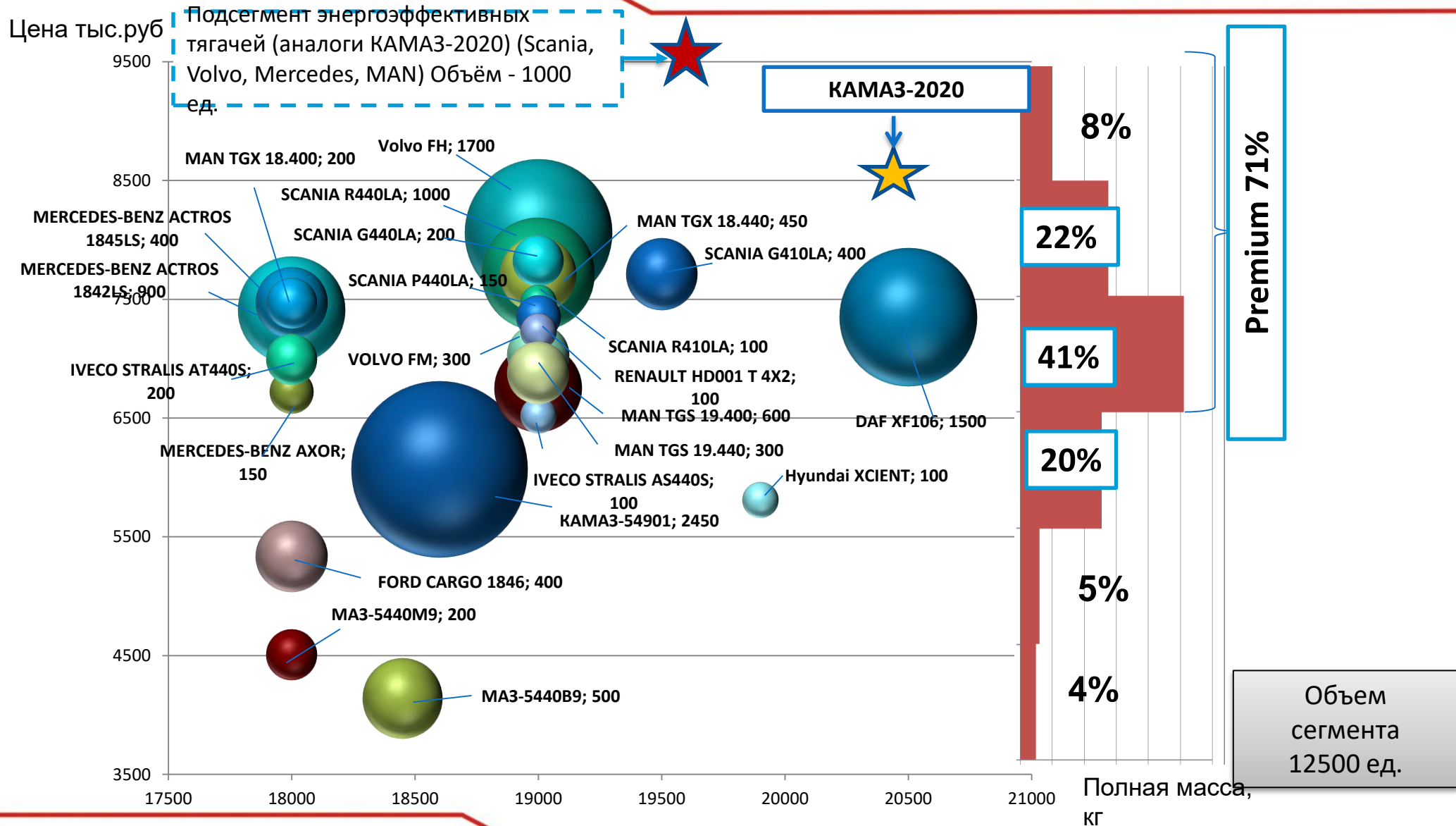


| Конкуренты/Аналоги  | Сильные стороны   | Недостатки  |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Volvo FH</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Энергоэффективный ДВС</li> <li>Интеллектуальная КПП</li> <li>Оптимизированное шасси</li> <li>Аэродинамический пакет кабины и полуприцепа</li> <li>Комфортабельность и высокая защищенность места водителя</li> <li>Интеллектуальные системы помощи водителю</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Цена</li> <li>Высокая ТСО (дорогие запасные части и комплектующие)</li> <li>Высокие требования к качеству топлива</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><b>Предпосылки для экспансии на мировой рынок</b></p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Scania R440LA</li> </ul>               |   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Mercedes-Benz Actros 1845LS</li> </ul> |   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>MAN TGX 18.440</li> </ul>              |   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>DAF XF 106</li> </ul>                  |   |   |

# Анализ развития мирового рынка



# Анализ развития мирового рынка



# Мировые тренды в области МСТ



## Nikola One

- Грузовой автомобиль полностью на электрической тяге;
- Мощность - 2000 л.с.;
- Батареи ёмкостью 320 кВт;
- Рекуперативное торможение;
- Зарядка батарей от турбины;
- Снижение расходов на топливо на 50%.



## Freightliner Supertruck

- Повышение энергоэффективности (за счет снижения удельного расхода топлива на 50%);
- Снижение аэродинамического сопротивления на 54%;
- Применен энергоэффективный ДВС (Detroit Diesel 375 л.с.) в купе с электродвигателем в 120 кВт;
- Односкатные шины с низким сопротивлением качению;
- Снижение снаряженной массы – алюминиевые диски, корпусные детали из углепластика и т.д.



## Mercedes Future Truck 2025

- Применена функция автопилотирования (Highway Pilot);
- Интерьер с широким функционалом;
- Снижение аэродинамического сопротивления.

### Выводы:

1. Основным направлением в разработке грузовых автомобилей является снижение эксплуатационных расходов за счёт повышения энергоэффективности а/м;
2. Вторым важным направлением является увеличение безопасности на дорогах путем применения современных систем помощи водителю (ADAS).

# Описание разрабатываемого продукта

**Продукт – энергоэффективный магистральный седельный тягач премиум-класса  
(колесная формула 4х2)**



## Ключевые преимущества:

- Существенно превосходит существующие отечественные аналоги по энергоэффективности (до 40%), безопасности, комфорту и эргономике рабочего места водителя.
- Имеет существенно меньшую стоимость по сравнению с зарубежными аналогами (на 20%).
- Адаптация к условиям российских дорог.

## Характеристики:

- Энергоэффективный ДВС;
- Гибридная автоматическая КП;
- ADAS системы уровня Highway Pilot+умная фара;
- Система контроля состояния водителя;
- Аэродинамический пакет кабины и полуприцепа;
- ЭГУР + электронасос ЭГУР;
- Ведущий гипоидный мост с откачкой масла.



**Расход топлива: 20 л/100 км;  
Стоимость: 7850 тыс. руб./ед.**

**Цифровая платформа фабрики будущего** – основа, связывающая воедино бизнес-процессы разработки и проектирования автомобильной техники нового поколения. Цифровая платформа имеет следующие характеристики:

- 1. Матрица потребительских и законодательных требований** к автомобилю. Последующее развертывание требований в перечень соответствующих функциональных характеристик изделия в целом и требований к подсистемам и агрегатам.
- 2. Мультидисциплинарные, многомасштабные функциональные модели автомобиля** (основа **М<sup>3</sup>-концепции**) трех уровней детализации, применяемые, начиная с ранних этапов проектирования: автомобиль в целом, основные системы автомобиля, основные агрегаты и подсистемы автомобиля. Методика взаимной интеграции моделей и каскадирования (определения) требований при повышении уровня детализации.
- 3. Трансформация существующей традиционной PLM-системы** предприятия в соответствии с современными вызовами инновационной экономики знаний за счет комплексного применения компонентов из пп. 1-2:
  - *синтез и многокритериальная оптимизация* систем автомобиля под заданные требования (принцип предсказательного инжиниринга); требования – из п.1, модели из п.2;
  - *реализация концепции многовариантных и многомодельных расчетов* с привлечением суперкомпьютерных технологий (**НРС-концепция**) для параллельного решения задач проектирования и кардинального ускорения сроков проектирования;
  - *конкурентное проектирование (Concurrent Engineering)*, заключающееся в совместной работе специалистов из различных функциональных подразделений на как можно более ранней стадии проектирования изделия (грузового автомобиля);

- *расширенное применение виртуальных испытаний (виртуальный цифровой полигон, начиная с начальных этапов проектирования и цифровая сертификация), разработка цифрового полигона грузовых автомобилей*
- *реализация концепции инжиниринга за гранью интуиции главного конструктора (**simulation-based design**), являющейся синергетическим результатом применения концепций, отмеченных выше. Соответствующая минимизация количества натурных испытаний и многократное снижение количества доработок при выходе на серийное производство.*
- *повышение качества и автоматизация проекторочных расчетов на начальных этапах проектирования (автоматизированные **CAE (FEA) для конструкторов**), позволяющие дополнительно снизить сроки разработки новой продукции.*

#### 4. **Высокая степень достоверности расчетов и моделирования:**

- *масштабное интегрирования в PDM-среду результатов испытаний и инженерных расчетов, в том числе по характеристикам материалов;*
- *разработка методик, формирование программно-аппаратной базы для проведения необходимых натурных испытаний с целью наполнения функциональных моделей достоверными данными и их валидации;*
- *проведение цикла испытаний по получению предварительных статистических данных о режимах движения и уровнях нагрузок в реальных условиях эксплуатации магистральных седельных тягачей в РФ.*

# Схема реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

Обратный параллельный инжиниринг и многокритериальная оптимизация на начальных этапах проектирования

\*Основные концепции – Simulation-based design, PEA, Concurrent engineering, HP\*C, M<sup>3</sup>



# Схема реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

Стадии  
моделирования

Требования

Система

Опытный образец

Функциональная

Моделиров



Подсистема

Калибровка  
Верификация

Multi-Physics

Систем  
ная  
интегра  
ция

Система интеллектуального  
моделирования

Электр  
онная  
интегра  
ция

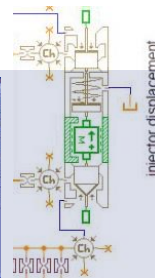
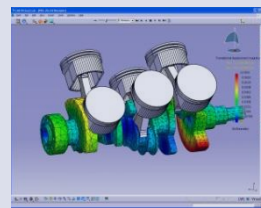
Подсистемная

Компонент

Валидация

Sub-systems  
Internal Combustion Engine  
Fuel Injection - VVA  
Transmission  
Thermal Management  
Braking  
Suspension  
Steering  
Vehicle Dynamics  
Electrical Components and Systems  
Energy storage

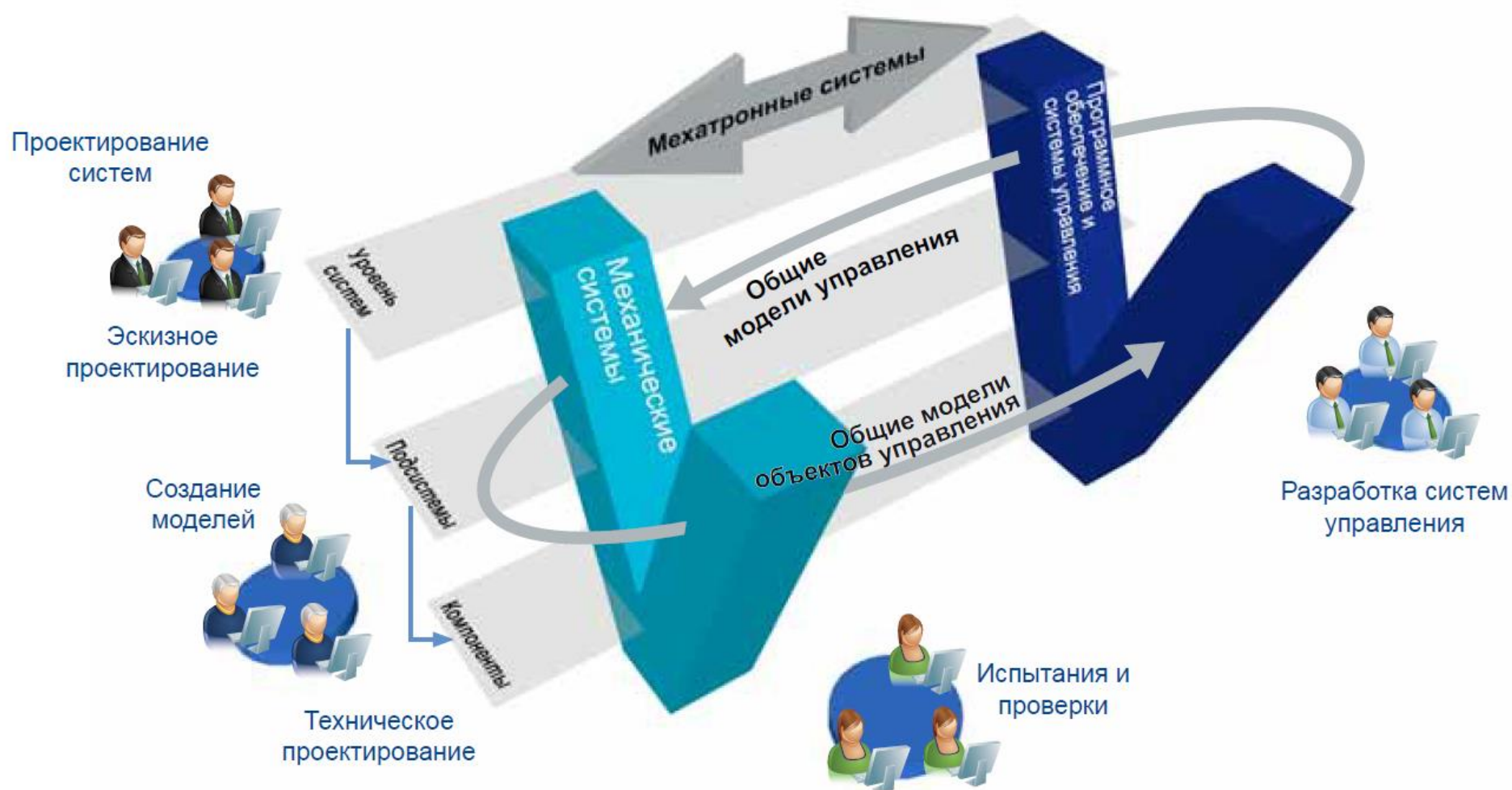
Компонентная



Real-Time

Time

# Схема реализации цифровой платформы Фабрики Будущего



# Схема реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

## I. Цифровое макетирование

- Начальный этап проектирования
- 1D-модели разнородных систем (LMS, Matlab Simulink)
- Экспресс-сравнение, выбор лучших конструкторских решений



## II. CAD моделирование

- Основной этап проектирования
- Создание 3D модели, компоновка изделия (Siemens NX, CREO Parametric и др.)
- Разработка РКД (цифровой)



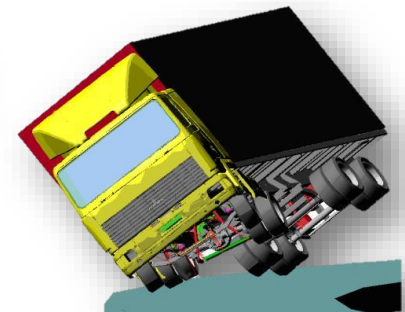
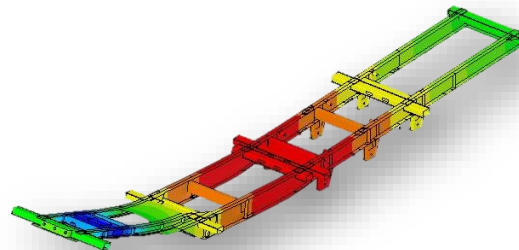
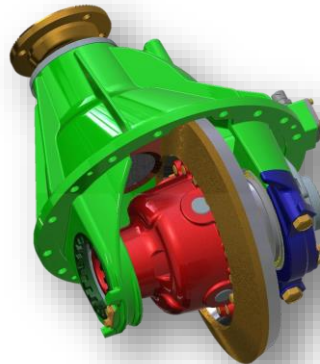
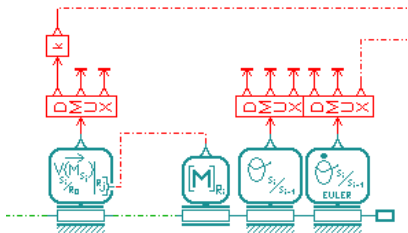
## III. CAE моделирование

- Проверочные расчеты
- Численное моделирование: механика, гидро-, газодинамика и т.д. (ANSYS, LS-DYNS, KISSsoft, LMS и т.д.)



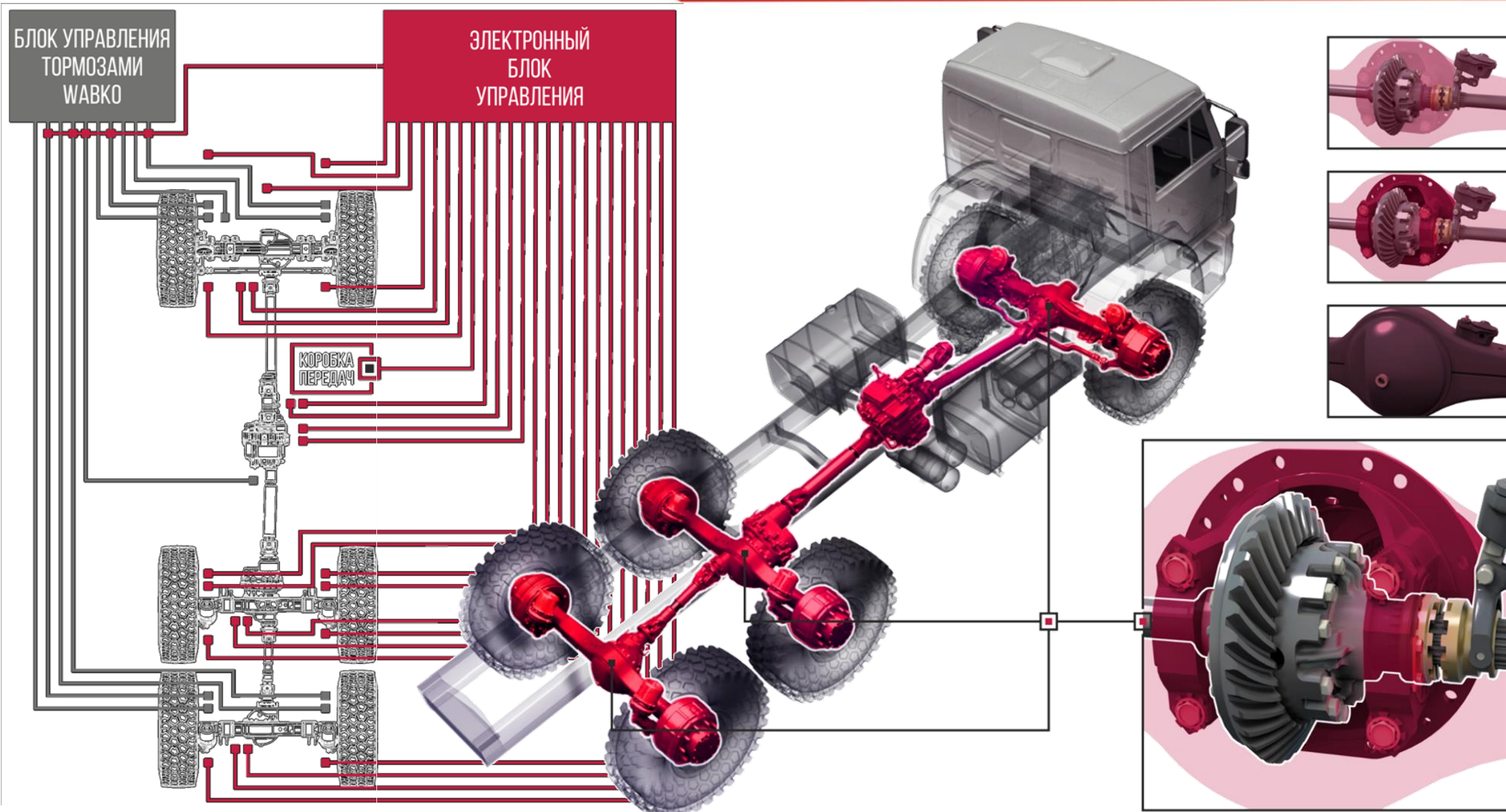
## IV. Полунатурные испытания

- Отработка систем управления
- Комплексные проверки работоспособности изделия
- Исключение значительных объемов натурных испытаний





# Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

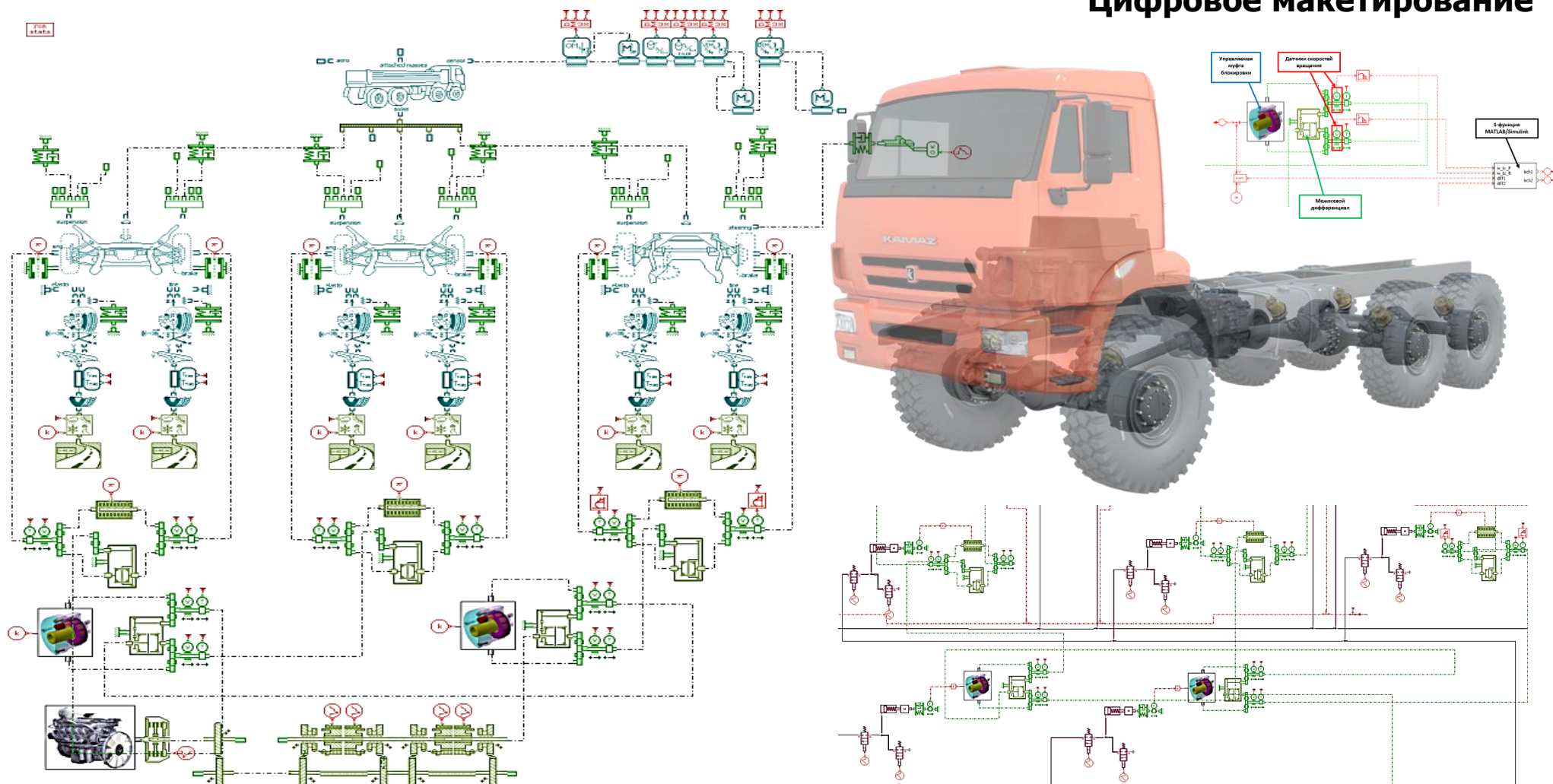


**Разработка научно-технических решений  
по управлению распределением мощности  
в трансмиссиях грузовых автомобилей**



# Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

## Цифровое макетирование



**Разработка научно-технических решений  
по управлению распределением мощности  
в трансмиссиях грузовых автомобилей**

# Оптимизация систем первого уровня (направления исследований)

**Задача оптимизации параметров распределения мощности, плавности хода, устойчивости и управляемости автомобиля**

**Целевая функция** – максимальная средняя скорость движения по типовому маршруту, реализованному в соответствии с отечественными и международными стандартами на плавность хода, устойчивость и управляемость транспортных средств



## Параметры :

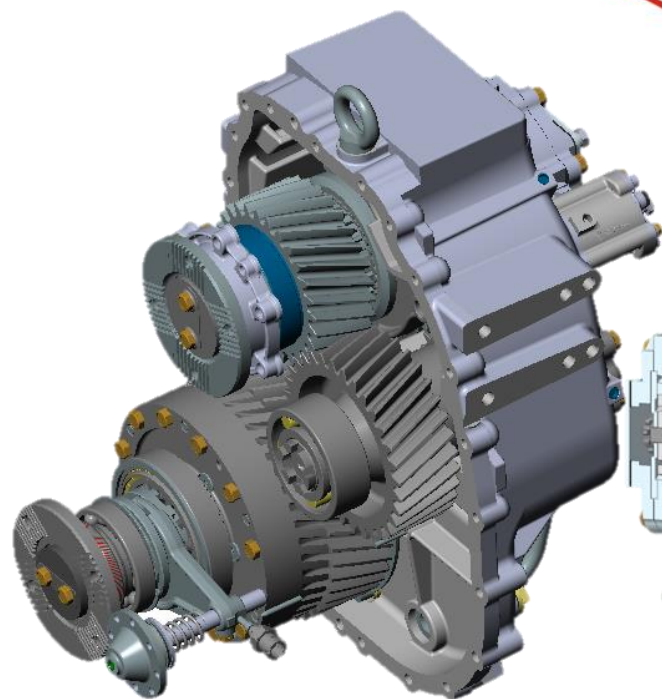
- база автомобиля;
- жесткость подвески;
- демпфирование
- кинематика подвески и т.д.

## Ограничения :

- габариты и компоновка;
- грузоподъемность;
- тип подвески;
- колесная формула и т.д.

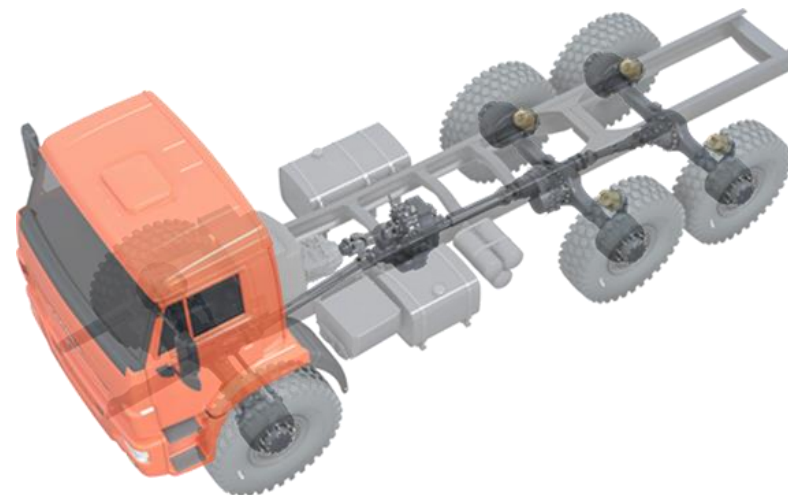
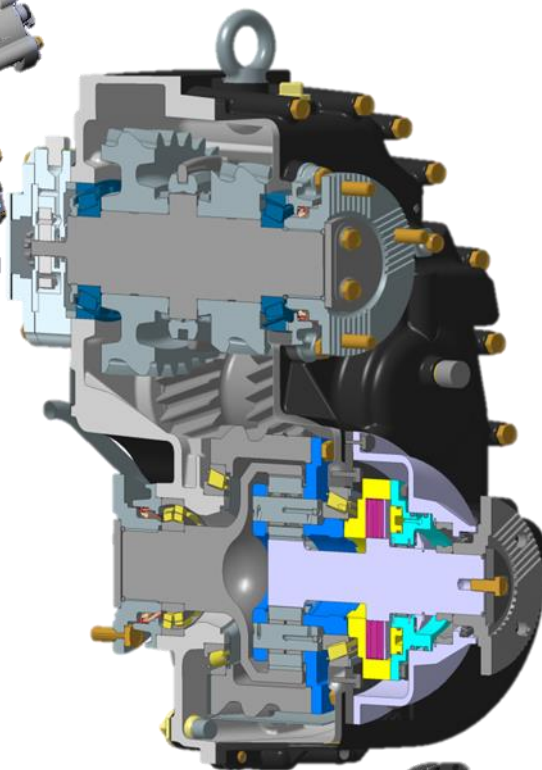


# Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего



## CAD моделирование

Создание 3D модели,  
компоновка моста,  
конструкторская проработка с  
учетом технологических  
возможностей - Siemens NX,  
**использование  
полученных свойств  
материалов**



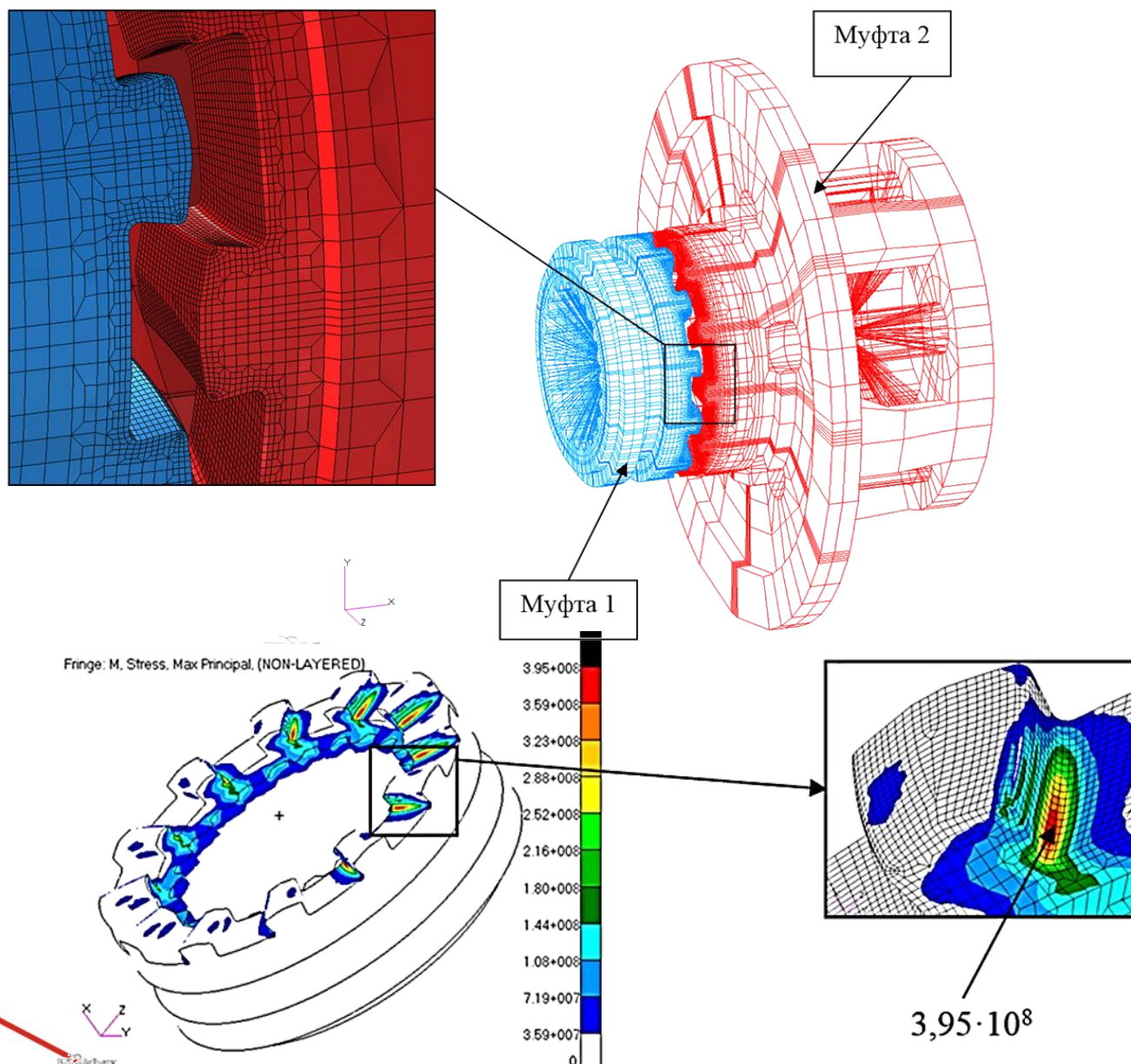
**работка научно-технических решений  
по управлению распределением мощности  
в трансмиссиях грузовых автомобилей**



# Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

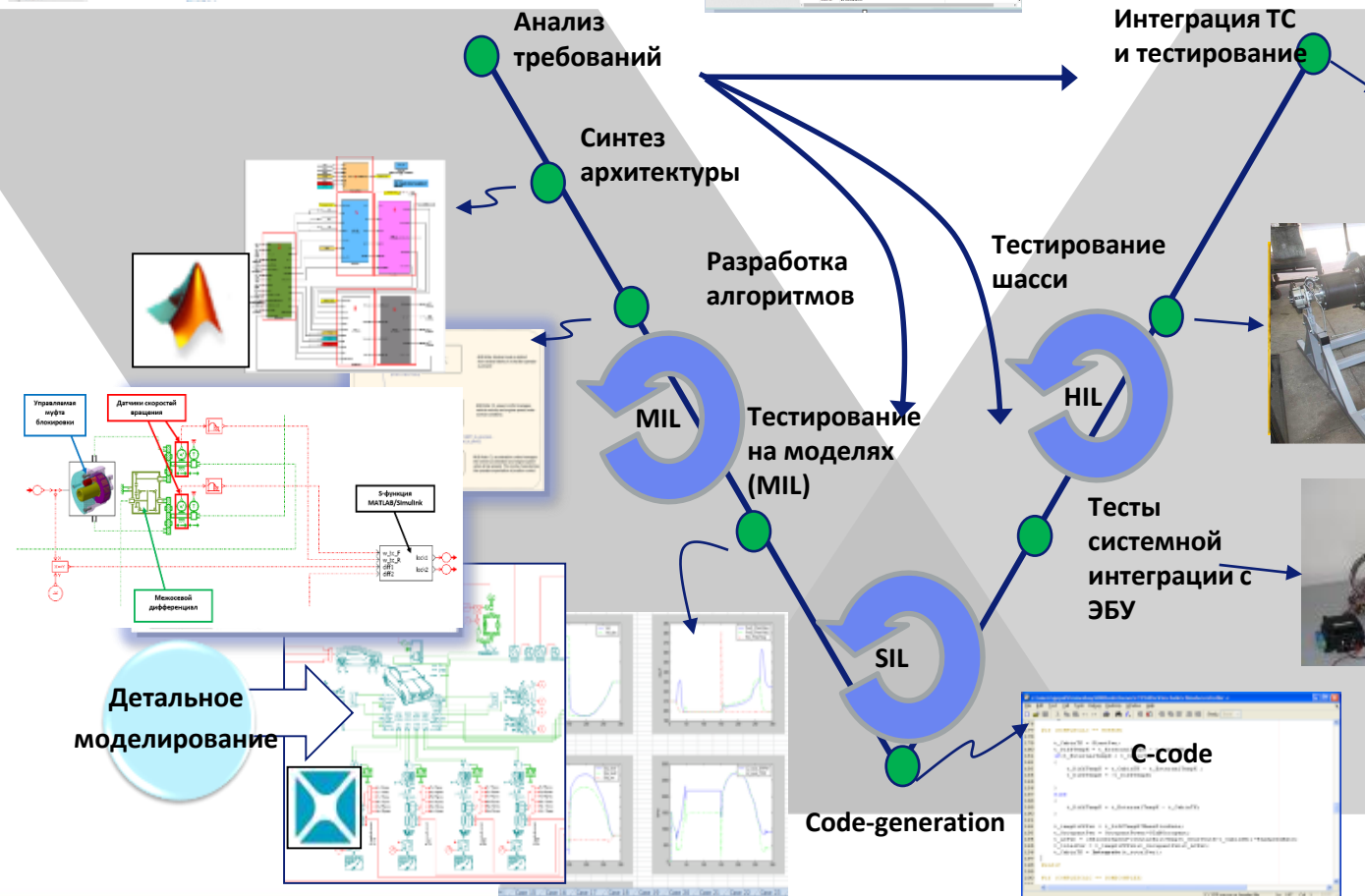
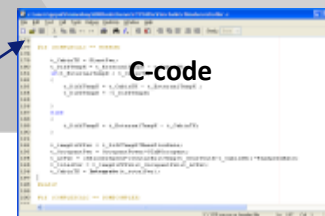
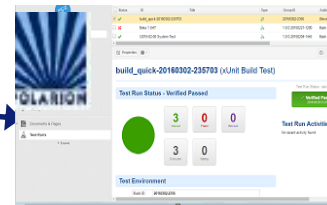
## CAE моделирование

Расчеты прочности, долговечности картеров, элементов трансмиссии – ANSYS, KISSsoft, MATLAB





# Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего



Полный цикл разработки: от определения требований и разработки тестовых примеров, до разработки алгоритмов управления, в том числе V & V, проведения полунатурных испытаний HiL, и испытаний на готовом автомобиле.



## Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

### Полунатурные испытания

Оценка работоспособности и отработка алгоритмов управления на переходных режимах - LMS Imagine.Lab и Virtual.Lab + MATLAB





# Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

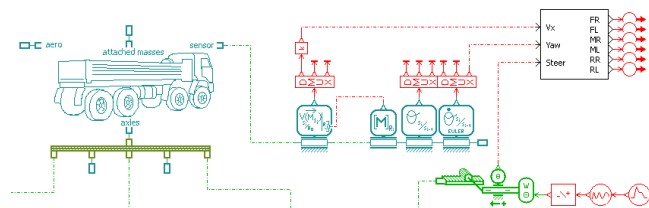
**Разработка научно-технических решений  
по управлению распределением мощности  
в трансмиссиях грузовых автомобилей**





# Пример реализации цифровой платформы Фабрики Будущего

## Разработка и организация производства энергоэффективных трансмиссий для грузовых автомобилей (совместно с ПАО «КАМАЗ»)



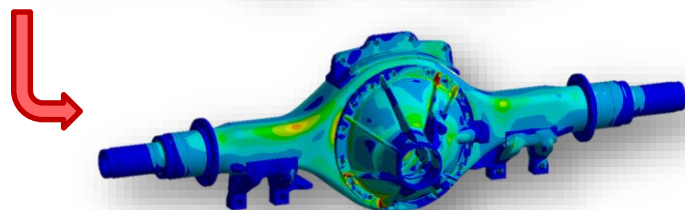
### Цифровое макетирование

Определение оптимальных общих параметров трансмиссии (числа зубьев, типы зацеплений и т.д.) - LMS Imagine.Lab



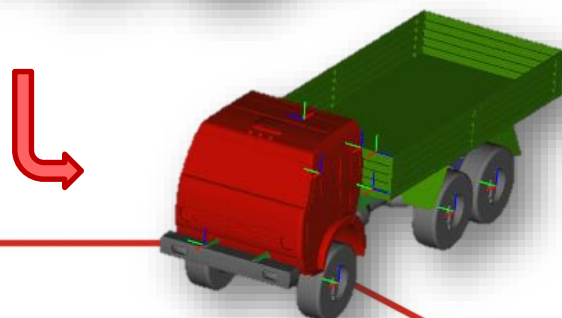
### CAD моделирование

Создание 3D модели, компоновка моста, конструкторская проработка с учетом технологических возможностей - Siemens NX



### CAE моделирование

Расчеты прочности, долговечности картеров, элементов трансмиссии – ANSYS, KISSsoft, MATLAB

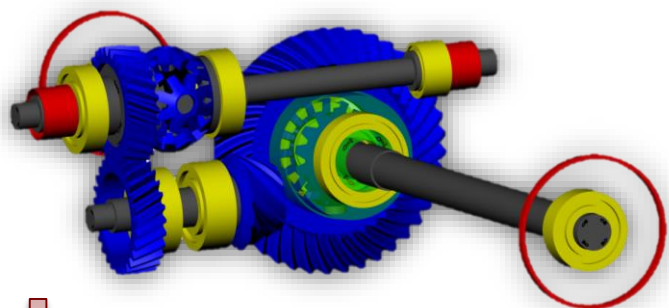


### Полунатурные испытания (в составе а/м)

Оценка работоспособности трансмиссии на переходных режимах - LMS Imagine.Lab и Virtual.Lab + MATLAB

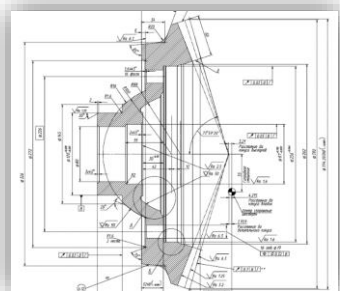
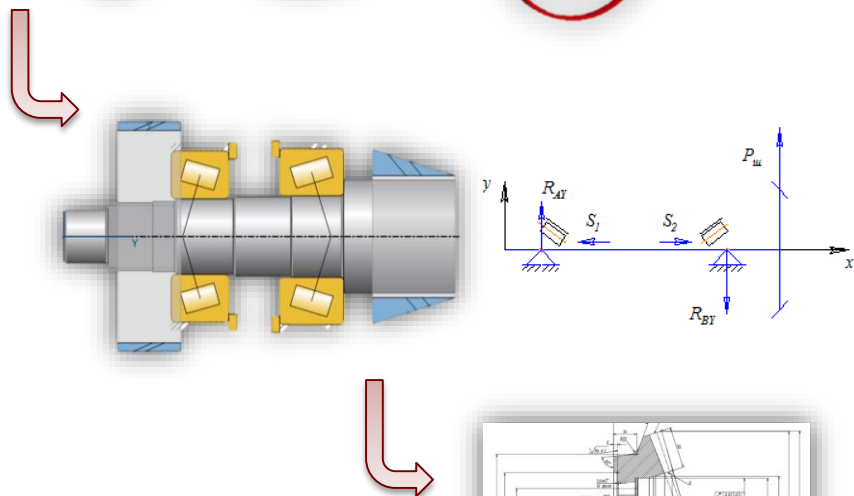
## Создание единой расчетной 3-D модели системы зубчатых передач проходного моста

В параметризованную модель входят зубчатые передачи, валы, подшипники, шлицевые соединения и др. Производятся расчеты геометрии с учетом технологических требований Заказчика (DIN, ISO, ГОСТ, методы производства Gleason, Klingelnberg), компоновка передачи.



## Расчетное моделирование

Автоматизированные расчеты на прочность и долговечность по DIN, ISO, ГОСТ. Отсутствие необходимости отдельно определять нагрузки на элементы редуктора. Использование встроенных алгоритмов оптимизации геометрических параметров шестерен и валов по критериям минимальной массы, шума, наибольшего КПД.



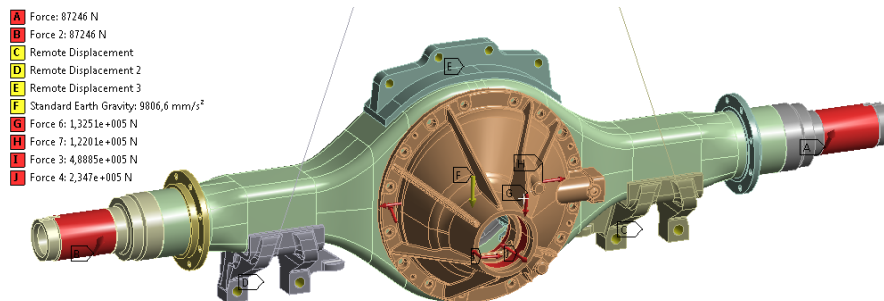
## Экспорт в CAD, разработка конструкторской документации, изготовление опытных образцов

Кроме возможности по разработке РКД, CAD модели пригодны для передачи на станки с ЧПУ.

## Расчет картера моста в ПО ANSYS (технический проект)

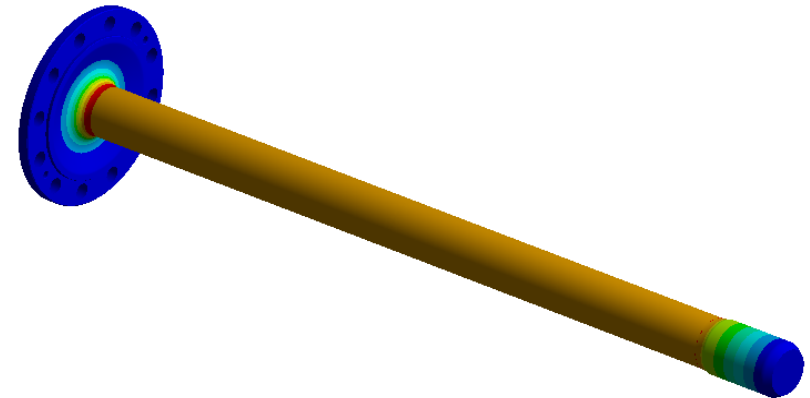
### Задачи:

- Оценка статической прочности полуосей, картера моста и картера редуктора
- Оценка циклической прочности полуосей и картера моста

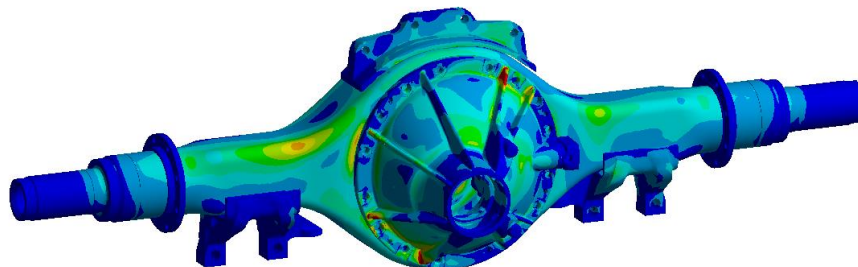


Нагрузки действующие на мост

C: 5490  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises)  
Unit: MPa  
1067,8 Max  
975  
853,13  
731,25  
609,38  
487,5  
365,63  
243,75  
121,88  
0,00065229 Min



Расчет полуосей методом конечных элементов

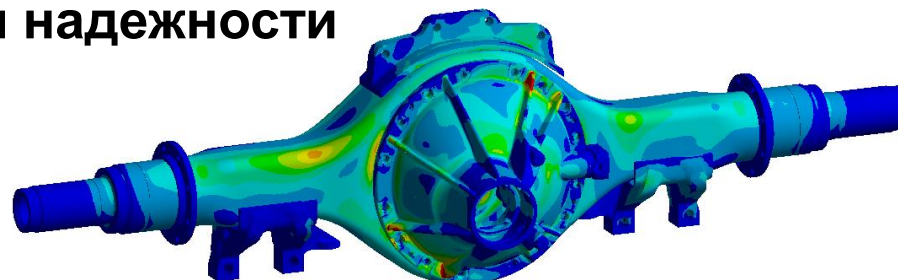


Эквивалентные напряжения в картере заднего моста а/м КАМАЗ 5490

# Оптимизация систем третьего уровня (направления исследований)

Задача минимизации веса изделия при сохранении заданных  
прочности и надежности

**Целевая функция** –  
минимальный вес изделия



## Параметры :

- радиусы скруглений;
- размеры ребер жесткости;
- толщины материала и т.д.

## Ограничения :

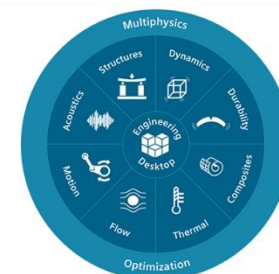
- максимальные напряжения;
- габариты и компоновка;
- присоединительные размеры и т.д.



Оптимизация

ANSYS®

или



Оценка НДС

**Внедрение передовых производственных технологий в проектирование и производство грузовой автомобильной техники позволит:**

наработать задел по созданию Фабрик Будущего автомобилей с интеллектуальными системами;

выпустить на мировой рынок новое поколение best-in-class грузовой автомобильной техники, оснащенной современными интеллектуальными системами;

увеличить экспорт отечественной грузовой автомобильной техники;

расширить компетенции России в области разработки, проектирования и производства высокотехнологичных транспортных средств на глобальном рынке;

повысить долю высокотехнологичной продукции в общем объеме российского экспорт и внести вклад в диверсификацию экономики.

**Полученные в ходе реализации проекта подходы к оптимальному проектированию в дальнейшем могут быть применены для создания новейших образцов военной техники, которые будут превосходить зарубежные аналоги и обеспечат национальную безопасность и обороноспособность России.**

## **РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА**

Проректор по стратегическому развитию

**КЕЛЛЕР Андрей Владимирович**

## **СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

454112, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 50

тел.: +7 (351) 272-33-90

[engineering@susu.ru](mailto:engineering@susu.ru)

[www.cce74.ru](http://www.cce74.ru)