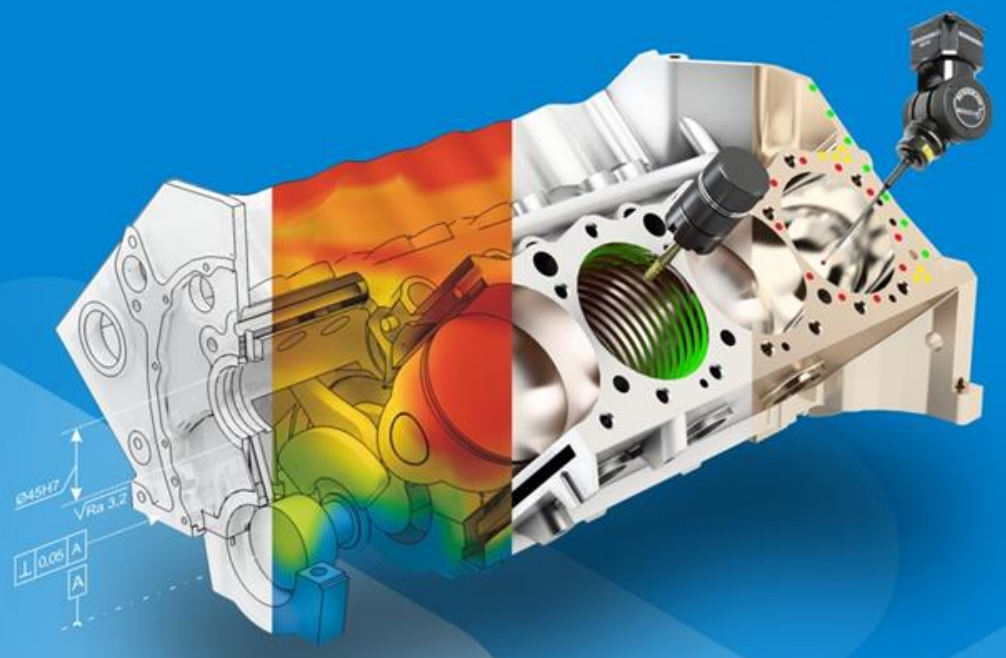
Компьютерные технологии
в инженерном деле

PLM УРАЛ

Системная инженерия
как способ создания успешных изделий



Щейников Станислав

Руководитель Департамента PLM-решений

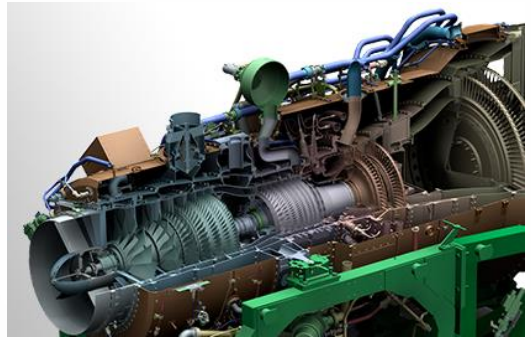
Группа компаний «ПЛМ Урал»

Группа компаний «ПЛМ Урал»

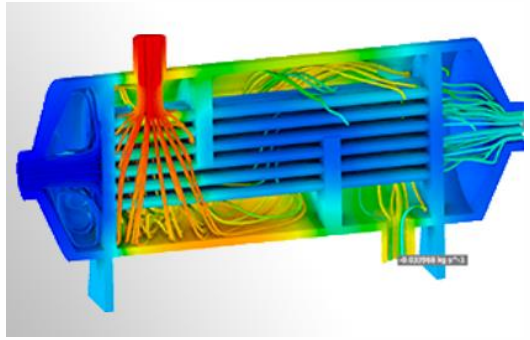
26 лет уникального опыта

- Опыт с 1993 года;
- Поставщик крупнейших промышленных корпораций РФ (Оборонпром, ОДК, Вертолеты России, Роскосмос, ОАК…);
- Сотрудничаем с ведущими инженерными ВУЗами страны (МГТУ им. Баумана, УрФУ…)
- В первой пятерке крупнейших мультибрендовых поставщиков САПР по РФ;
- Более 600 заказчиков по РФ;
- Численность сотрудников более 100 человек;
- Офисы в Москве и Екатеринбурге.

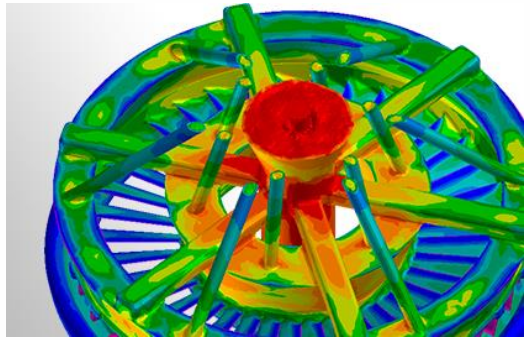
Компетенции ГК «ПЛМ Урал»



Управление жизненным циклом изделия (PLM, CAD, CAPP)



Многодисциплинарный инженерный анализ (CAE)



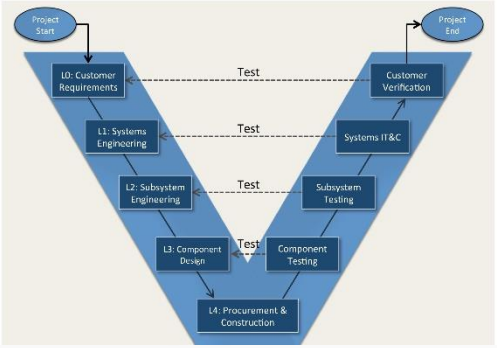
Моделирование процессов производства (CAE)

Система менеджмента качества (QMS)

Программирование станков с ЧПУ и роботов (CAM)

Координатно-измерительное оборудование (КИМ)

Система виртуальной реальности для промышленности



Системная инженерия (MBSE)

Актуальные проблемы создания изделий

Усложнение технических систем

С каждым годом, современные изделия становятся сложнее:

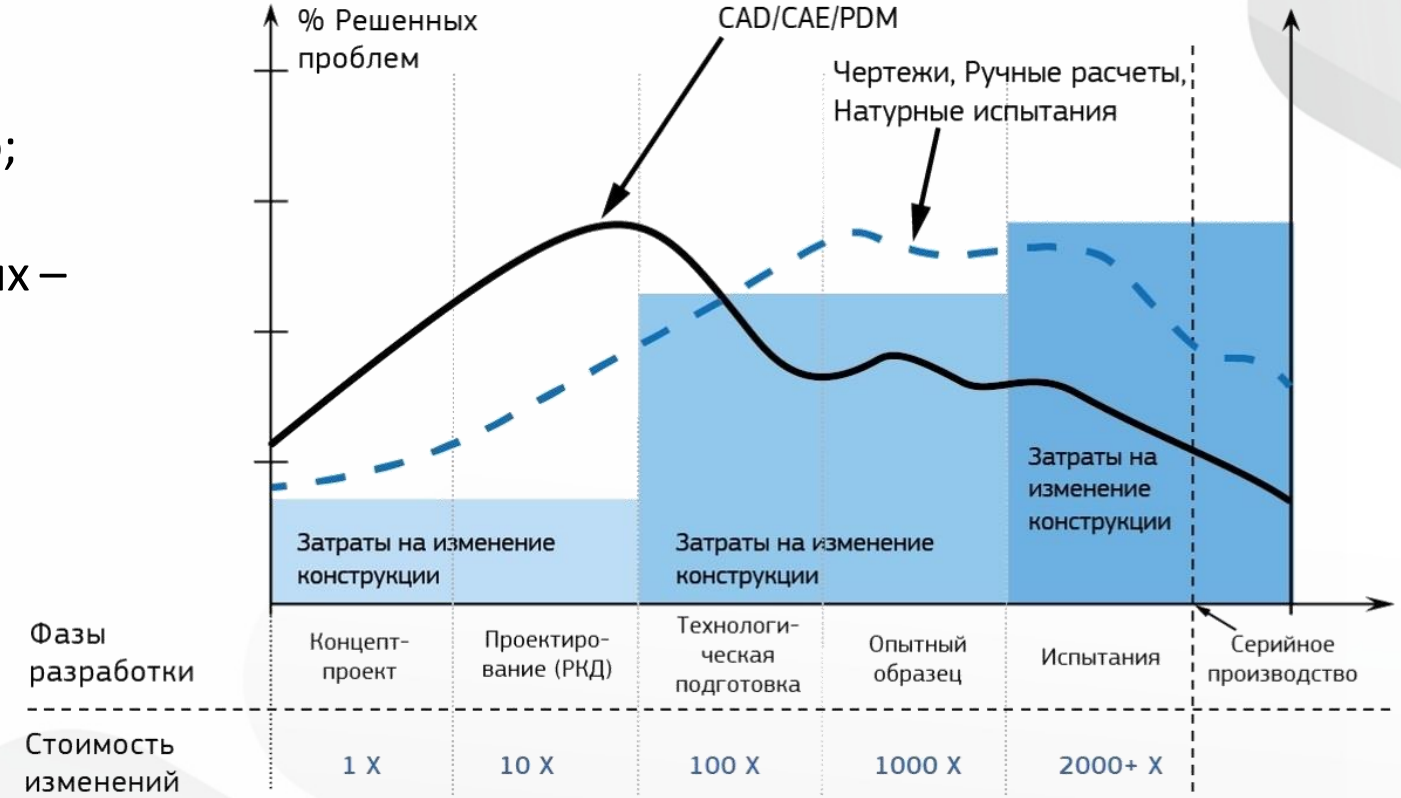
- Увеличение и усложнение требований.
- Увеличивается количество систем и компонентов в изделиях.
- Изделия становятся мультифизичными (электрика, механика, электроника, гидравлика, системы управления).
- Растет вероятность и сложность сценариев отказа изделий.
- Для повышения конкурент-способности растет доля инноваций, увеличивающих риски.

Актуальные проблемы создания изделий

Применение устаревших инструментов и методик

Применяемые инструменты и подходы к проектированию не справляются с возрастающей сложность современных изделий и не гарантируют получение требуемой функциональности в обозначенные сроки и бюджеты.

- Ошибки обнаруживаются слишком поздно, и их исправление стоит дорого;
- Ошибки допущенные на ранних стадиях – самые дорогие в исправлении;
- Непрогнозируемый рост стоимости и сроков;
- Без натурных образцов сложно оценить работоспособность.



Цифровизация не панацея

PLM УРАЛ

Несмотря на всеобщее использование CAD/PDM/CAE/PDM/PLM - решений, проблемы остаются:

- Только 28% проектов отвечают запланированным срокам и бюджету
- Более 45% бюджета на разработку, может «уйти» на исправление и переделки
- От 35 до 50% общего объема работ тратится на исправление ошибок в конструкции

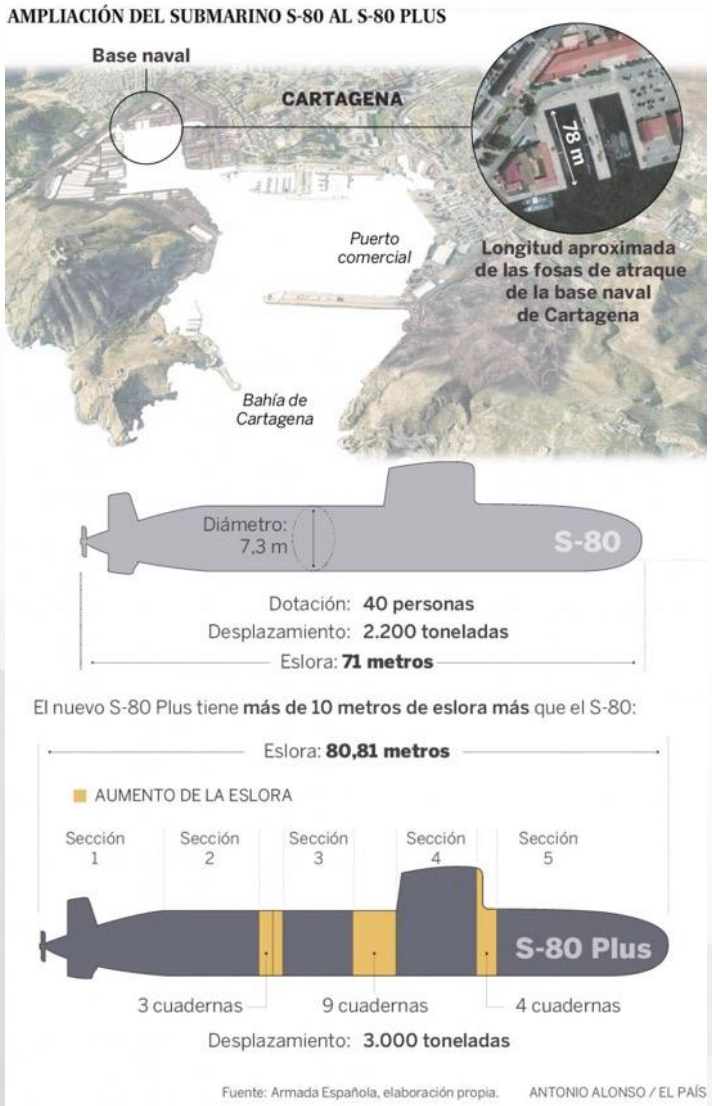
Источники:

- Effective Requirements Practices, NASA
- IAG Consulting
- Dynamic Market Limited

Как итог:

1. Изделия создаются с серьезным перерасходом бюджета, а **срыв сроков разработки и запуска в серию стал практически нормой жизни**
2. Готовые изделие не обеспечивают требуемые ТТХ , а зачастую просто неработоспособны и требуют дополнительных доводок, доработок и испытаний
3. Итоговые изделия оказываются никому не нужными (не востребованы рынком)
4. Инвестиции не возвращаются

Пример использования CAD/CAE/PDM без системного подхода



Испанская подводная лодка S-80

Проблема 1

Применения устаревших методов проектирования привело к тому, что субмарина оказалась на 68 тонн тяжелее, чем было рассчитано, что не позволило бы ей всплыть после погружения.

В целях устранения несоответствия было принято решение увеличить длину корпуса на 10 метров с 71 метра до 80,81 метра, что привело к **перерасходу бюджета на 75 млн евро.**

Проблема 2

В результате **бессистемного подхода** к решению проблемы недостаточной плавучести, оказалось, что увеличенная в длину субмарина не может поместиться в предназначенный для нее док на военно-морской базе в Картахене.

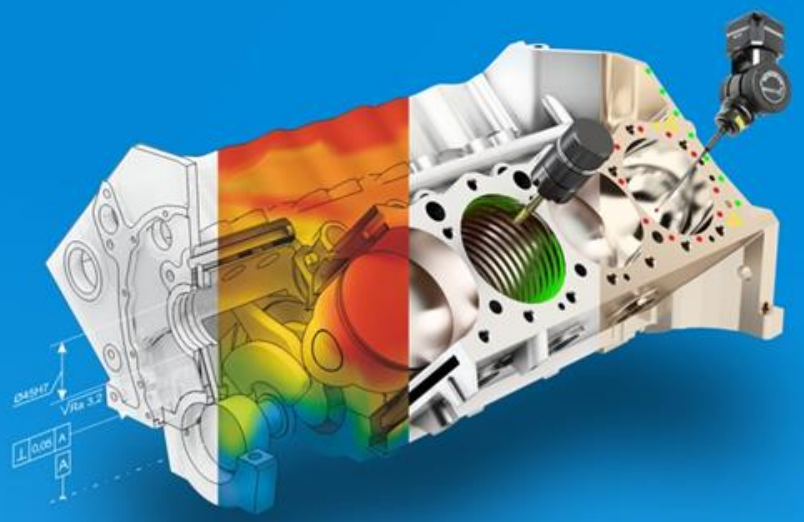
Теперь необходимо **дополнительно потратить еще порядка 16 млн евро** на реконструкцию дока.

Итог

В настоящее время суммарный перерасход бюджета проекта составляет 91 млн евро, срыв сроков более 2-х лет.

PLM УРАЛ

Системная инженерия



Системная инженерия

Системная инженерия — Междисциплинарный подход и средства, необходимые для воплощения успешных систем*.

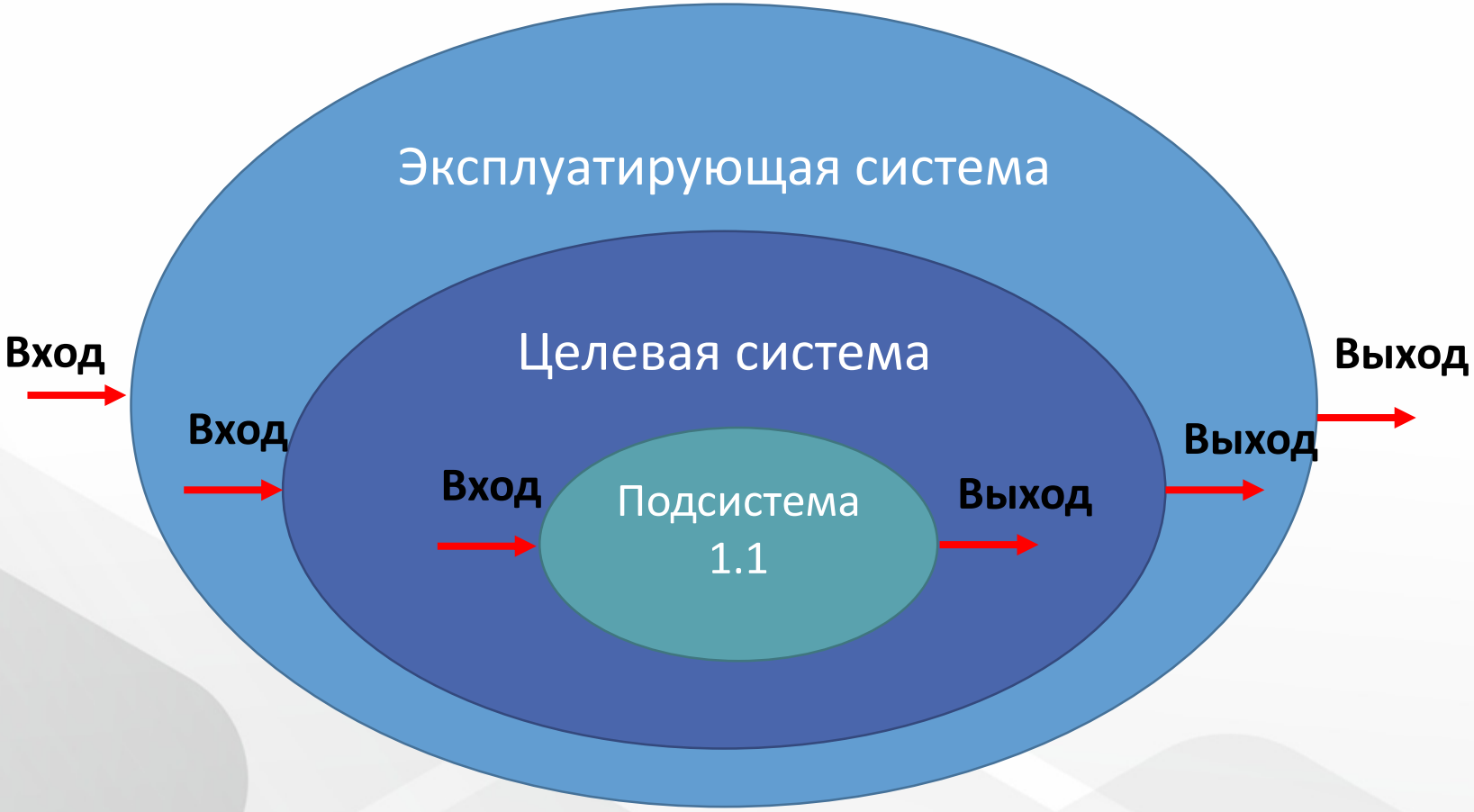
Применение практик системной инженерии позволяет:

1. Правильно определить создаваемый продукт *(заинтересованные стороны, жизненный цикл, эксплуатирующую систему, потребности, требования, ограничения...).*
2. Выполнить трансформацию требований в технические решения.
3. Определить оптимальные технические решения.
4. Обеспечить процедуру постоянной (*на всех этапах проектирования и запуска в производство, а не в конце)* проверки соответствия создаваемого изделия исходным требованиям и функциональному назначению (верификация и валидация).
5. И в тоге создать изделие в **запланированные сроки, бюджет и с запланированным качеством.**

*INCOSE – международный совет системных инженеров

Системная инженерия

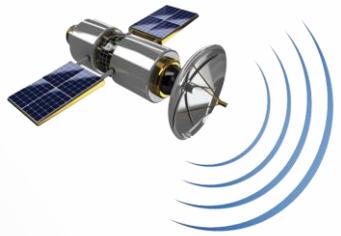
Системный подход — это подход, при котором любой объект рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов (система), имеющая выход (цель), вход (ресурсы), связь с внешней средой, обратную связь.



Системная инженерия

PLM УРАЛ

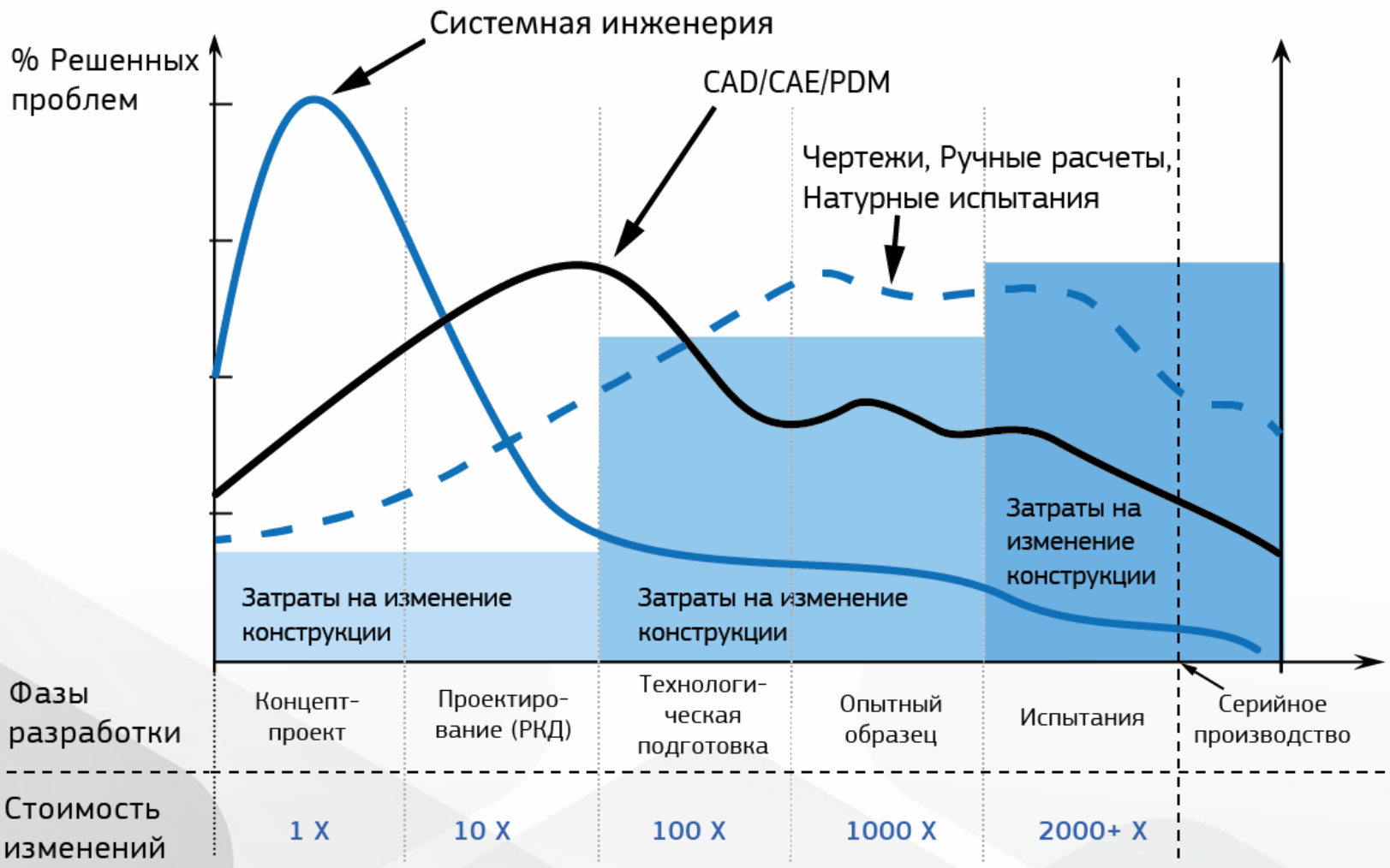
При проектировании сложных изделий, важно описать все возможные взаимодействия целевой системы, чтобы не забыть важного.



Системная инженерия

PLM УРАЛ

Смещение усилий на ранние стадии жизненного цикла



Реализация практик системной инженерии

ГК «ПЛМ Урал» предлагает набор методик и инструментов позволяющих реализовать практики системной инженерии для повышения эффективности инженерных процессов

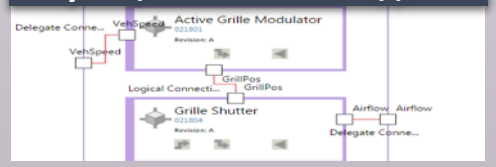
Методология

1. Инструменты управления инженерными данными

Управление требованиями, управление составами (функциональный, логический, физический, эксплуатационный), управление конфигурациями, управление процессами, управление изменениями.

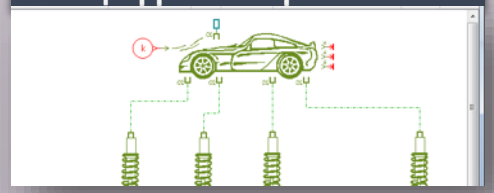
2. Инструменты моделирования

Функциональные модели

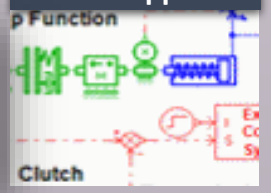


3D-модели

Цифровой прототип



1D-модель

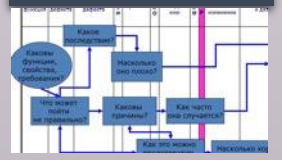


3. Инструменты верификации/валидации

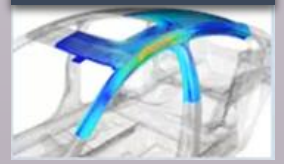
1D

CFD

FMEA

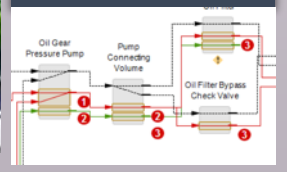


3D



TEST

RAM



Люди (Компетенции)

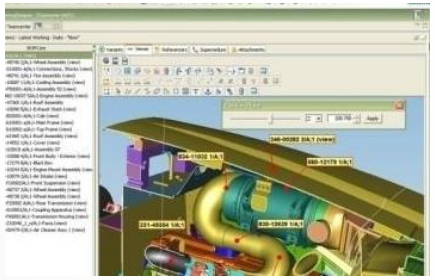
Реализация

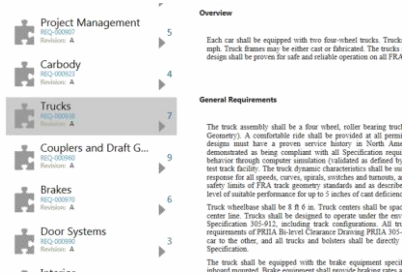
Инструменты Siemens PLM Software для MBSE

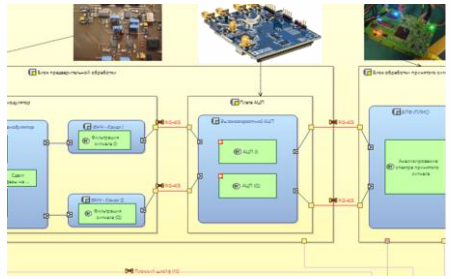
PLM УРАЛ

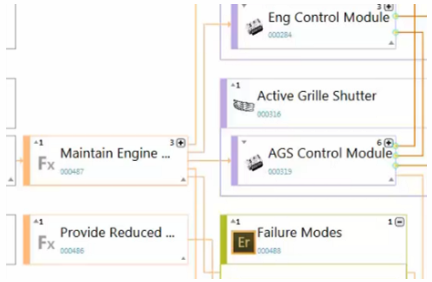
Комплексное решение Siemens PLM Software для MBSE

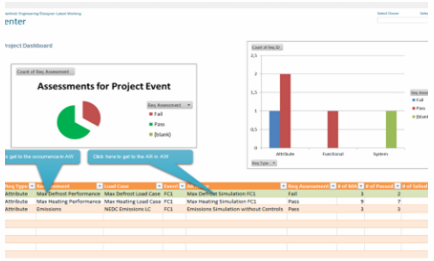
Teamcenter	Requirements Manager	System Modeling Workbench	Teamcenter System Engineering	DVP&R
Управление данными, процессами, изменениями, проектами, конфигурациями	Управление требованиями	Архитектурное Проектирование на базе SysML	Управление функциональными, логическими, физическими составами	Планирование, обеспечение и контроль процессов верификации и валидации



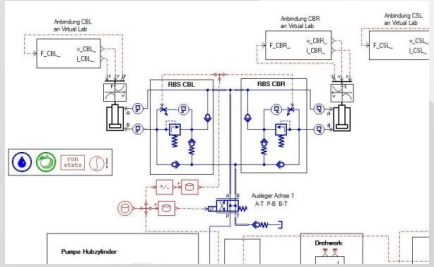


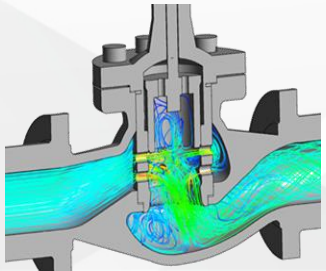


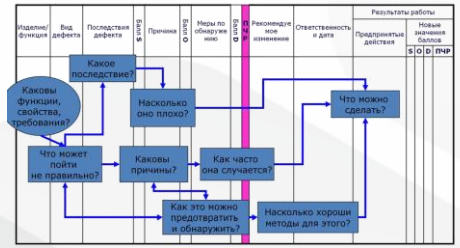


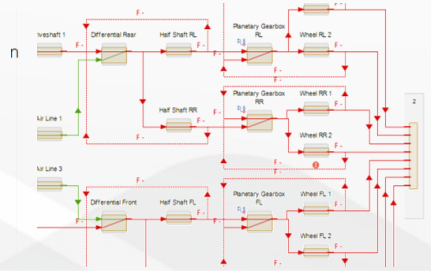


Siemens Amesim/ System Architect	Simcenter 3D	FMEA	MADe	NX
1D (имитационное моделирование работы систем)	Инженерный анализ на базе 3D моделей	Анализ видов и последствий критичных отказов	Анализ безопасности и надежности	Концептуальное и рабочее 3D моделирование









Системная инженерия

PLM УРАЛ

В рамках системной инженерии мы будем рассматривать следующие практики

Моделе-ориентированное проектирование

Практики разработки моделей различной степени детализации на всех стадиях проектирования, в том числе:

- Построение модели жизненного цикла изделия
- Построение функциональной модели
- Построение структурной модели
- Построение принципиальной модели (1D-модель)
- Построение цифровых макетов изделия (3D-модели)

Верификация-валидация

Практики, направленные на реализацию процесса **Валидации** - подтверждения того, что набор требований, проект или система соответствует предназначению заказчика системы, и процесса **Верификации** - подтверждения того, что требования или система соответствует входным данным.

Бизнес-анализ

Практики направленные на определение модели жизненного цикла изделия (целевой системы). Определить окружение системы и перечень заинтересованных сторон.

Архитектурное проектирование

Практика определения способов реализации технической системы. Выбор оптимальных решений.

Инженерия Требований

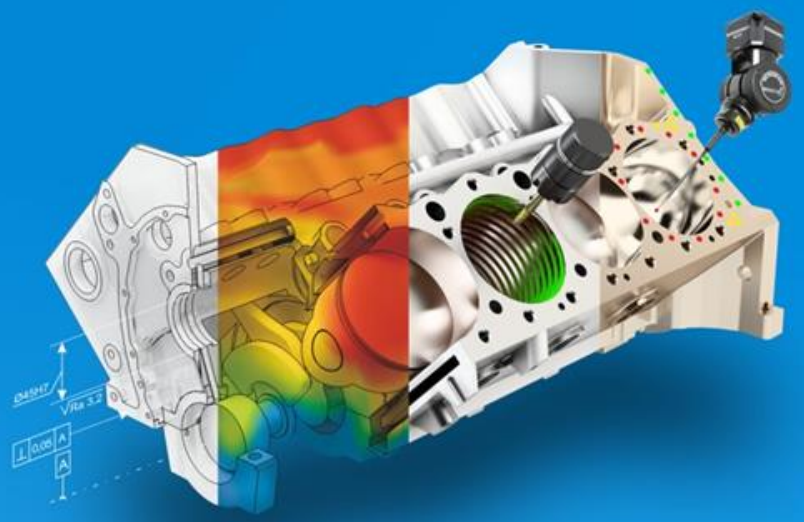
Практики, направленные на выявление и управление требованиями к проектируемому изделию: методики сбора, извлечения, фиксации, трансформации, анализа требований, систематизации трассировки требований с другой инженерной информацией.

Управление конфигурациями

Практика, обеспечивающая управление данными об объекте проектирования (версии, совместимость версий, варианты, альтернативы)

PLM УРАЛ

Бизнес-анализ



Бизнес - анализ

Практика бизнес-анализа направлена определение и анализ исходные данные необходимые для начала процесса создания изделия. Полнота этих данных позволит минимизировать появление изменений, выдерживать запланированные сроки и бюджеты.

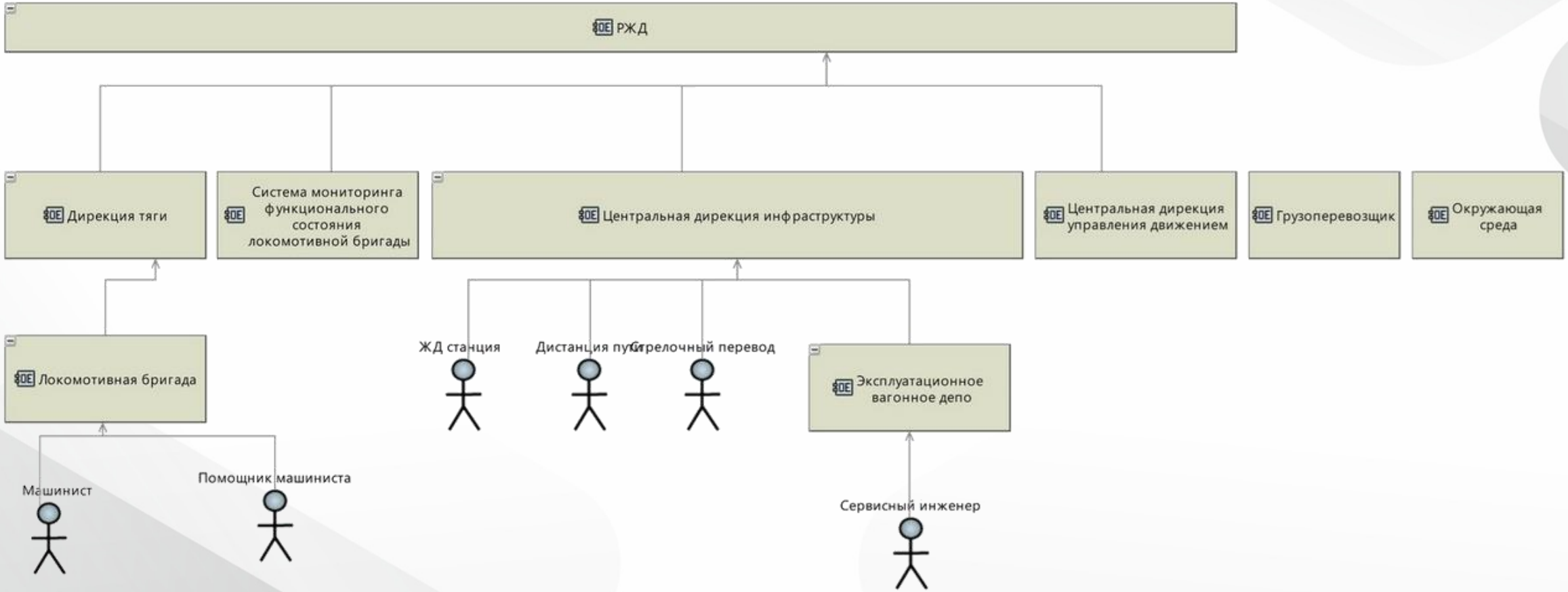
Ключевые задачи:

1. Определение заинтересованных сторон;
2. Определение ключевых потребностей и требований;
3. Определение целесообразность создания системы (изделия);
4. Определение модели жизненного цикла изделия;
5. Определение эксплуатирующей системы;
6. Определение основных ограничений (технологических, ресурсных, временных, стоимостных…).

Качественный бизнес-анализ один из залогов создания успешного изделия!

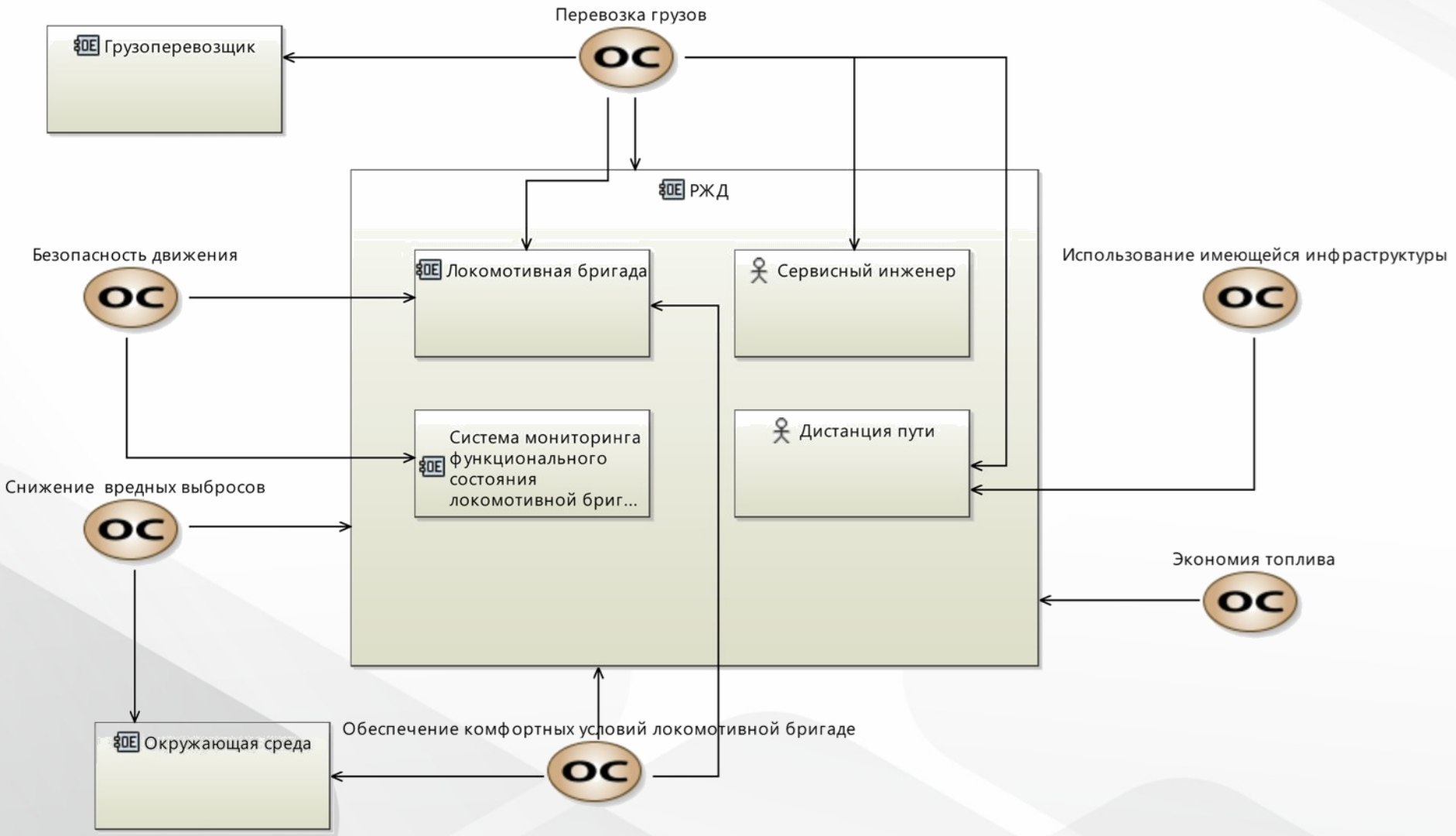
Бизнес-анализ: *Определение заинтересованных сторон в Teamcenter System Modeling Workbench*

PLM УРАЛ



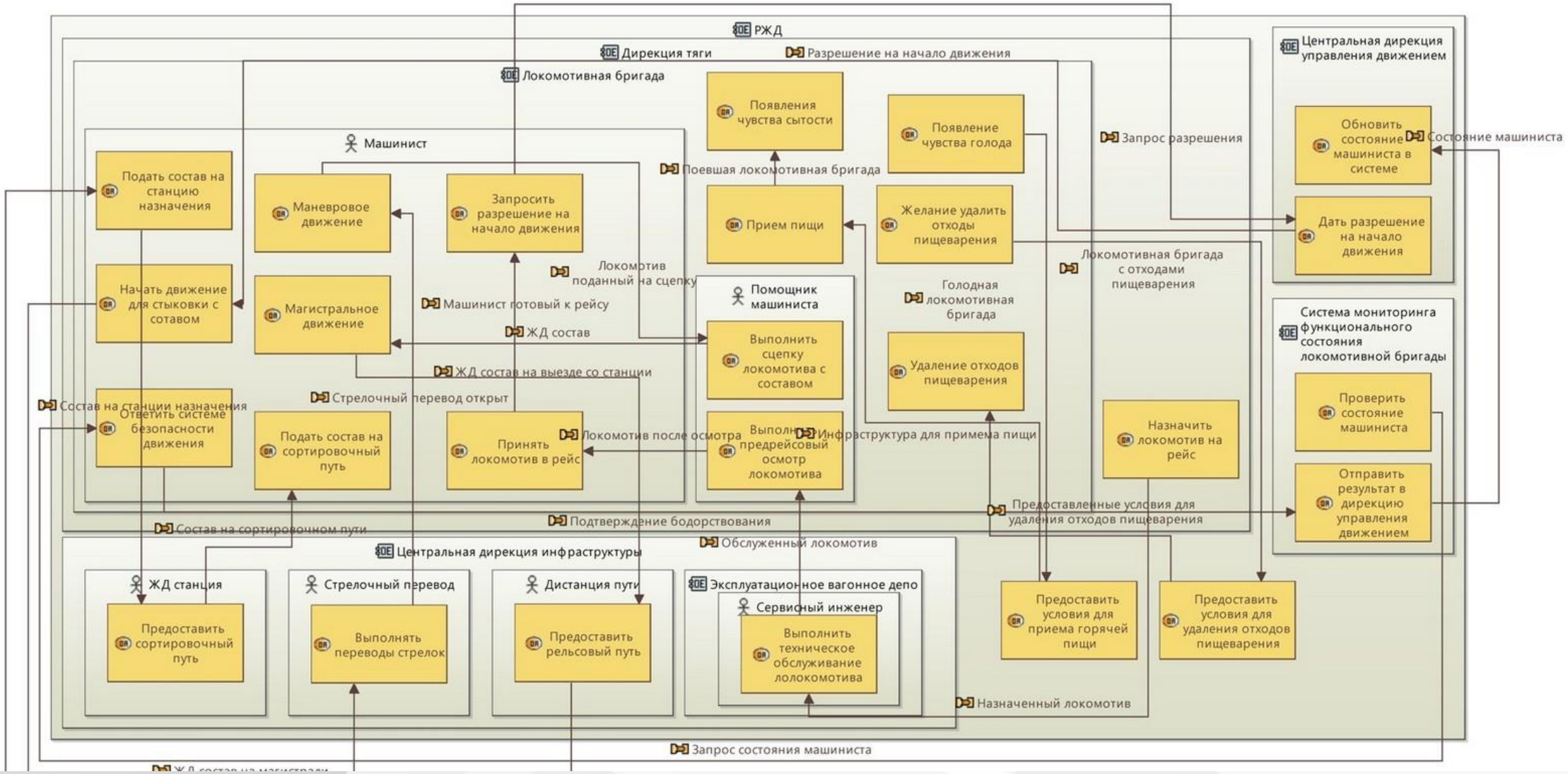
Бизнес-анализ: Определение *операционных возможностей в Teamcenter System Modeling Workbench*

PLM УРАЛ



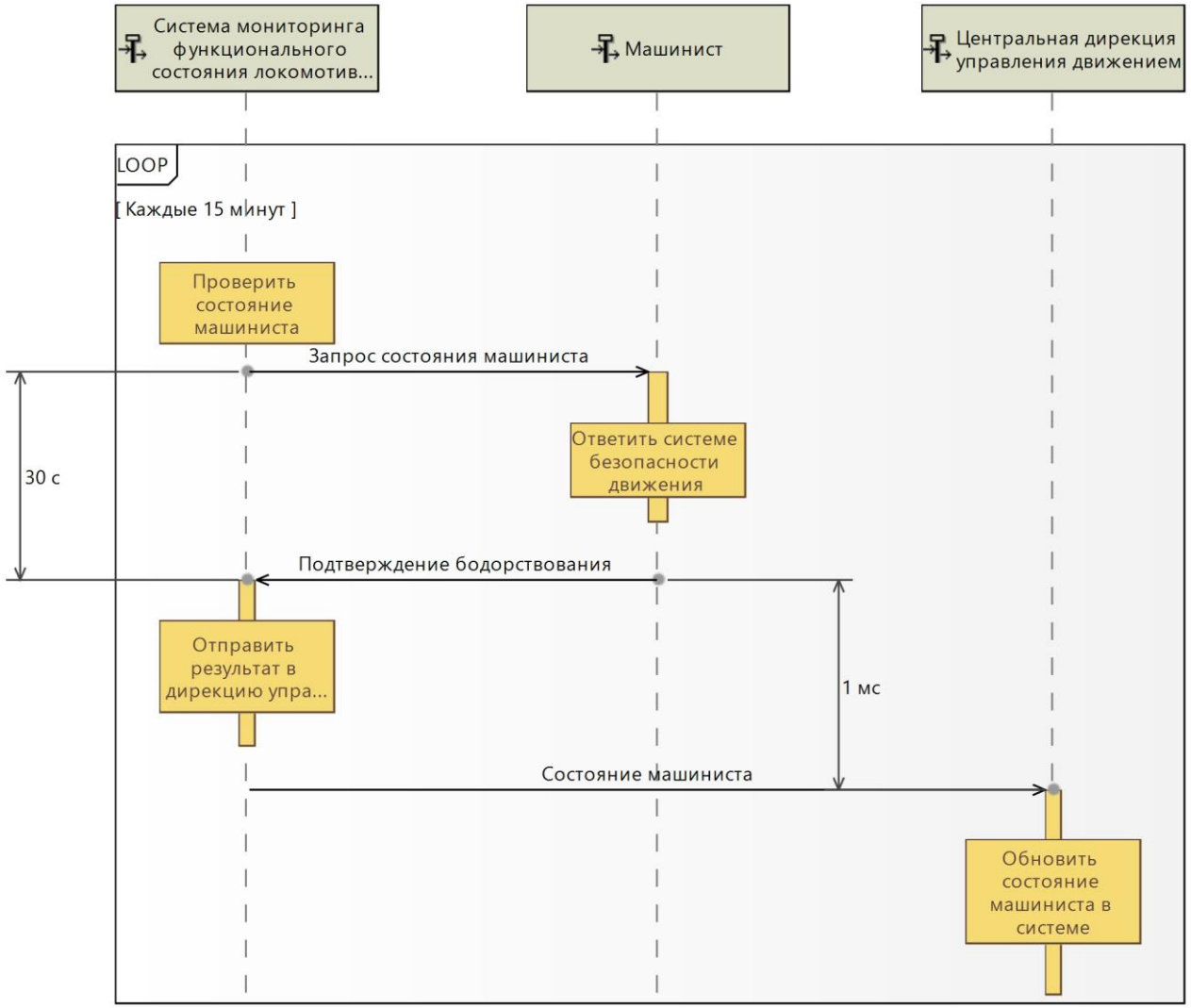
Бизнес-анализ: *Определение операционных активностей в Teamcenter System Modeling Workbench*

PLM УРАЛ



Бизнес-анализ: *Определение сценариев работы в Teamcenter System Modeling Workbench*

PLM УРАЛ



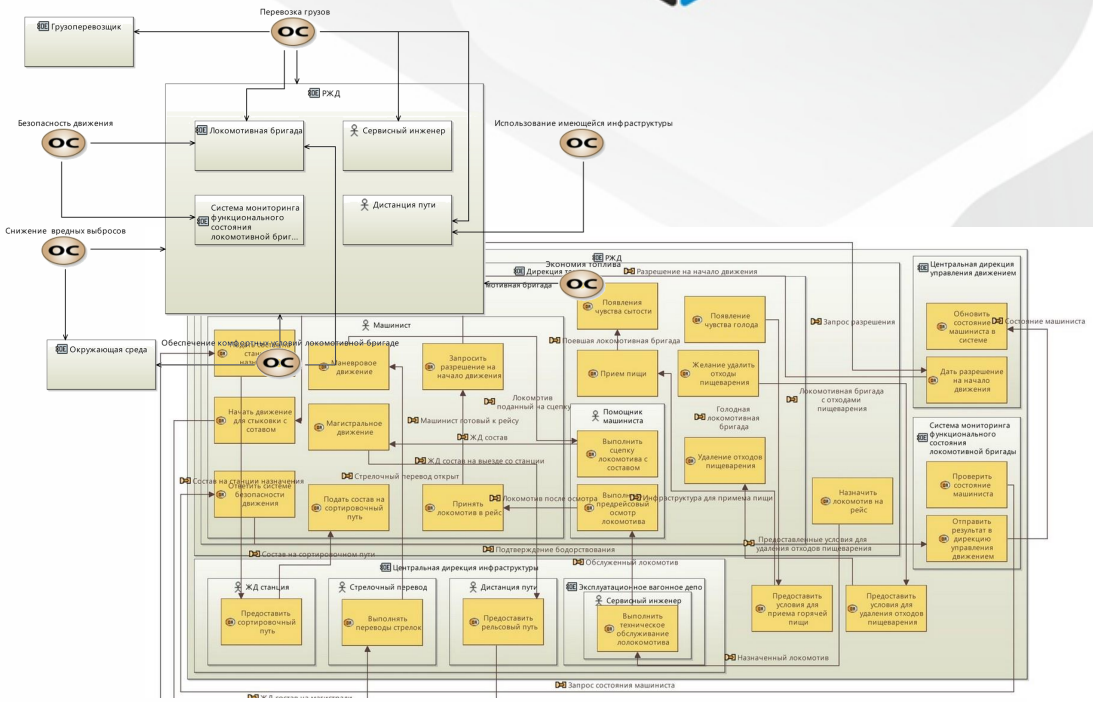
Бизнес-анализ:

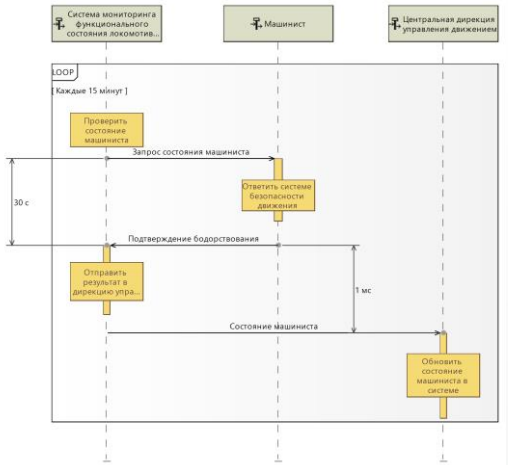
Результаты моделирования

Вы получаете:

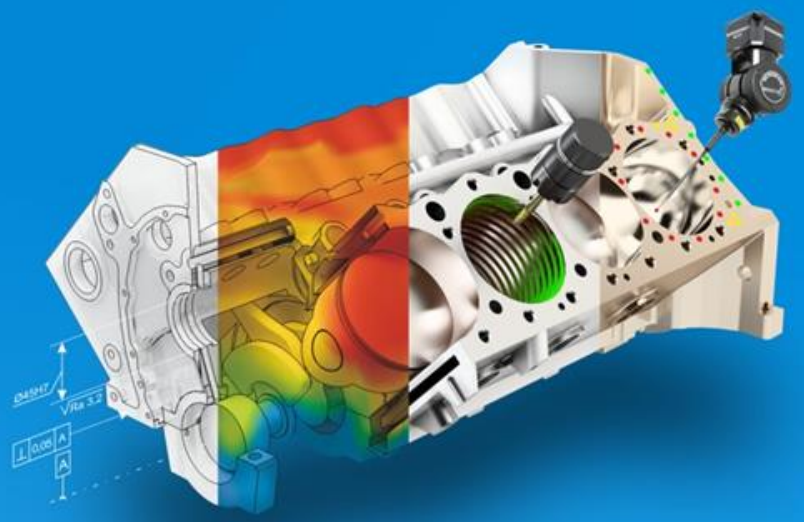
Комплекс взаимосвязанных моделей описывающих:

1. Заинтересованные стороны и их потребности
2. Сценарии, в рамках которых реализуются потребности заинтересованных сторон
3. Основу для разработки ПиМИ
4. Основу для последующей работы с требованиями
5. Понимание окружения системы (с чем и с кем она будет взаимодействовать)





Инженерия требований

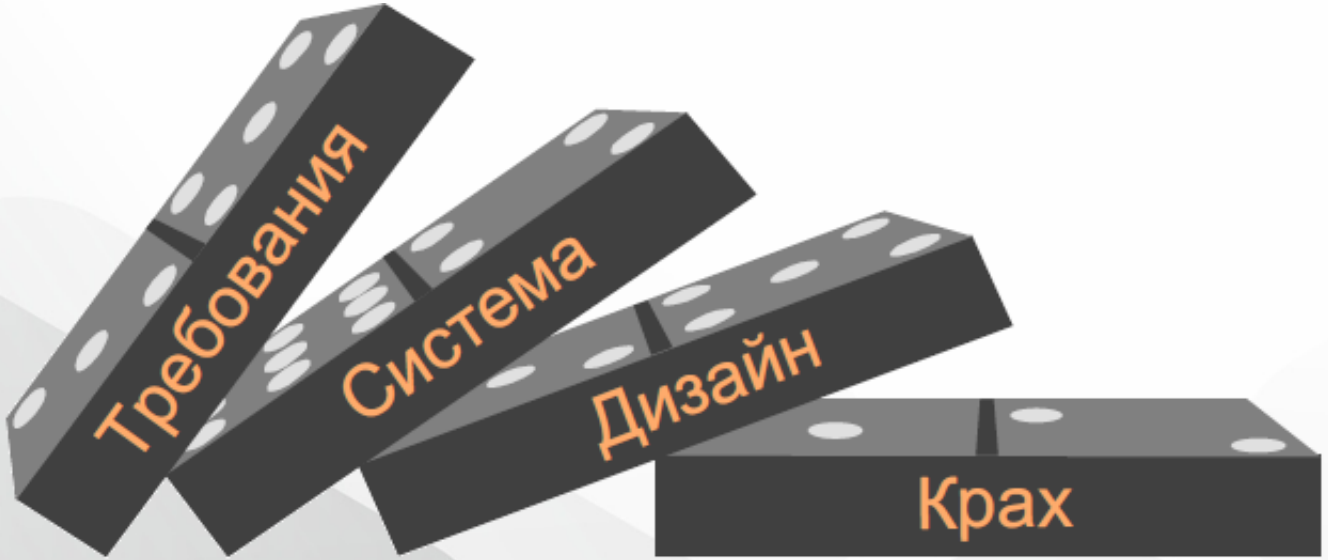


Инженерия требований

Требования – основа проектирования.

Около 60%-70% общего числа всех проектов заканчиваются плачевным результатом только из-за неудовлетворительного формирования требований, их анализа, управления и контроля.

- *Meta Group, 2003*



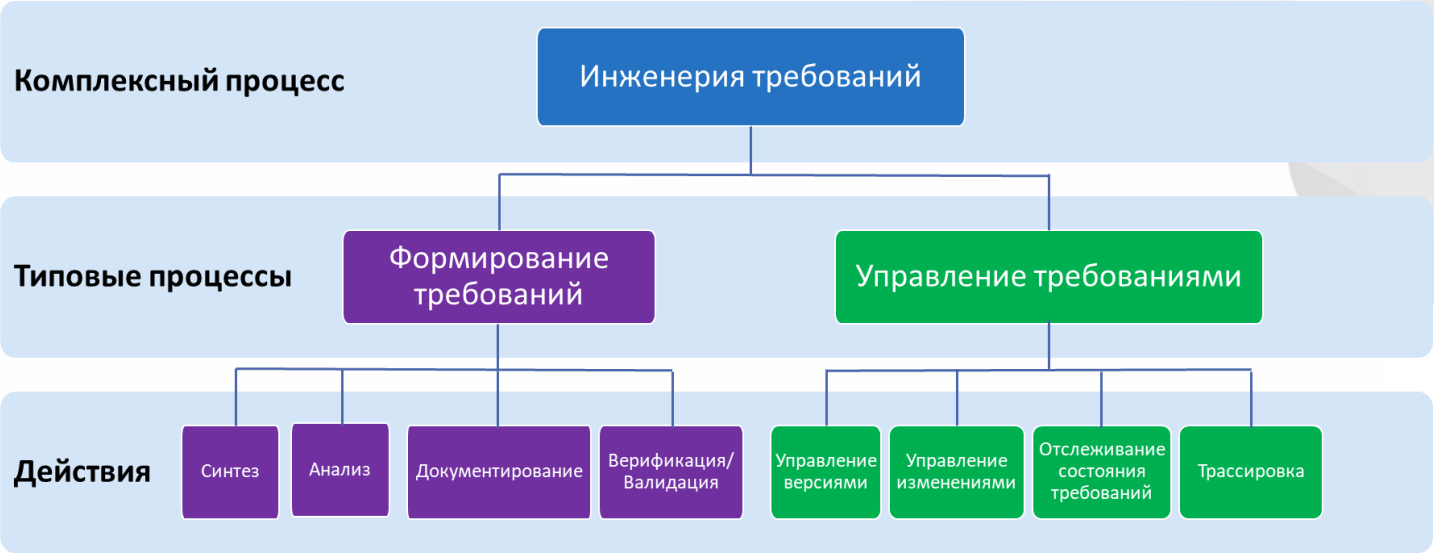
Инженерия требований: *Суть*

Ключевые задачи:

Правильно определить все необходимые требования в проекте тем самым снизить риски по внесению изменений, а также обеспечить выполнение всех выявленных и задокументированных требований

Что нужно делать:

1. Организовать сбор требований;
2. Формализовать требования;
3. Сформировать спецификации требований;
4. Выполнить анализ требований;
5. Выполнить трассировку требований;
6. Запланировать выполнение требований.



Правильная работа с требованиями – залог их выполнения!

Инженерия требований: Формирование требований

PLM УРАЛ

ТЭО

Модель эксплуатирующей системы

Модель жизненного цикла

Заинтересованные стороны

Пожелания заказчика

Техническое задание

Маркетинговые исследования

Стандарты

Список требований ЗС

Экскаватор должен быть малогабаритный

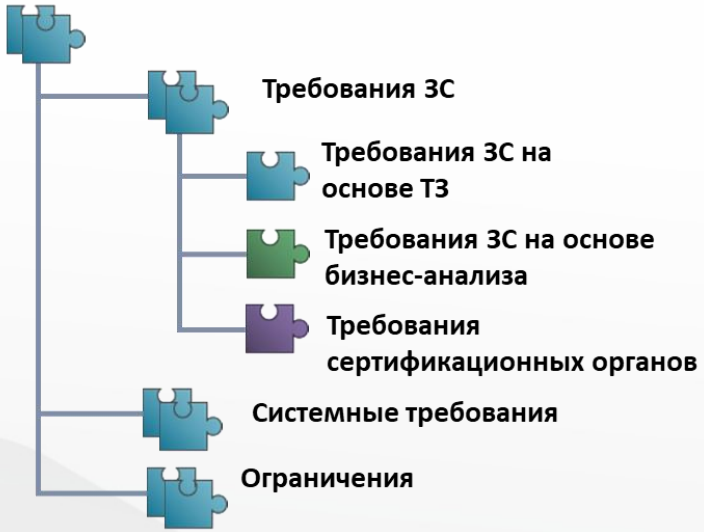
Экскаватор должен быть самодвижущийся

Малогабаритный самодвижущийся экскаватор с полноповоротной платформой и поворотной стрелой

Экскаватор должен быть с полноповоротной платформой

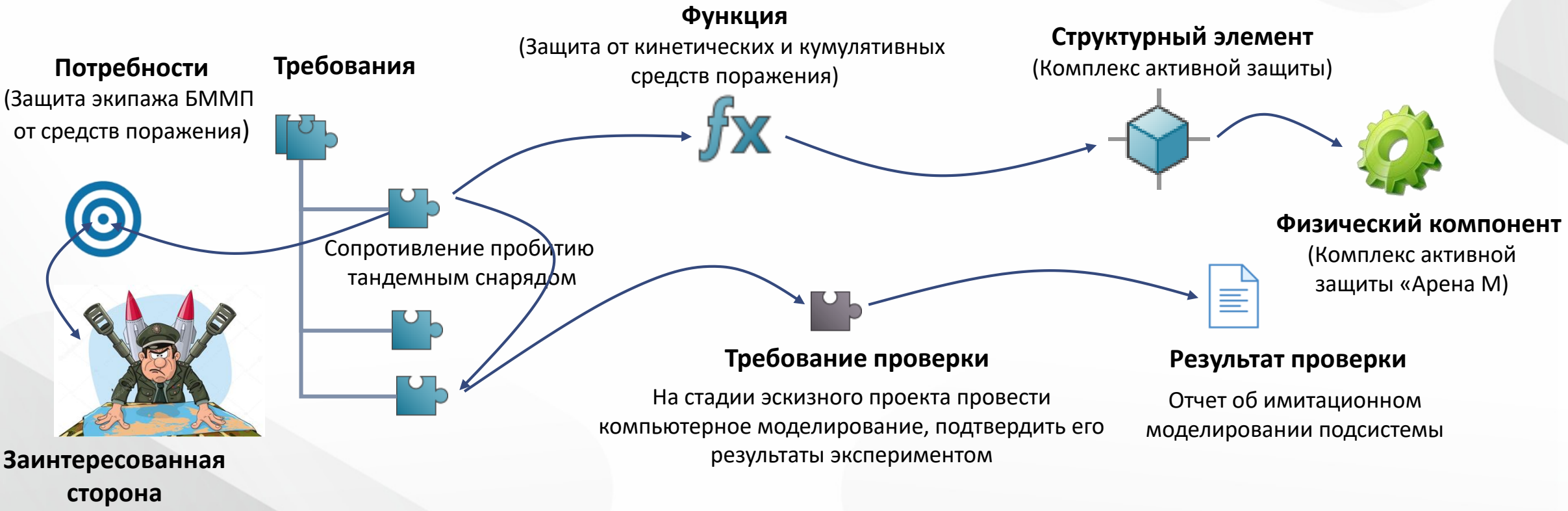
Экскаватор должен быть с поворотной стрелой

Спецификация требований в PDM



Трассировка требований

Трассировка требований позволяет связать требований с другой инженерной информацией, тем самым обеспечивая учет и выполнение требований на всех стадиях проектирования. Ни одно требование не будет забыто или не учтено.



Информационные связи между требованиями и другой проектной информацией – важное, условие для обеспечения выполнения требований.

Системная инженерия:

Пример положительного эффекта трассировки

PLM УРАЛ

Raytheon

Совершенствование цикла разработки современной системы управления ракетным вооружением Tomahawk при использовании системной инженерии

Параметры	До	После
Нестабильность/изменяемость требований: • Предварительная проработка конструкции • Финальная проработка конструкции	 72% 33%	 48% 17%
Внесения изменений в требования: • Принятые изменения • Отклоненные изменения	 98% 2%	 16% 84%
Время тестирования и приемки: • интеграции • Система • Приемка заказчиком	 9 недель 13 недель 22 недели	 4 недели 6 недель 10 недель
Количество дефектов, обнаруженных в готовом изделии	728	165
Время разработки требований к программному обеспечению	10 дней	2 дня

На **30%** сократились изменения требований

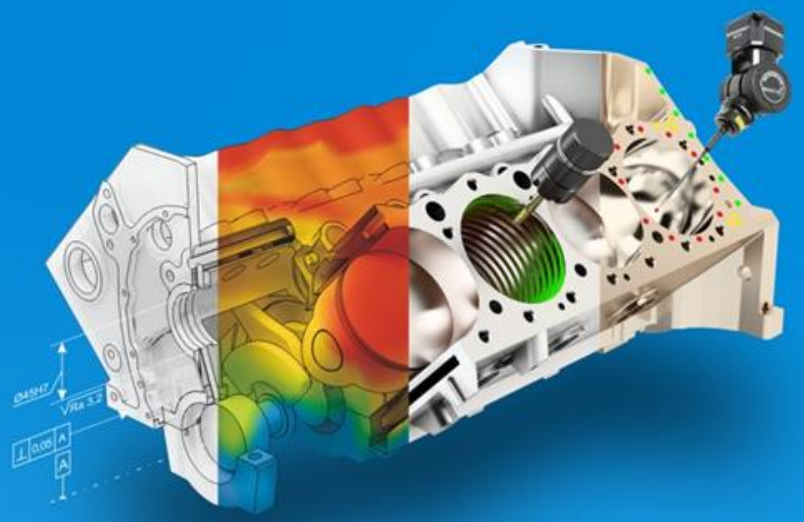
Количество изменений в конструкции сократилось **в 6 раз**

Инженерия требований: *Результаты*

1. **Минимизация рисков изменения или добавления новых требований** *(за счет их детальной проработки).*
2. **Инженерия требований создает основу для планирования, обеспечения и контроля выполнения требований.**
   - *Формулировки однозначны и не допускают двусмысленности;*
   - *Требования не противоречат друг другу, не дублируются;*
   - *Требования легко найти и проследить их взаимосвязи;*
   - *Для каждого требования запланирована проверка;*
   - *Возможно проконтролировать выполнение требований.*

Правильная работа с требованиями – залог их выполнения!

Архитектурное проектирование



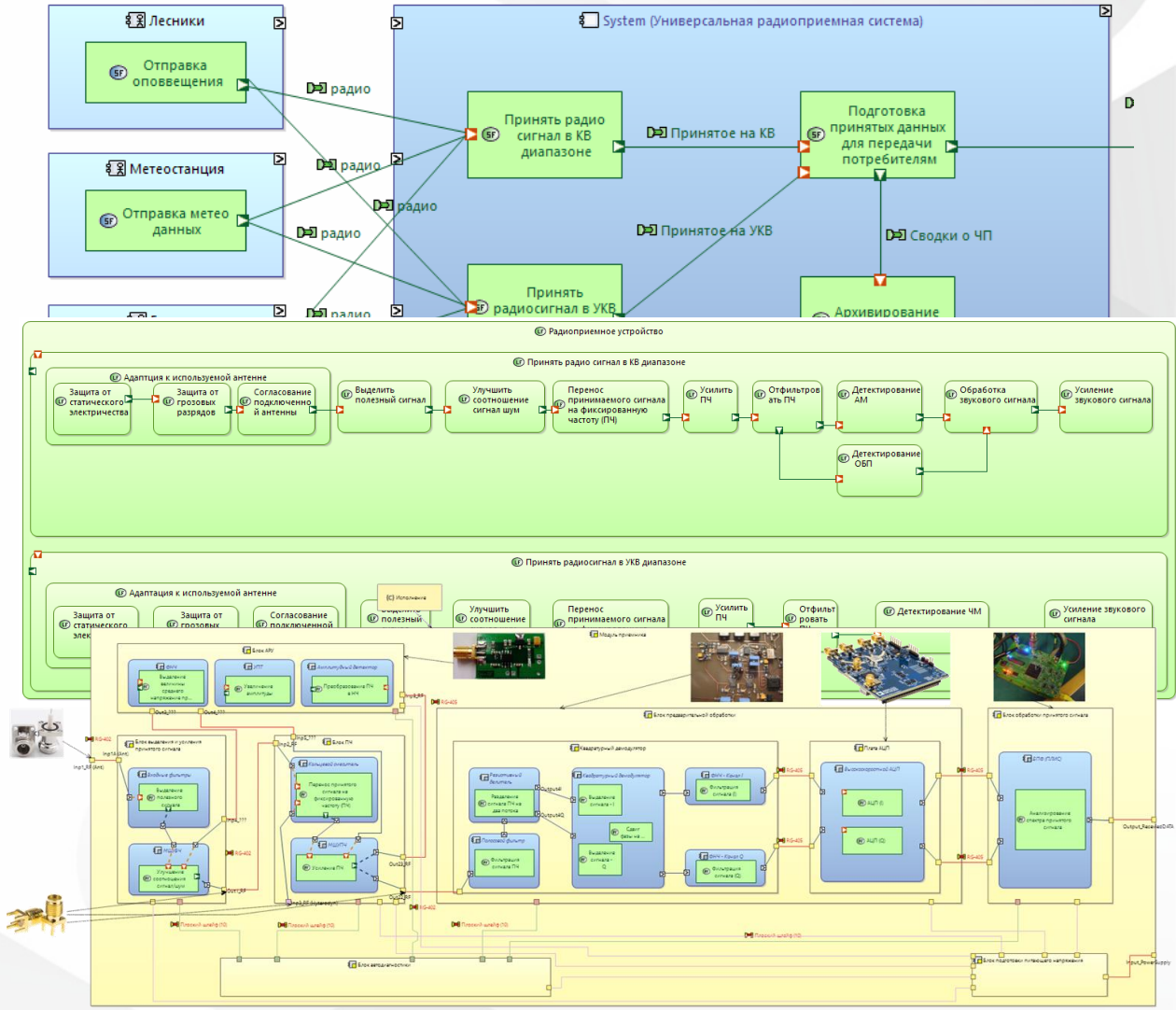
Архитектурное проектирование

Ключевые задачи:

1. Трансформировать требования в технические решения
2. Описать способы технической реализации требований в виде архитектуры
3. Определить оптимальные технические решения.

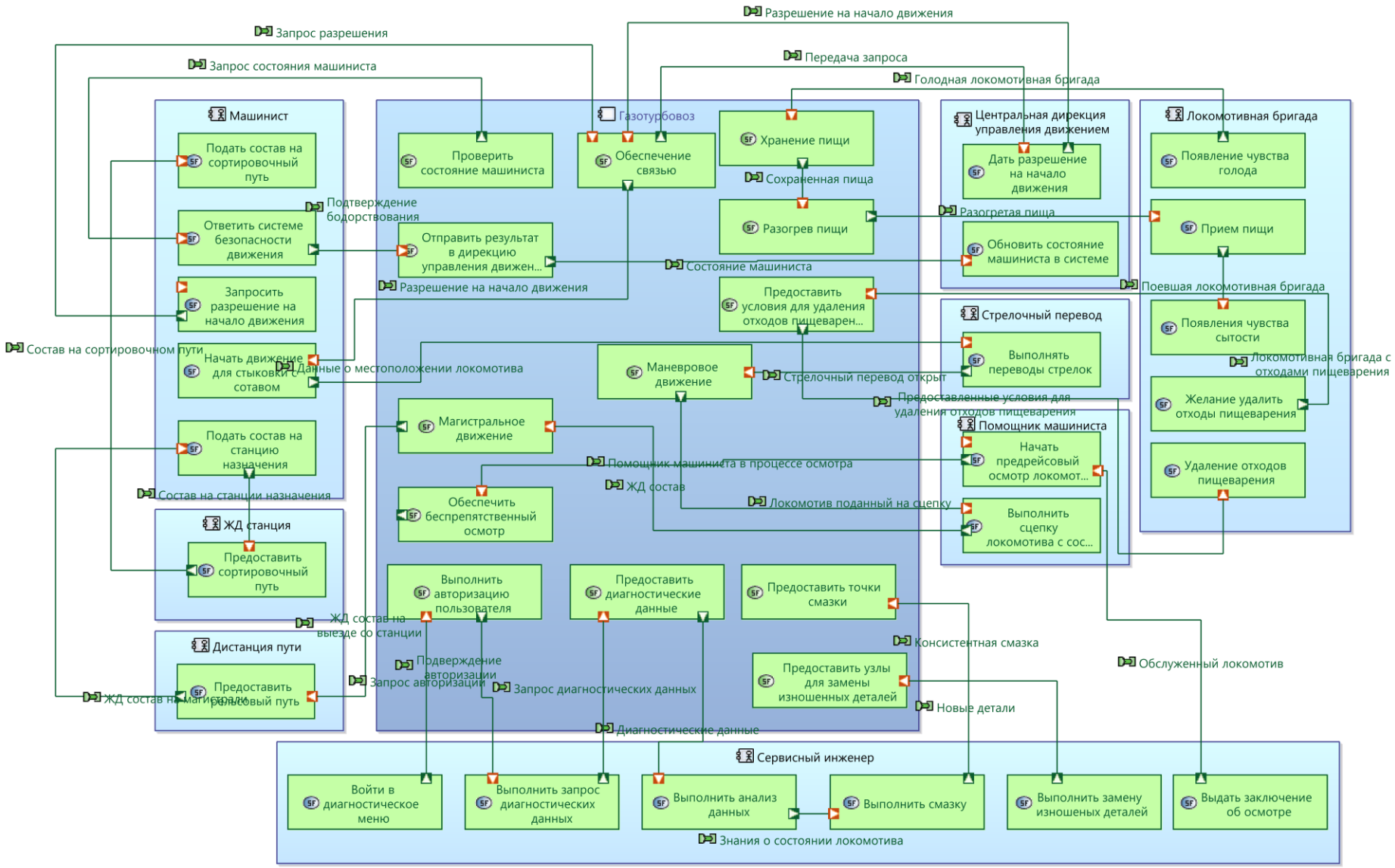
Что нужно делать:

1. Разработать функциональные и структурные моделей изделия
2. Определить и описать интерфейсы
3. Описать взаимосвязи архитектурных элементов с внешними системами
4. Подготовить данных для системного анализа вариантов архитектуры



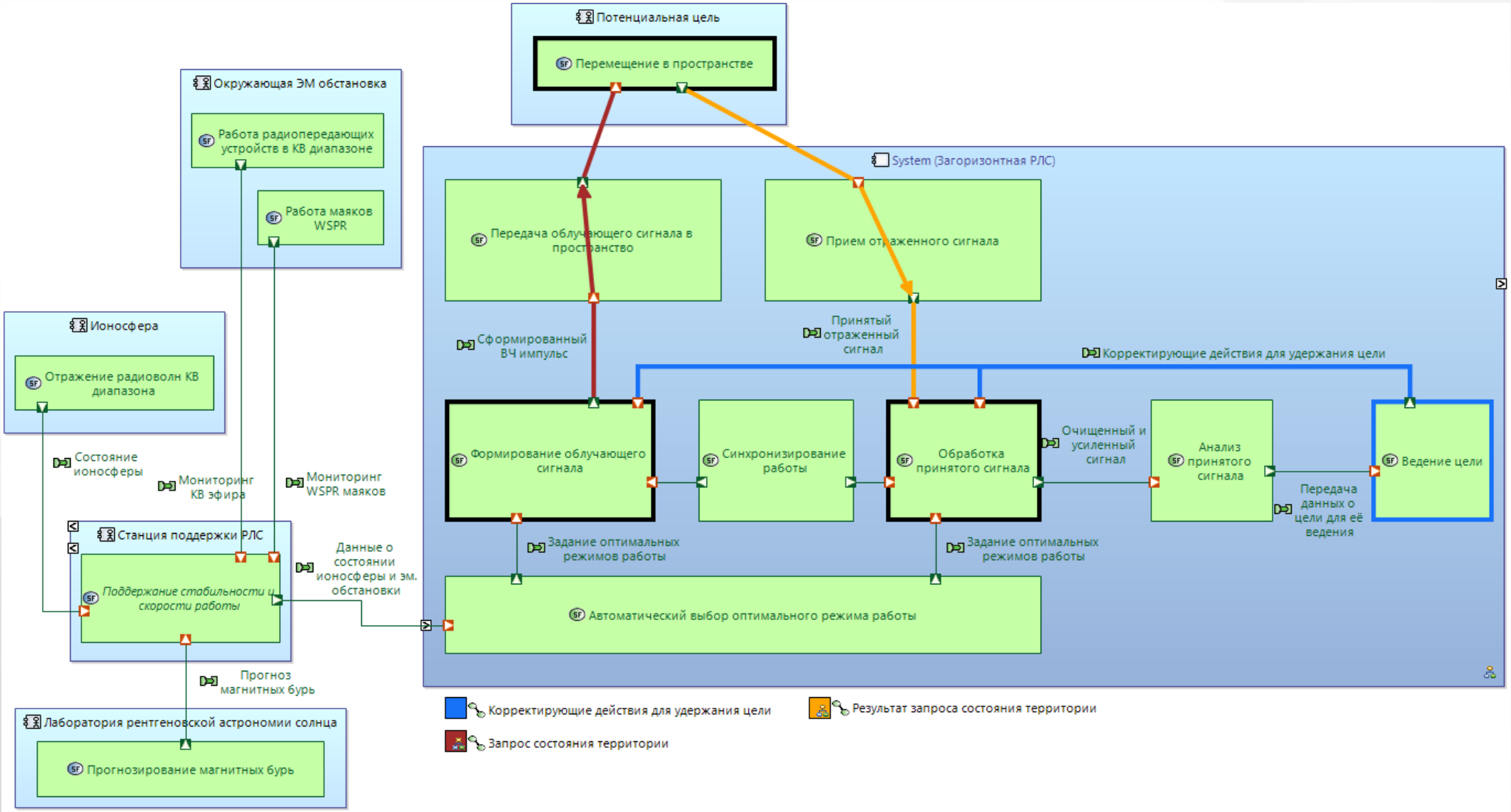
Определение функций

Моделирование в Teamcenter System Modeling Workbench



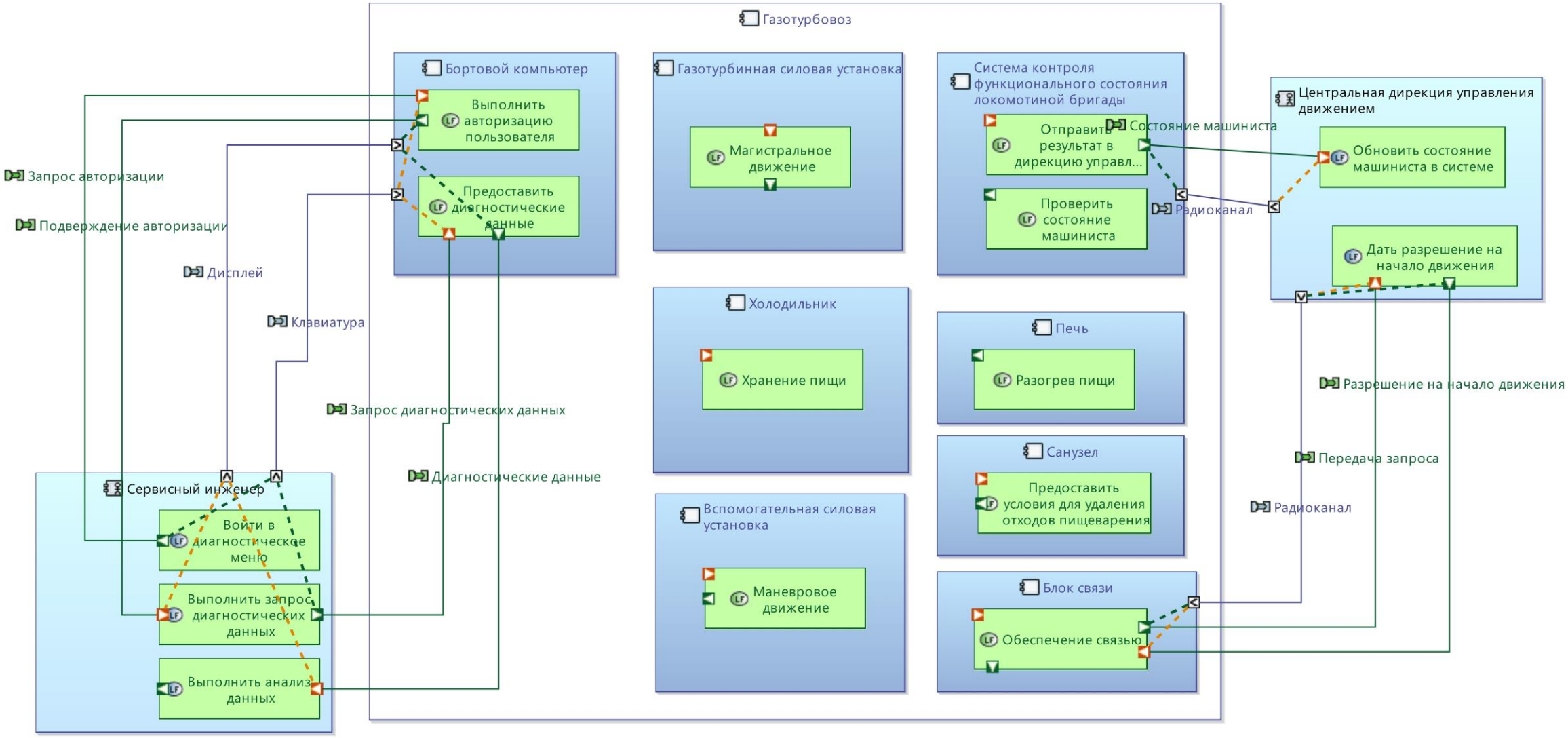
Выделение функциональных потоков

Моделирование в Teamcenter System Modeling Workbench



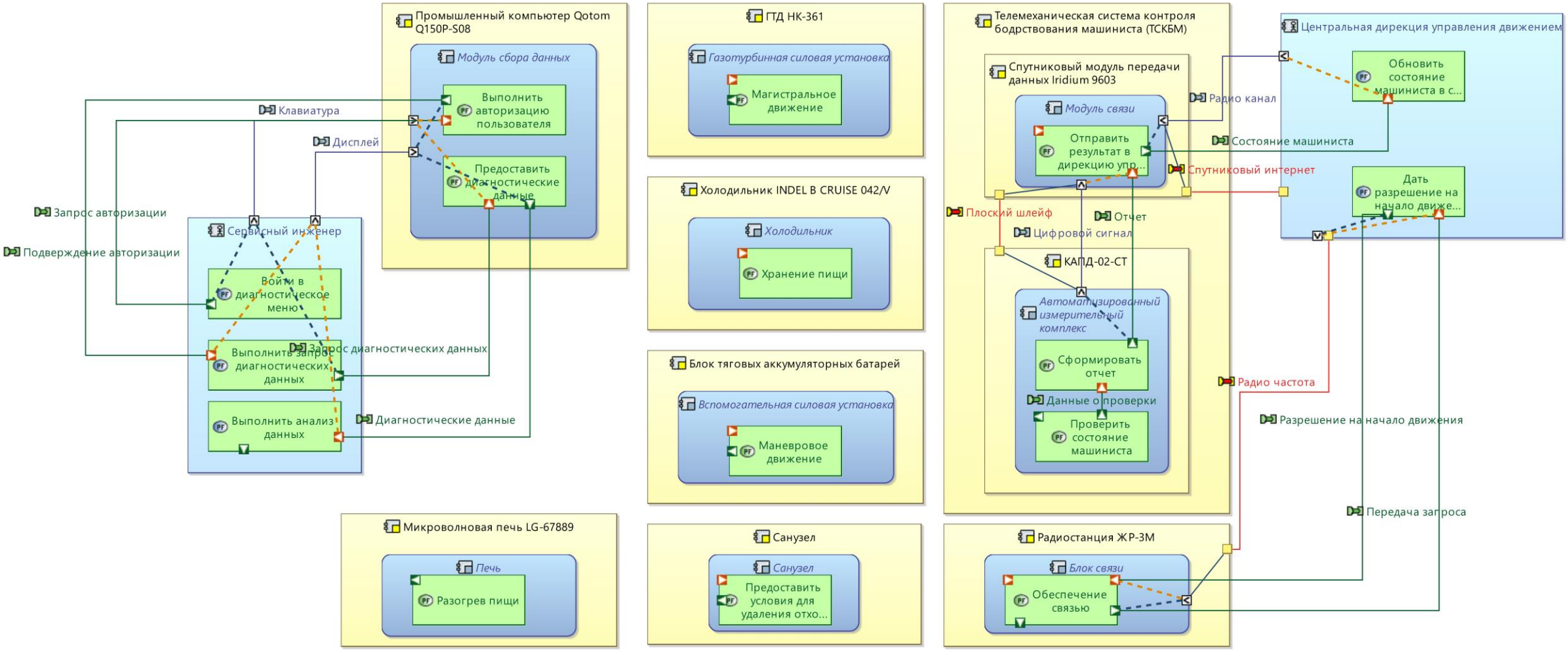
Определение логической архитектуры

Моделирование в Teamcenter System Modeling Workbench



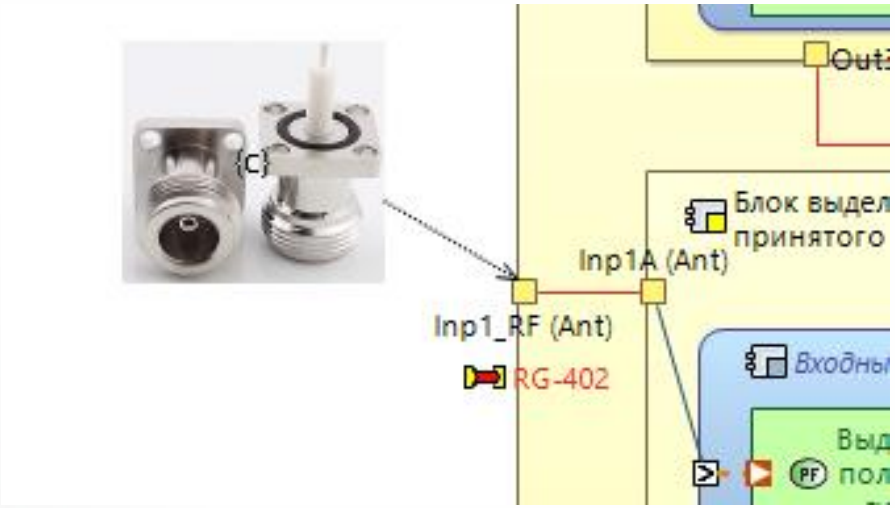
Физическая архитектура

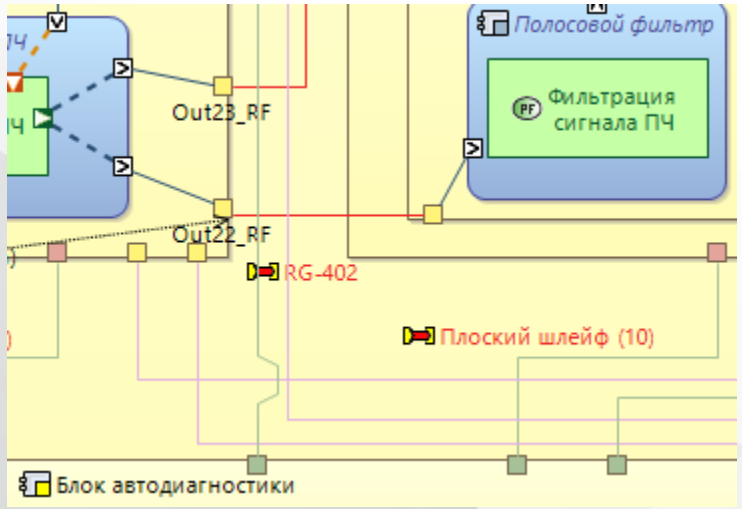
Моделирование в Teamcenter System Modeling Workbench



Определение и описание интерфейсов

Моделирование в Teamcenter System Modeling Workbench



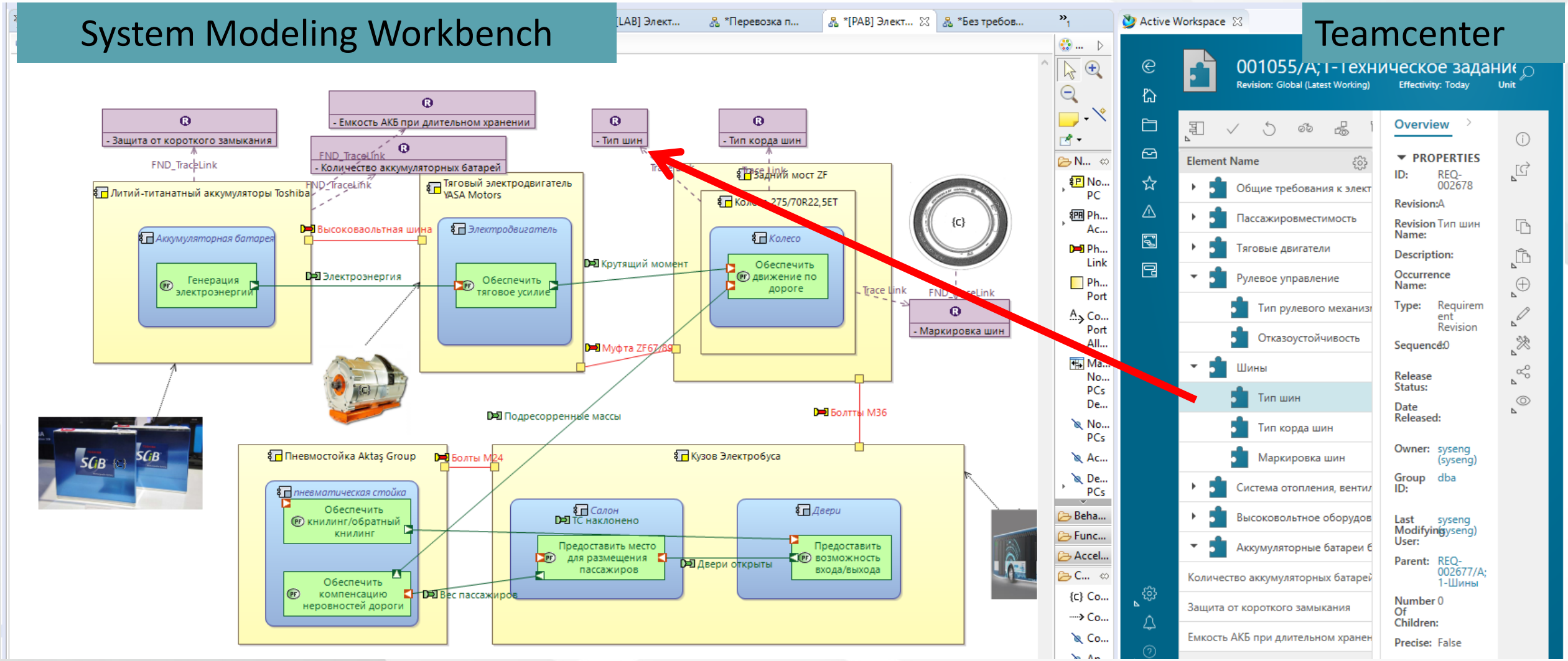


- Физические интерфейсы позволяют разрешить вопросы на уровне как блок А будет соединен с блоком Б, что за кабельная сборка будет использоваться, а может быть это будет просто пайка – контакт/контакт

- И также вы можете “поработать” с требованиями на это уровне, например, прописать требования к коаксиальному кабелю идущему от антенны к вашему приемному устройству

Инженерия требований: *трассировка требований на физические компоненты*

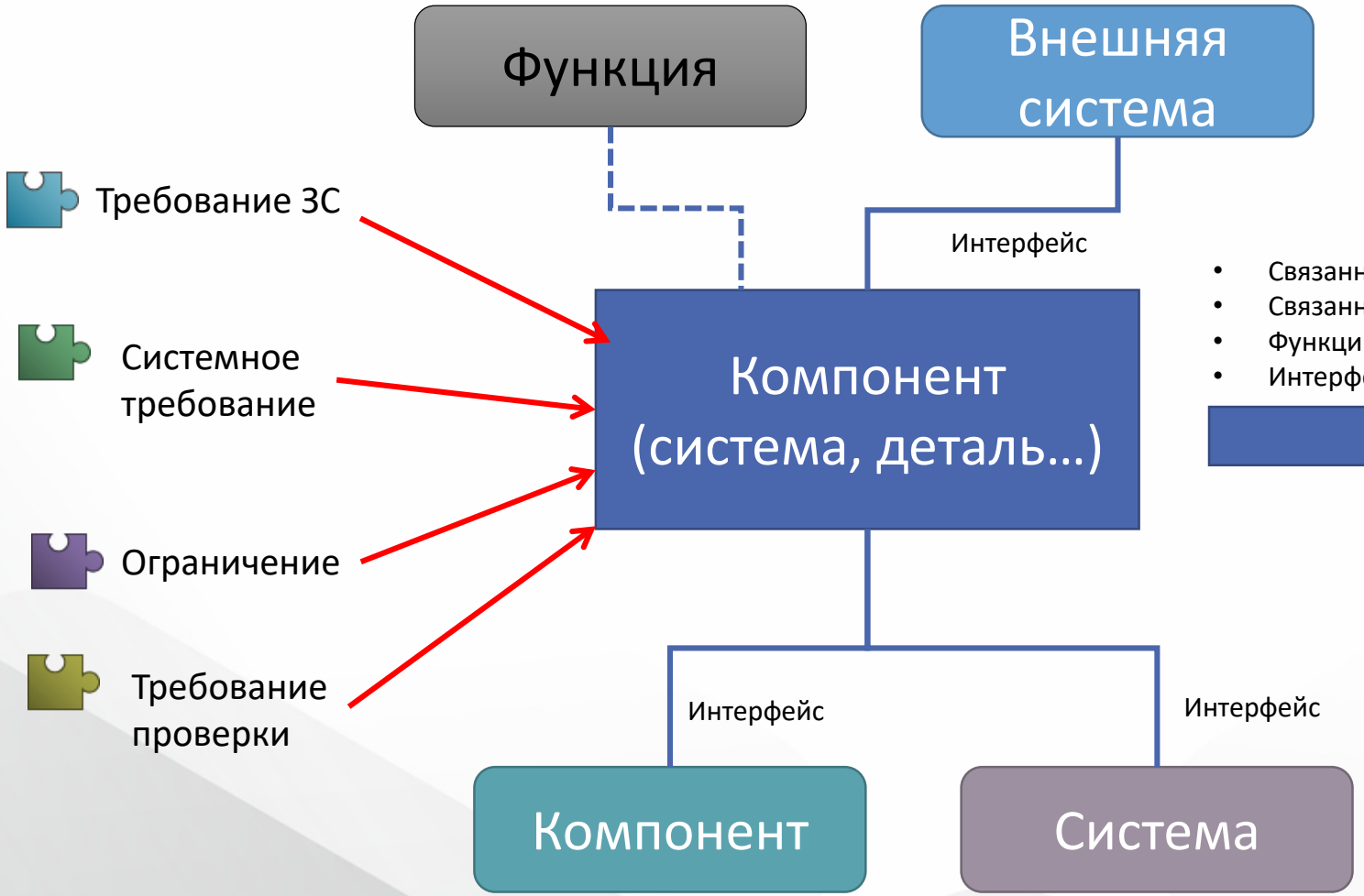
PLM УРАЛ



Пример трассировки требований из Teamcenter на физическую архитектуру в Capella

Формирование частных технических заданий

PLM УРАЛ



- Связанные требования
- Связанные системы и компоненты
- Функции
- Интерфейсы

ЧТЗ

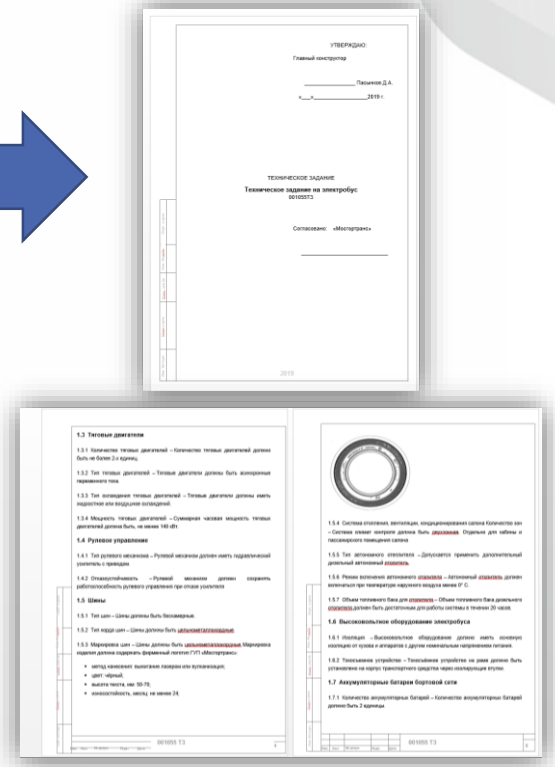
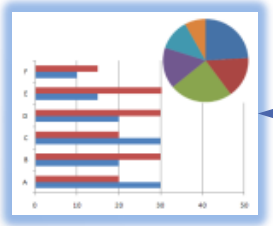


Схема последующего использования системной архитектуры

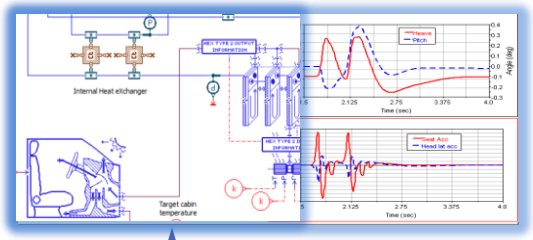
PLM УРАЛ

Анализ стоимости

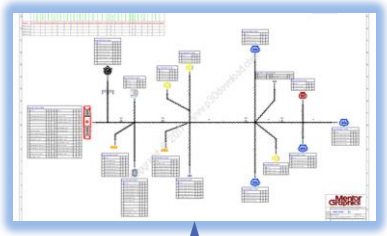


Системная архитектура

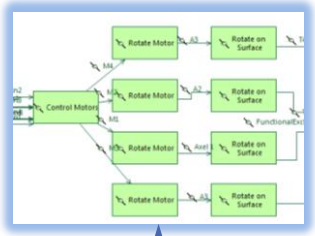
Анализ работоспособности



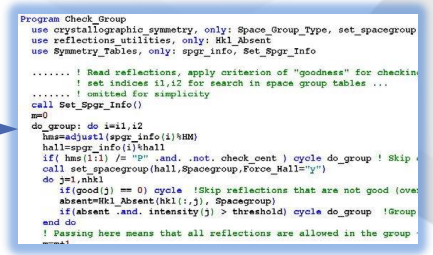
Проектирование электрики



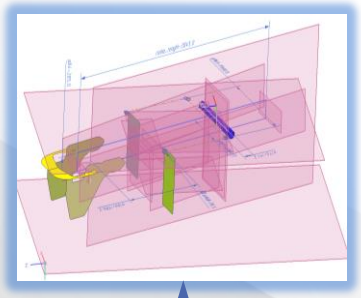
Моделирование систем управления



Разработка прикладного ПО



Моделирование геометрии

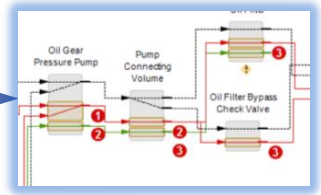


Системная архитектура

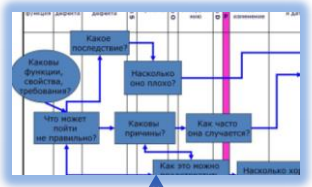
Системная архитектура

Системная архитектура

RAM, PHM-анализ и др.



FMEA-анализ



Системная архитектура

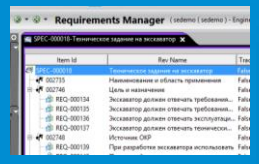
Системная архитектура

Системная архитектура

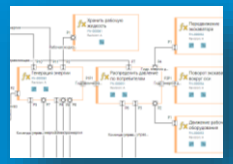
Teamcenter

Системная архитектура

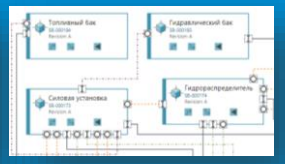
Модель требований



Функциональная модель



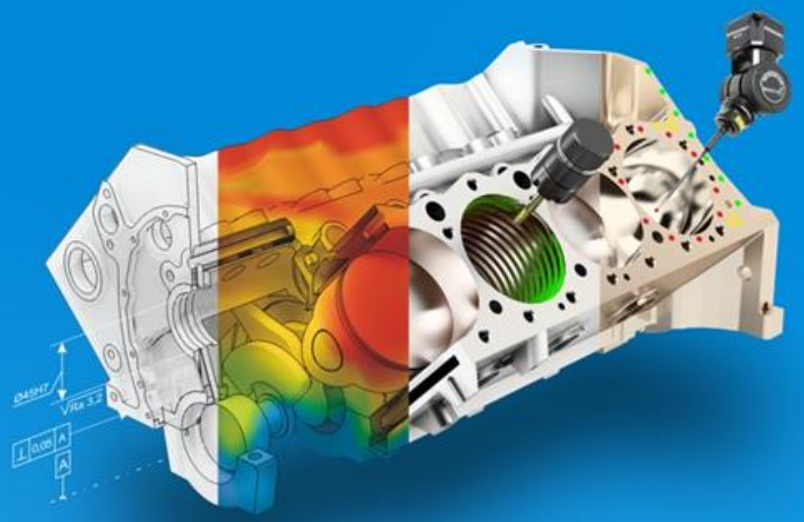
Логическая модель



Что вы получаете?

- Единую модель описывающую то как работает ваше изделие (система), какие функции выполняет, как оно связано с внешней средой (эксплуатирующей системой);
- Прозрачную историю превращения требований в конструкцию
- Модель доступную всем участникам проектирования, а не только памяти главного конструктора ушедшего в отпуск;
- Управляемую модель, с которой вы генерируете комплект документов автоматически;
- Обладая логической и физической архитектурой вы уже можете начинать работы с использованием специализированных средств, начиная от MATLAB-а и заканчивая SPICE моделировщиками.
- Обладая физической архитектурой вы можете планировать перечень закупаемых компонент.
- Обладая физической архитектурой и сопроводительными данными вы можете передавать задуманное в конструкторские подразделения для проработки.

Верификация и Валидация



Верификация и Валидация: *Суть*

PLM УРАЛ

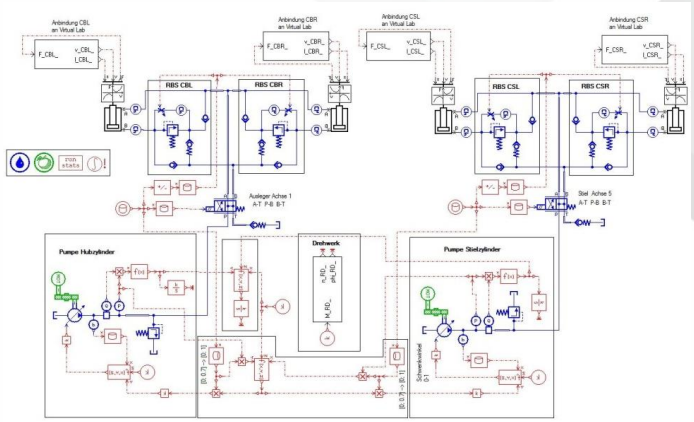
Ключевые задачи:

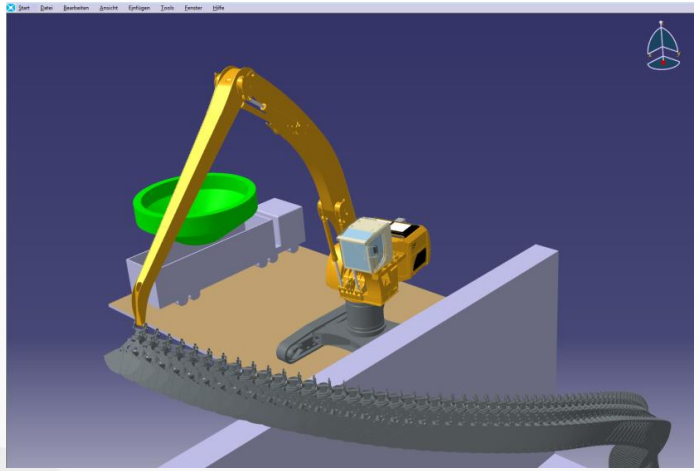
1. Обеспечить процесс соответствия проектной документации предъявляемым требованиям.
2. Минимизировать изменения на последующих стадиях проектирования.

Что нужно делать:

1. Трансформировать требования в мероприятия по верификации и валидации.
2. Запланировать и обеспечить контроль процессов верификации-валидации.
3. Выполнить запланированные процедуры верификации ивалидации

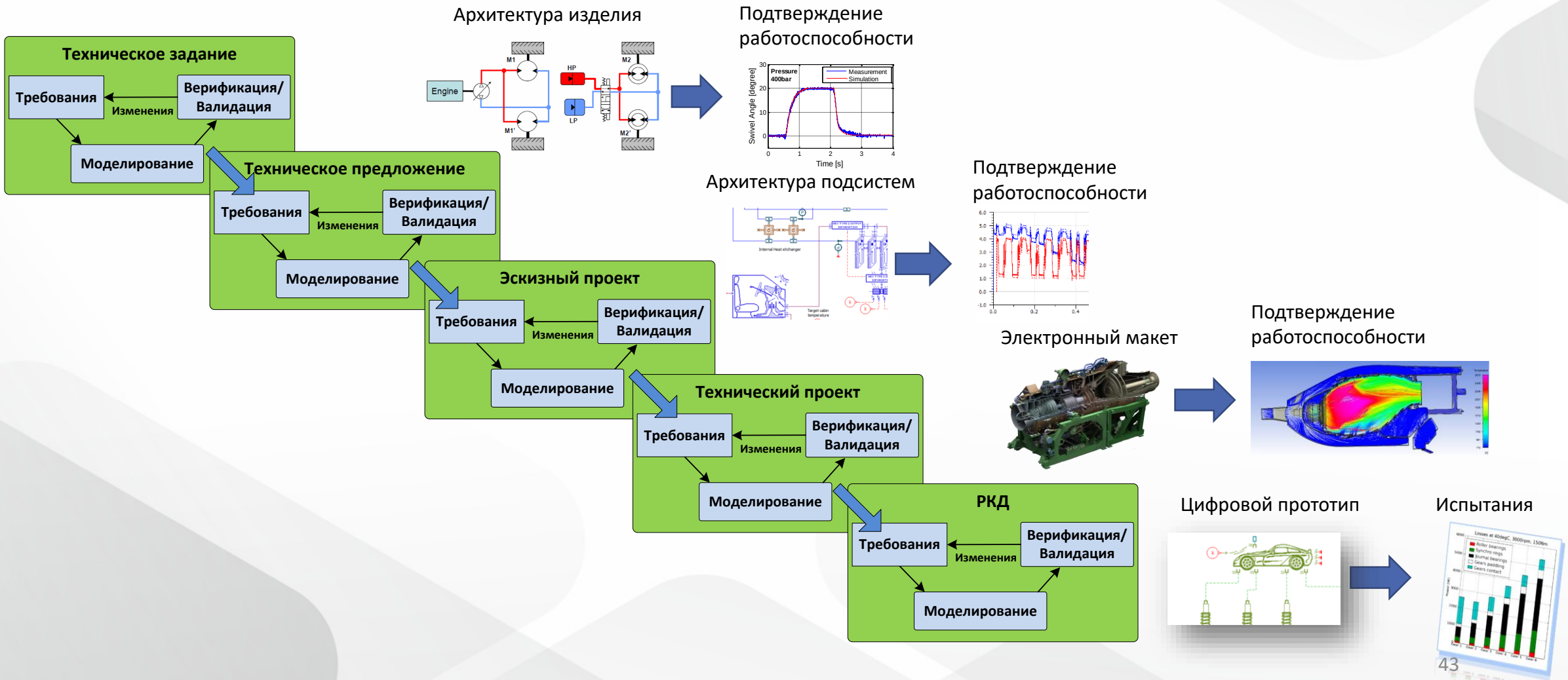
Валидация на базе цифрового прототипа (будет работать?)





Верификация и Валидация

Верификация и Валидация должны быть встроены в процесс разработки с самых ранних этапов.

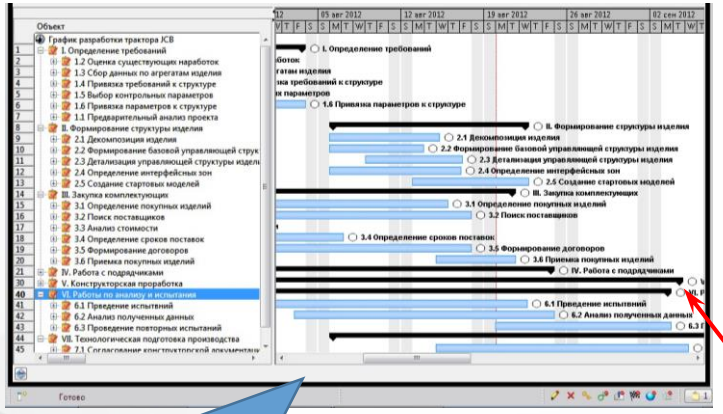


Верификация и Валидация

Формирование планов проверок

PLM УРАЛ

Установить этапы → Назначение тестов в плане → Определение/уточнение требований → Выполнение тестов → Непрерывный мониторинг → Выявление причин



Формирование планов проверок

Требования

Требования ЗС

Системные требования

Требование проверки

Требование проверки ТП1

- Способ проверки (проверка в «Цифре» и/или в «железе»)
- Метод проверки (1D, CAE, имитация поведения, простая инспекция и т.д.)
- Условия проверки

Формирование доказательной документации в соответствии с план-графиком

Доказательная документация

Заключения

Технические отчеты

Акты

Справки

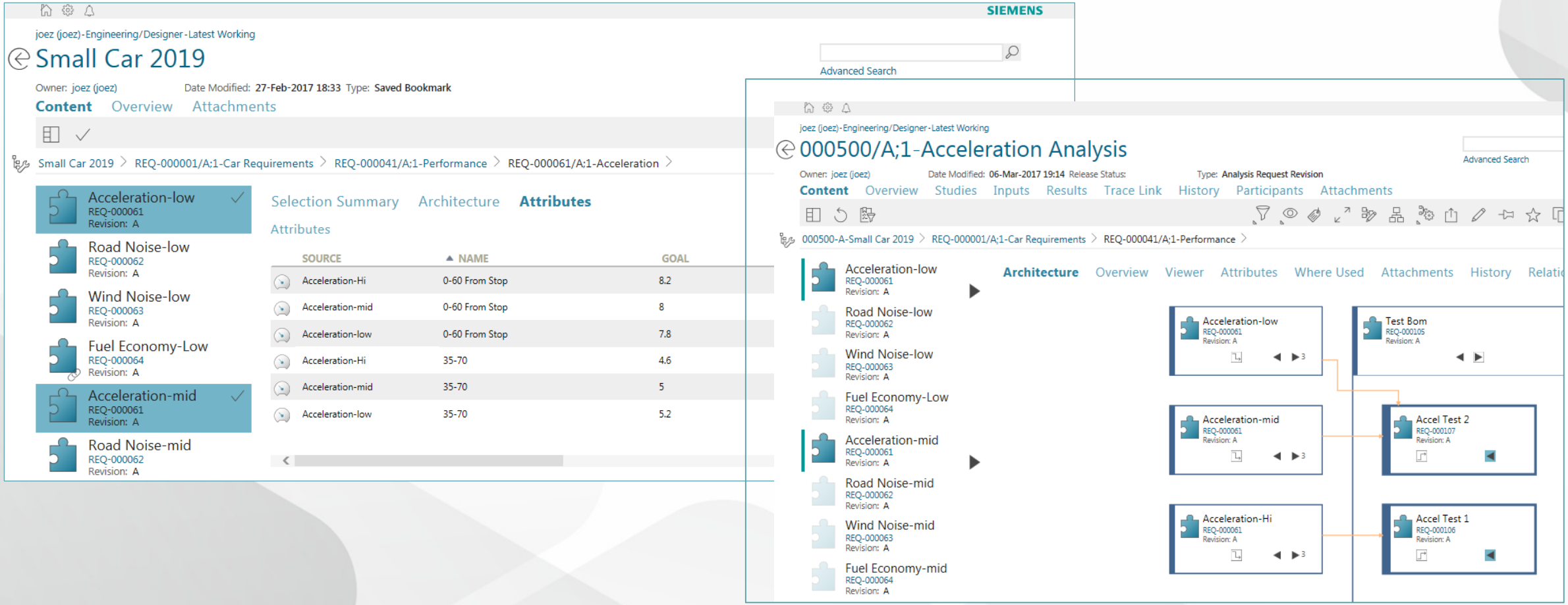
Расчеты

Верификация и Валидация:

Формирование планов проверок с использованием модуля Teamcenter DVP&R

PLM УРАЛ

Определяются контролируемые параметры и их значения.
Назначаются способы проверок



Верификация и Валидация:

Формирование планов проверок с использованием Teamcenter DVP&R

Формируются планы проверок

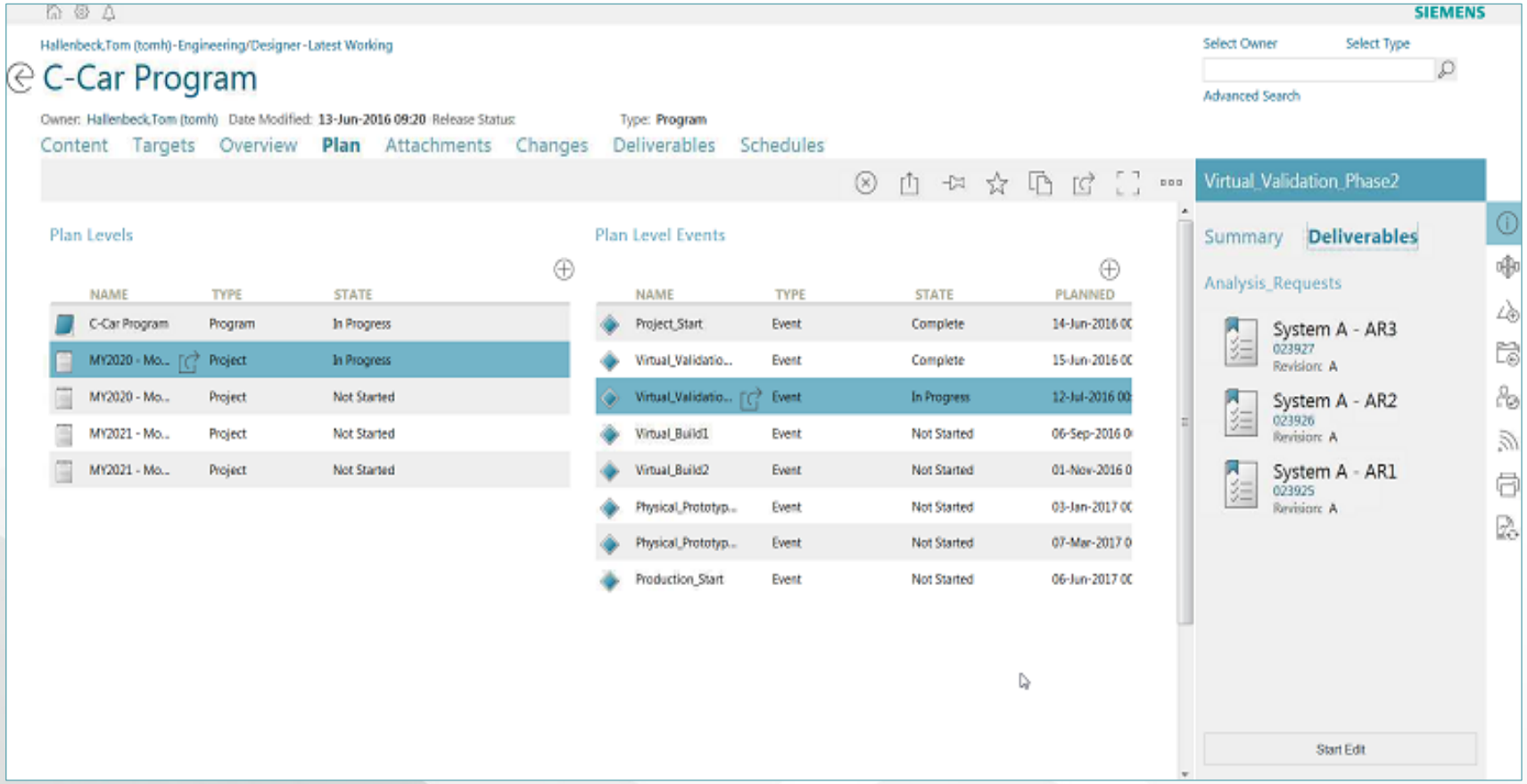
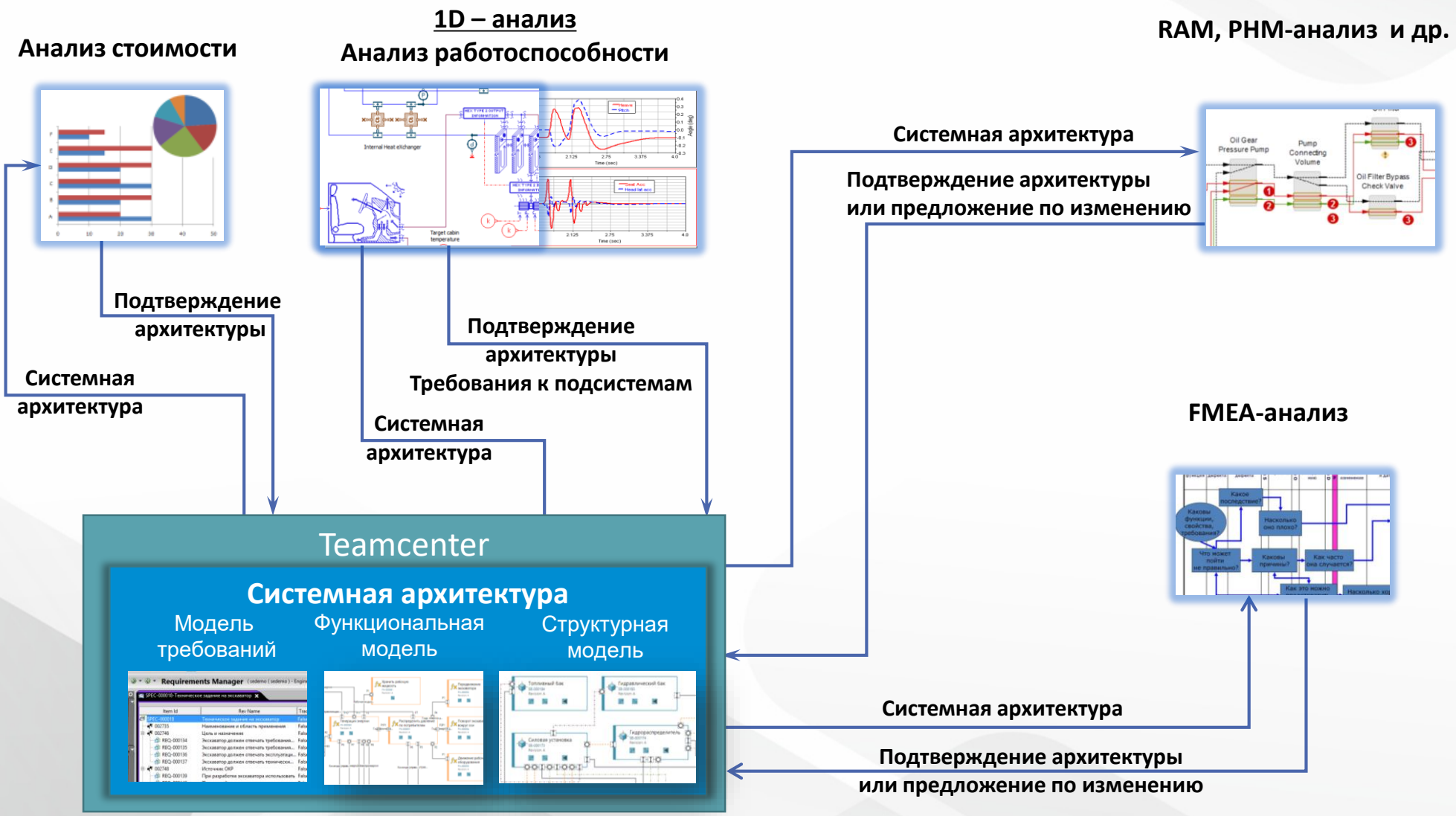


Схема последующего использования системной архитектуры

Архитектурная модель в SWM служит основой для верификации и валидации



Верификация и Валидация:

Формирование планов проверок с использованием Teamcenter DVP&R

PLM УРАЛ

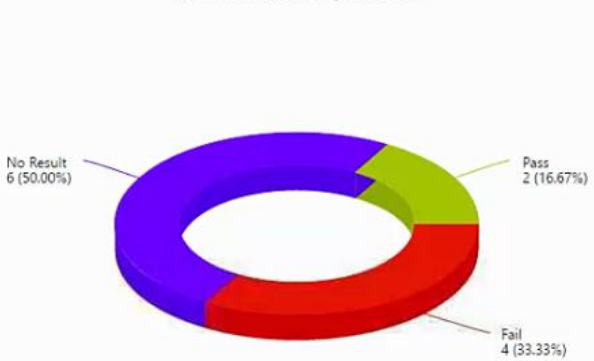
Визуализируется процесс контроля требований

Project Requirements Dashboard

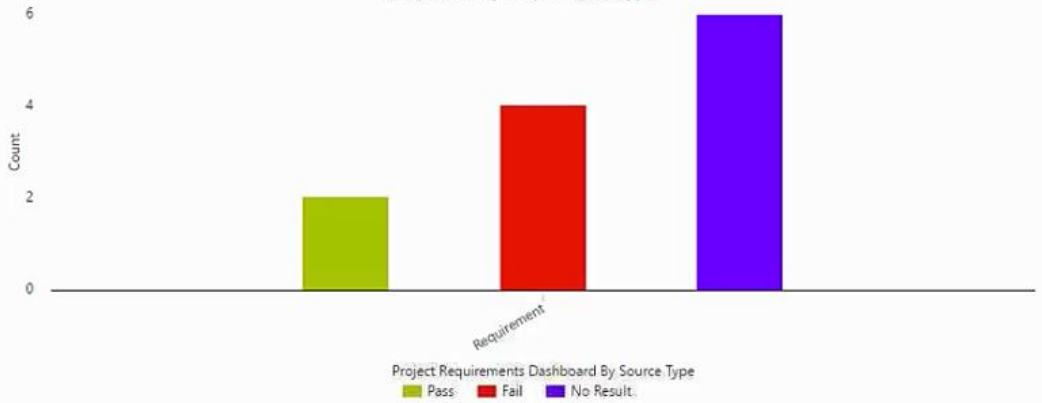
Advanced Search

Project Requirements Dashboard | Project Verification Plan and Results

Assessment for Project Event



Assessment by Requirement Type



Row : 1 out of 14

Analysis Requests w Requirements	Requirement Type	Project	Event	AR ID	AR Name	ARState	Assessment	Measurements	Pass	Fail	No Result	Attribute Name	Result	Goal	Value	Method	Attribute Date
000278/D:1-Acceleration Analysis		Model Year 2019	Milestone 3	000278/D	Acceleration Analysis	Publishing	Fail	6	2	4	0						
REQ-000061-Acceleration	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000278/D	Acceleration Analysis	Publishing	Fail	1	0	1	0	0-60 From Stop	Fail	7.8	20.0	Actual	02/12/2017 20
REQ-000061-Acceleration	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000278/D	Acceleration Analysis	Publishing	Fail	1	0	1	0	35-70	Fail	4.8	20.0	Actual	02/12/2017 20
REQ-000061-Acceleration	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000278/D	Acceleration Analysis	Publishing	Pass	1	1	0	0	0-60 From Stop	Pass	8.0	8.0	Evaluated	02/12/2017 20
REQ-000061-Acceleration	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000278/D	Acceleration Analysis	Publishing	Fail	1	0	1	0	35-70	Fail	5.0	6.0	Evaluated	02/12/2017 20
REQ-000061-Acceleration	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000278/D	Acceleration Analysis	Publishing	Pass	1	1	0	0	35-70	Pass	5.2	5.4	Actual	02/12/2017 20
REQ-000061-Acceleration	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000278/D	Acceleration Analysis	Publishing	Fail	1	0	1	0	0-60 From Stop	Fail	8.2	10.0	Actual	02/12/2017 20
000316/C:1-Road Noise Analysis		Model Year 2019	Milestone 3	000316/C	Road Noise Analysis	Analyzing	No Result	6	0	0	6						
REQ-000062-Road Noise	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000316/C	Road Noise Analysis	Analyzing	No Result	1	0	0	1	Asphalt 35		56.0			
REQ-000062-Road Noise	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000316/C	Road Noise Analysis	Analyzing	No Result	1	0	0	1	Asphalt 55 mph		56.0			
REQ-000062-Road Noise	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000316/C	Road Noise Analysis	Analyzing	No Result	1	0	0	1	Asphalt 35		57.800000000			
REQ-000062-Road Noise	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000316/C	Road Noise Analysis	Analyzing	No Result	1	0	0	1	Asphalt 35		54.0			
REQ-000062-Road Noise	Requirement	Model Year 2019	Milestone 3	000316/C	Road Noise Analysis	Analyzing	No Result	1	0	0	1	Asphalt 55 mph		60.0			

Результаты применения Системной инженерии

1. **Изделие соответствует заданным требованиям,** *за счет комплексного применения специализированных методик и инструментов*
2. **Соблюдение запланированных сроков,** *за счет качественного планирования, принятия правильных решений, исключения переделок и изменений;*
3. **Обеспечение требуемого качества,** *за счет проверки удовлетворения требований, прогноза эксплуатационных характеристик систем на ранних стадиях проектирования*
4. **Соблюдение запланированного бюджета,** *за счет принятия правильных проектных решений, сокращения изменений и натурных испытаний.*

Скорость

Гибкость

Стоимость

Качество

<u>10% затрат на внедрение системной инженерии дают выигрыш в 20% стоимости проектов, и на 50% увеличивают вероятность окончания проекта в срок.</u>

Примеры эффектов внедрения системной инженерии

PLM УРАЛ

GM

- Выпуск на рынок Chevy Volt **в 2 раза быстрее** аналогичных проектов (всего за 29 месяцев – рекорд для компании, которой для выпуска новой модели обычно требовалось не менее 60 месяцев).

Raytheon

- Сокращение времени тестирования и приемки продукции в среднем в **2 раза**
- Сокращение количества обнаруженных дефектов в готовом изделии **в 4 раза** (с 728 до 165)
- Сокращение разработки требований к программному обеспечению **в 5 раз** (с 10 до 2 дней)

BTI BROCKWELL TECHNOLOGIES, INC.

- Повышение надежности и безопасности создаваемых систем
- Снижение **на 40%** времени выхода продукции на рынок

EADS NORTH AMERICA

- **99%** проектов стали выполняться точно в срок
- Ушли проблемы с перерасходом бюджета

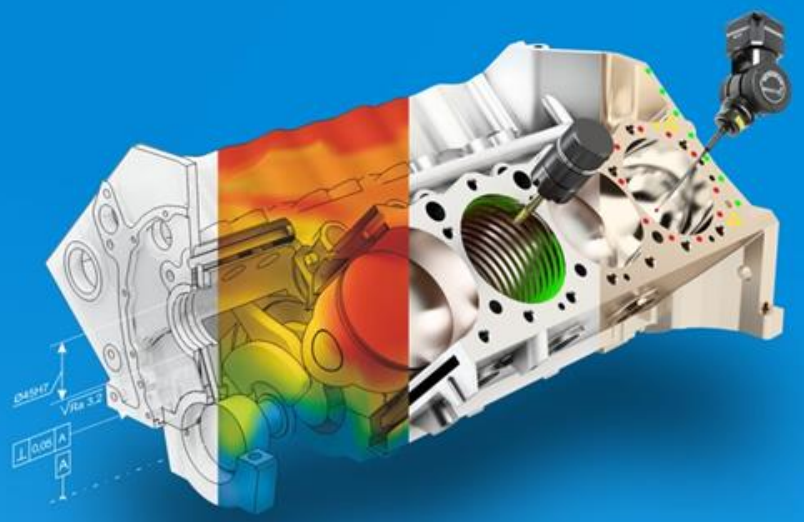
AIRBUS

- Уменьшилось количество исправлений;
- Заметно увеличилась процессная, методологическая, инструментальная и персональная эффективность в инжиниринге
- Снизился риск появления дефектов

Заключение

1. Системная инженерия - это междисциплинарные подход и средства, необходимые для воплощения успешных систем
2. Системная инженерия это один из способов справиться с возрастающей сложностью современных изделий. Она позволяет создавать изделия отвечающие исходным требованиям в запланированные сроки и бюджеты.
3. Максимальный эффект достигается при комплексном применении практик системной инженерии и реализующих их инструментов.
4. ГК «ПЛМ Урал» предлагает сотрудничество в области внедрения практик системной инженерии. Мы готовы поставлять необходимые методики, инструменты, перестраивать существующие процессы, обучать ваших сотрудников.

PLM УРАЛ

Спасибо за внимание!

ГК «ПЛМ Урал»
620131, г. Екатеринбург, ул. Металлургов, 16 Б
8-800-500-1993
info@plm-ural.ru
www.plm-ural.ru