

# Импортозамещение ПО для моделирования систем управления. MATLAB SIMULINK и SimInTech: экспертное сравнение и способы перехода

Екатеринбург, 2023



## Программа

- Адванс Инжиниринг - компетенции и направления развития
- MATLAB SIMULINK – обзор, история, тенденции
- SimInTech – обзор, история, тенденции развития
- Преимущества SimInTech
  - прозрачность блоков
  - скорость расчета, более новое и современное ядро
  - мультидисциплинарность
  - применение шага моделирования
  - генерация C-кода
  - возможность программирования как импортных, так и отечественных микропроцессоров
  - модуль переноса блоков
- Выводы, обсуждение



Инжиниринговый Центр  
Цифровых Технологий  
Машиностроения УрФУ





- **15+** лет опыта команды в реализации инжиниринговых проектов
- **100+** заказчиков из числа крупных промышленных предприятий в РФ
- **1+ млрд. руб.** выручка от реализации инжиниринговых проектов, поставки и внедрения инженерного ПО

г. Екатеринбург, БЦ «Саммит», ул. 8 Марта, д. 51, этажи 17, 19

+7 (495) 760-98-52

info@advengineering.ru

## КЛЮЧЕВЫЕ ПАРТНЁРЫ И ЗАКАЗЧИКИ



# Адванс Инжиниринг Инжиниринговый Центр Цифровых Технологий Машиностроения



ИНИЦИАТОР  
ПРОЕКТА



МИНИСТЕРСТВО  
НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ



ADVANCE  
ENGINEERING

ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



Выполнение инженерных работ

Цифровое моделирование и проектирование

Подготовка и повышение квалификации инженерных кадров

Образовательная практико-ориентированная среда

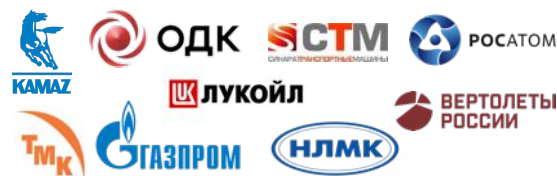
Проведение НИР при цифровизации предприятий

Создание инжиниринговой инфраструктуры

Внедрение программного, аппаратного обеспечения

Развитие будущих кадров  
Инженерная школа, талантливая молодежь

## Основные Заказчики



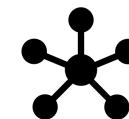
## КАДРЫ

130 специалистов  
средний стаж  
17 лет



Научно-инженерные коллективы ВУЗа

## ОБОРУДОВАНИЕ



Полимеры



Испытательные лаборатории

Металло-обработка



Аддитивные технологии



## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ansys

SIEMENS  
Ingenuity for Life

T-FLEX PLM

FlowVision

DATADVANCE

BETA  
SIMULATION SOLUTIONS

OPENLM

АПМ

3VS | SOFTWARE DEVELOPMENT

VCOLLAB  
ACCURATE SIMULATION PARTNERS

Fracture Analysis Consultants, Inc.

SimInTech

ЛОГОС

FRANC3D

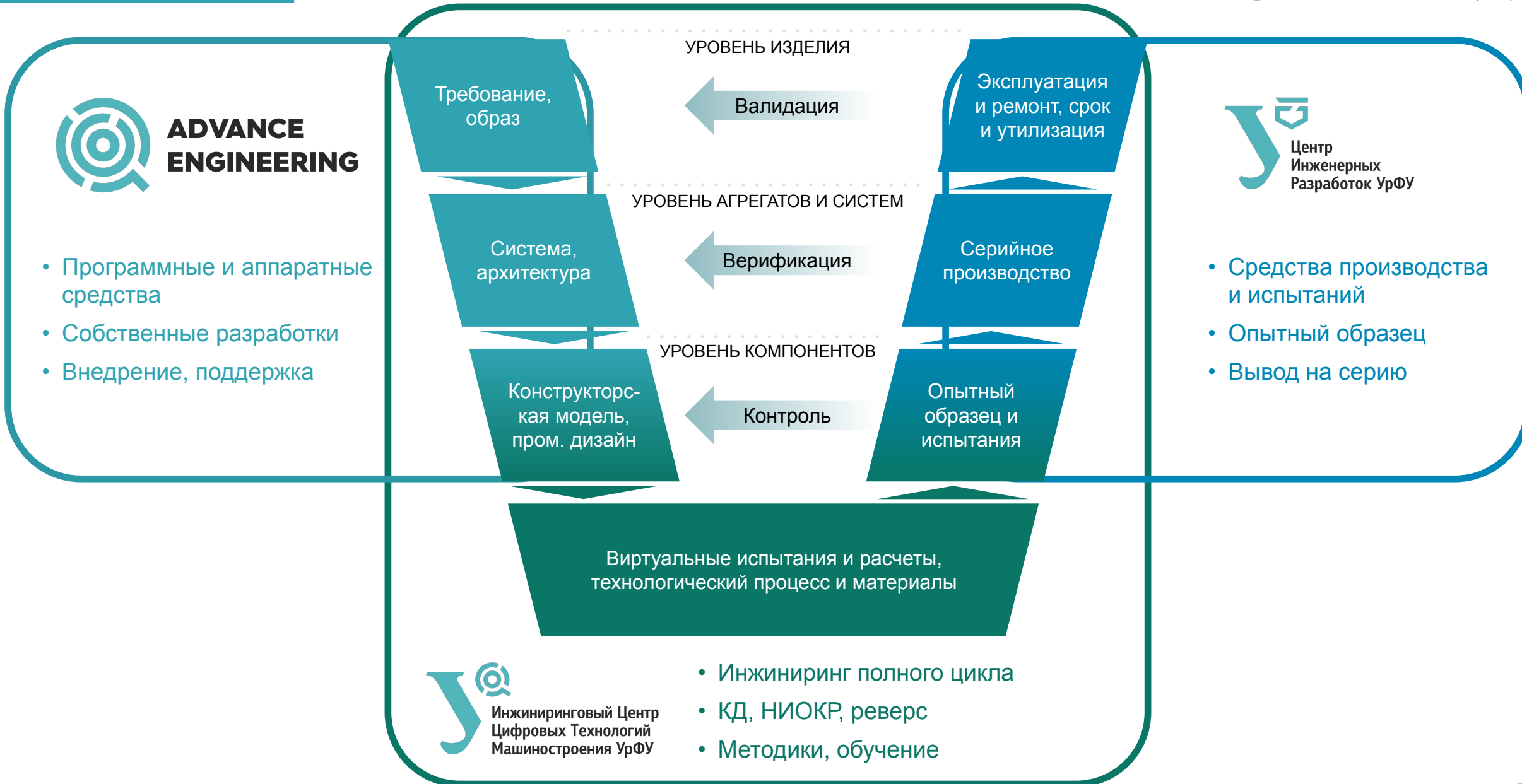
Модура

АДСОН

IOSO  
TECHNOLOGY

ТЕСИС





# Реализуемые проекты по реверс-инжинирингу изделий

Крыльчатка вентилятора Punker



Статус:

Приемочные  
испытания

Ножи гранулятора CMP (3 вида)



Статус:

Изготовление  
опытного образца

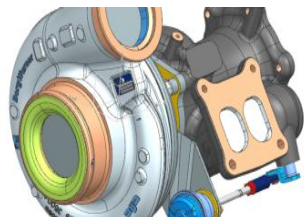
Рабочее колесо насоса EGGER



Статус:

Предварительные  
испытания

Турбокомпрессоры BW/HOLSET



Статус:

Разработка РКД

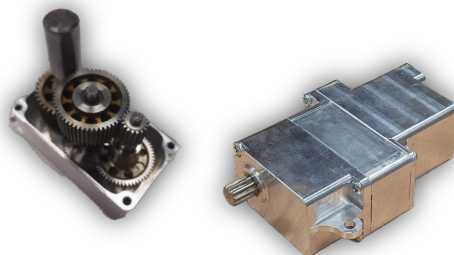
Модуль масляного фильтра с теплообменником UFI



Статус:

Предварительные  
испытания

Сервопривод КСТ



Статус:

Приемочные  
испытания

Вентилятор с муфтой в сборе BorgWarner



Статус:

Изготовление опытного  
образца

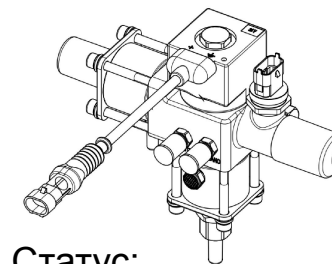
Компрессор холодильный



Статус:

Разработка РКД

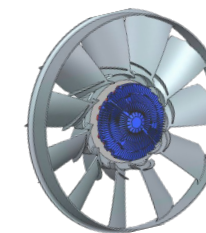
Редуктор газовый METATRON



Статус:

Разработка РКД

Вентилятор с муфтой в сборе BorgWarner



Статус:

Разработка РКД



Работы с АО «ОДК», АО «ВР», ПАО «ОАК», ПАО «КАМАЗ», АО «СТМ», ГК РОСАТОМ, ГК РОСТЕХ и др.

Внедрение полного цикла расчетов на прочность подвески грузовых автомобилей (CAE для конструкторов)

Разработка и реализация проведения расчетов в PLM Teamcenter с использованием кластера

Разработка и реализация стратегии развития в области цифрового проектирования и CAE расчетов

Методика расчета системы кондиционирования и вентиляции салона вертолета

Разработка усовершенствованной методики 3D-CAE расчета камеры сгорания ГТД

Разработка и верификация многомасштабной модели ПКМ для задач удара лопатки вентилятора ГТД

Моделирование внешней аэродинамики головного вагона электропоезда

Комплексное внедрение технологий цифрового двойника при проектировании ГТД

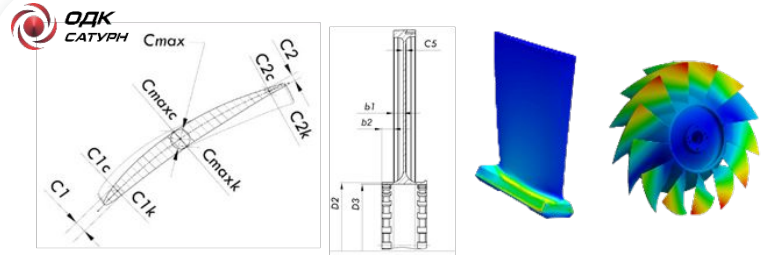
Разработка методики оценки аэродинамических характеристик фюзеляжа вертолета

Разработка и реализация стратегии развития в области цифрового проектирования и CAE расчетов

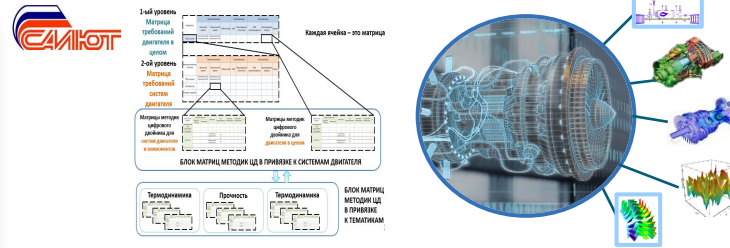
Реализовано более 100 уникальных проектов за последние 3 года

Комплексные CAE-расчеты (создание цифрового прототипа) в рамках разработки перспективного Р6

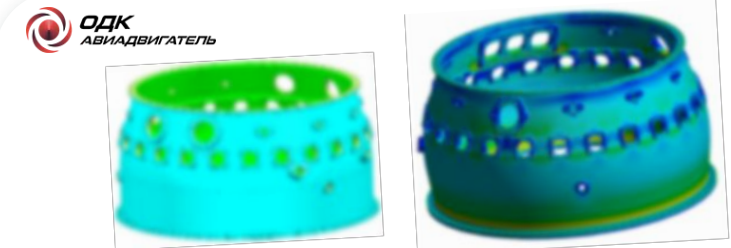
# Опыт реализации проектов Адванс Инжиниринг и ИЦЦТМ УрФУ для АО «ОДК»



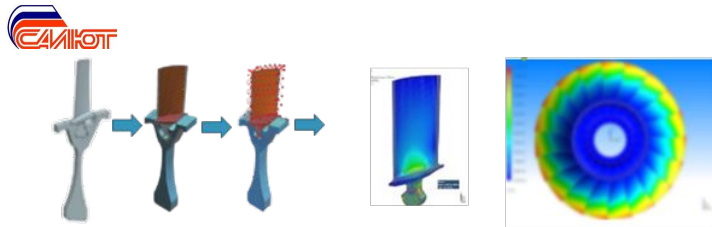
Автоматизированный анализ типовых производственных отклонений деталей ГТД



Комплексное внедрение технологий цифрового двойника при проектировании ГТД

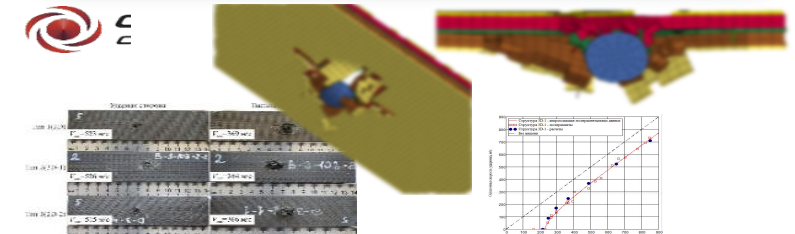


Оптимизация корпуса КС по массе и долговечности

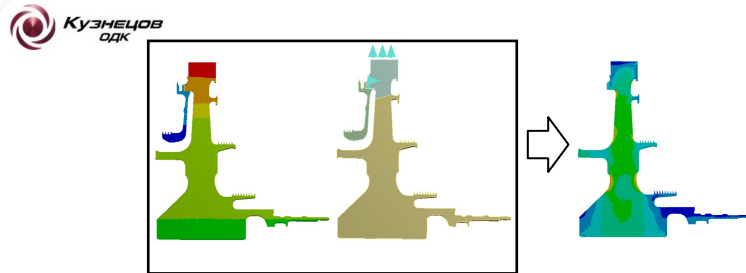


Расчетные методики в Simcenter 3D для отдела конструкторов

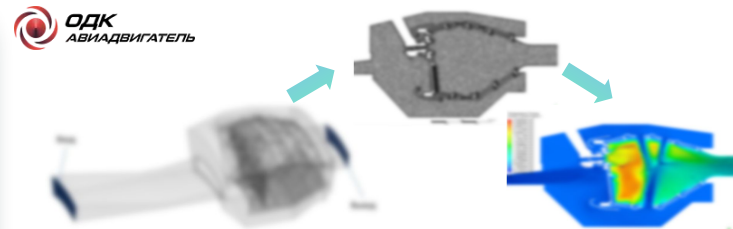
Реализовано (реализуется) более 20 проектов за последние 3 года для ПК «Салют», «ОДК-Авиадвигатель», «ОДК-Сатурн», «ОКБ им. А.М. Люльки», «ОДК-Стар» и др.



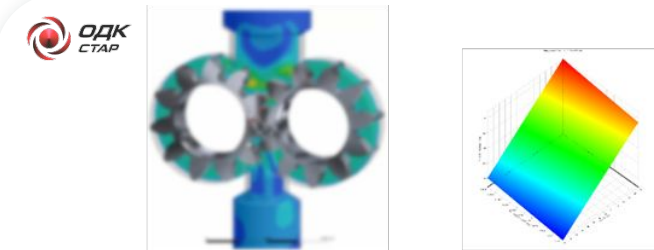
Разработка и верификация многомасштабной модели ПКМ для задач удара лопатки вентилятора ГТД



Расчётная оценка кинетики роста трещины



Разработка усовершенствованной методики 3D-CAE расчета камеры сгорания ГТД



Разработка методики гидродинамических расчетов шестеренного насоса с учетом кавитации

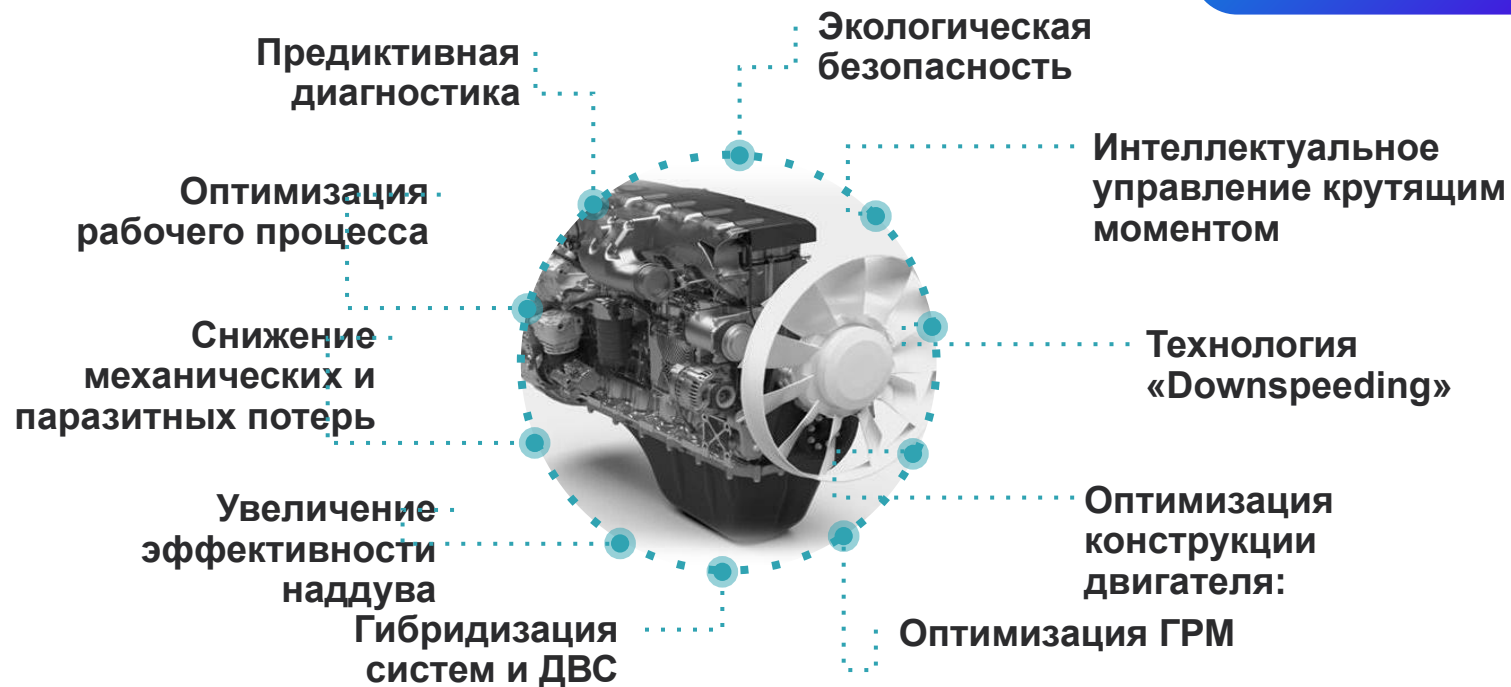
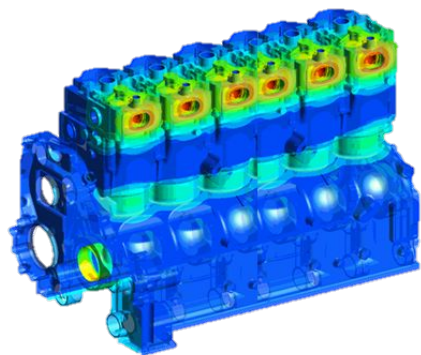
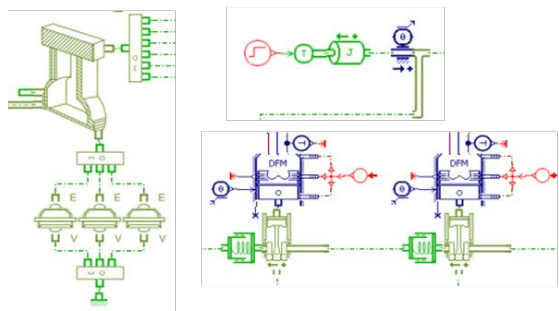


# Создание перспективного поколения двигателей КАМАЗ Р6

## Цель проекта:

Создание перспективного поколения двигателей КАМАЗ Р6 экологического класса с достижением перспективных целевых потребительских показателей, экологической безопасности, с высоким уровнем локализации производства и конкурентной себестоимостью.

Срок реализации  
**4 года**



Патентные исследования и бенчмаркинг

Системный инжиниринг

Создание цифрового прототипа

Разработка комплекта РКД

Изготовление и испытания опытных образцов

Подтверждение целевых показателей

# Опыт в НИОКР по разработке ДВС

Исследования и разработка методологии модели-ориентированного системного инжиниринга, виртуальных испытаний и прототипирования ДВС

Текущие параметры:

Количество Прототипов 4 (A.B.C.D)

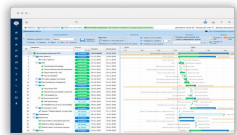
Точность разработки прототипов

Старт

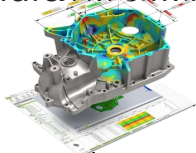
Ресурс 1 800 000 км

Разработка прототипа 8 месяцев

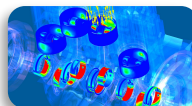
Научный результат.  
Разработка методологии **декомпозиции требований ДВС.**  
Инженерный результат.  
• Модель требований



Научный результат.  
Разработка методик **параметризации трехмерных моделей ДВС.**  
Инженерный результат.  
• 3D модели исследуемых двигателей оптимизированные



Научный результат.  
**Повышение показателей надежности ДВС** путем исследования влияния рабочего процесса.



Step 1

Step 2

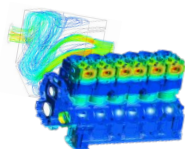
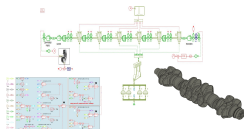
Step 3

Step 4

Step 5

Step 6

Step 7



Научный результат.  
Создание методик системного моделирования ДВС.  
Инженерный результат.  
• **1D модели для проработки конструкторских решений**

Научный результат.  
**Оптимизация воздушной и тепловой моделей ДВС.**  
Инженерный результат.  
• Виртуальные прототипы воздушной и тепловых систем

Научный результат.  
Разработка методик **ускоренного прототипирования ДВС.**  
Инженерный результат.  
• Натурные прототипы двигателей и методики испытаний

Интеграция компонентов цифрового двойника ДВС в единую цифровую среду с применением **модели-ориентированного системного инжиниринга**

Разработка нового семейства двигателей V8

V1

2



Разработка нового семейства двигателей V12

V1

6

до 80% отечественных комплектующих



# Команда ИЦЦТМ УрФУ Самара: уникальные инженерные компетенции Safran

Открытие обособленного подразделения  
в г. Самаре в июле 2022 г.

**Команда с уникальными инженерными компетенциями и опытом работы в области авиастроения:**

- Конструкторская группа – 7 человек
- Прочностные расчёты – 10 человек
- Гидродинамические расчёты – 1 человек
- Программирование – 2 человека
- Системный администратор – 1 человек



## Задачи:

Разработка ПО

IT инфраструктура

Исследов. в IT

IT консалтинг

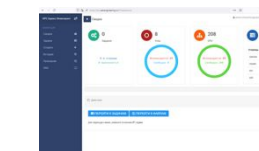
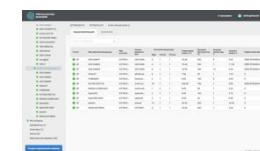
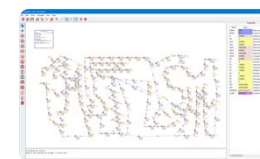
IT команда  
ИЦЦТМ УрФУ

12 специалистов

- Аналитики
- Дизайнеры
- Front-end
- Back-end
- Тестировщики

## Собственные программные продукты

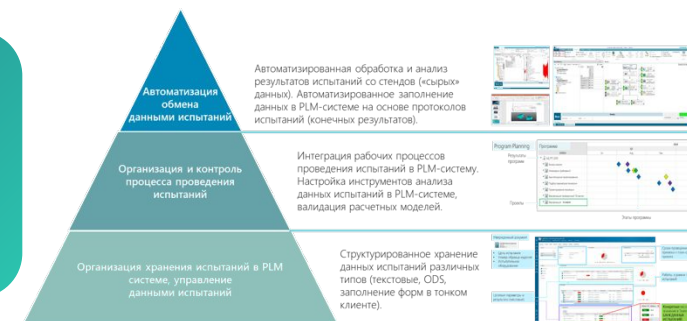
- Программа одномерного гидравлического расчёта «ГрафПро»
- Платформа статистической обработки данных о материалах «Авистат»
- Веб интерфейс для управления кластером виртуализации «AEVManager»
- Академия цифрового инжиниринга
- Портал для доступа расчётчиков к кластерам «JustHPC»



Разрабатывается платформа для анализа рисков с ПАО «КАМАЗ»



Разрабатывается платформа для прогнозирования поломок двигателей с ПАО «КАМАЗ»



## Системное моделирование



## Инженерные расчеты и оптимизация

ЛОГОС

DATADVANCE



## PLM/PDM



- Партнерские соглашения с ведущими российскими разработчиками программного обеспечения.
- Обучение, сертификация (НТЦ АПМ, Датадванс, ЛОГОС).
- Совместные с вендором комплексные проекты внедрения (Датадванс).
  
- Соглашение о вступлении в консорциум Разработчиков и Пользователей ПО (РОСАТОМ), участие в валидации программных продуктов.
- Сравнительный анализ доверенного и российского ПО на собственных задачах и в проектах заказчиков.



# MATLAB SIMULINK и SimInTech: экспертное сравнение и способы перехода

---



**ADVANCE  
ENGINEERING**



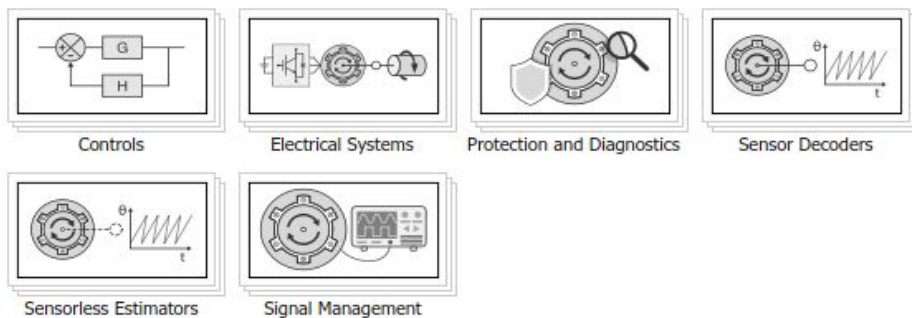
Инжиниринговый Центр  
Цифровых Технологий  
Машиностроения УрФУ



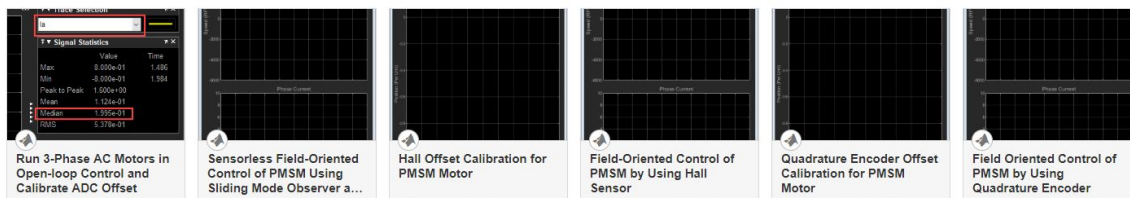
- ✓ Большое количество готовых и отлаженных моделей в MATLAB у российских предприятий.



- ✓ Множество специализированных библиотек (например **Motor Control Blockset** - для управления электродвигателями)



- ✓ Большое количество готовых учебных моделей и

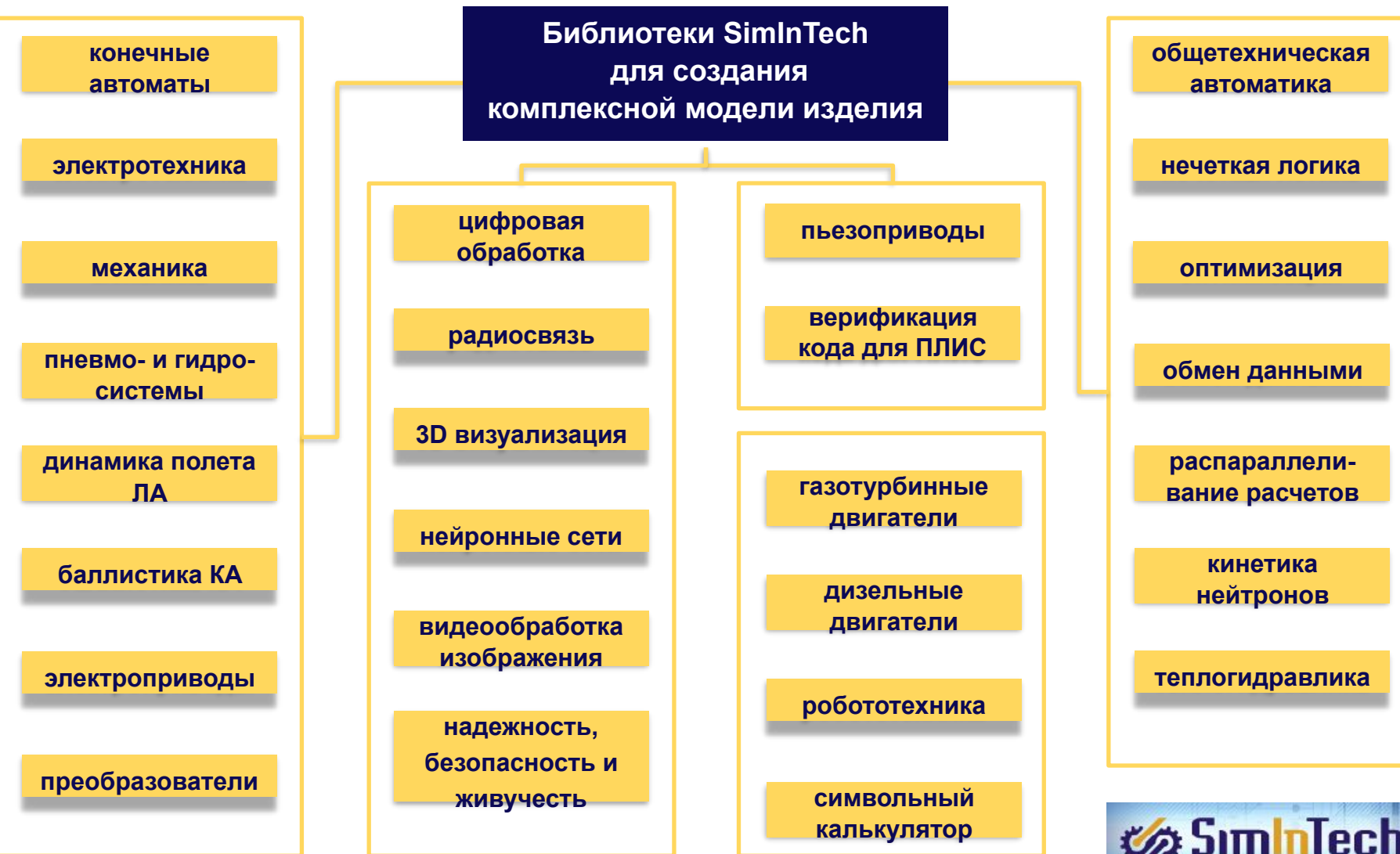




## От моделирования к сквозному процессу создания САУ







**Обработка сигналов**

- Буфер последовательного ввода данных
- Буфер последовательного вывода данных
- FIFO Буфер FIFO/LIFO
- FFT Быстрое преобразование Фурье
- IFFT Обратное быстрое преобразование Фурье
- Фильтр FFT
- Модуль комплексной пары
- Цифровой IIR-фильтр
- KI(X)-фильтр
- KI(X)-фильтр: расчетное ядро
- Цифровой бiquadratic-фильтр
- DCT Дискретно-косинусное преобразование
- IDCT Обратное дискретно-косинусное преобразование
- Дискретный фильтр Калмана

**Механика**

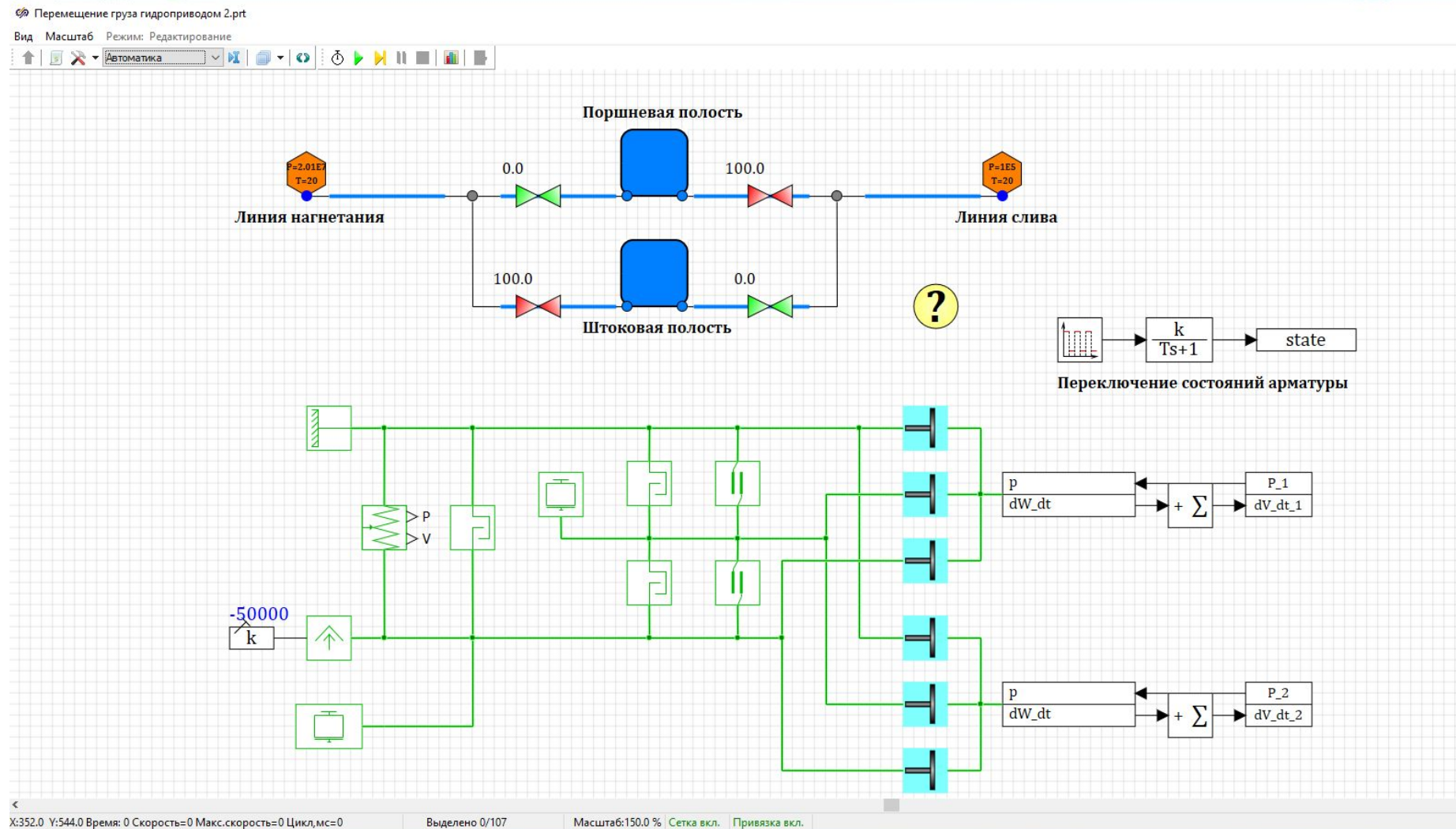
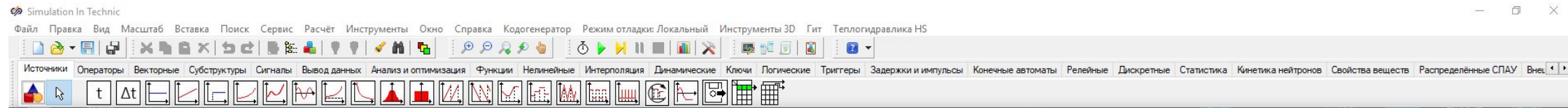
- Элементы вращения
- Элементы поступательного движения
- Механические источники
- Механические датчики
- Электромеханические преобразователи
- Механизмы
- Редукторы
- Муфты и соединения
- Тормоза и фиксаторы

**Теплогидравлика**

- Узлы
- Каналы
- Стенки и тепловые структуры
- Баки
- Арматура
- Турбонасосное оборудование

**Электроприводы**

- ЭП типовые блоки
- ЭП асинхронный
- ЭП с бесколлекторным двигателем постоянного тока
- ЭП синхронный
- ЭП гибридный шаговый двигатель



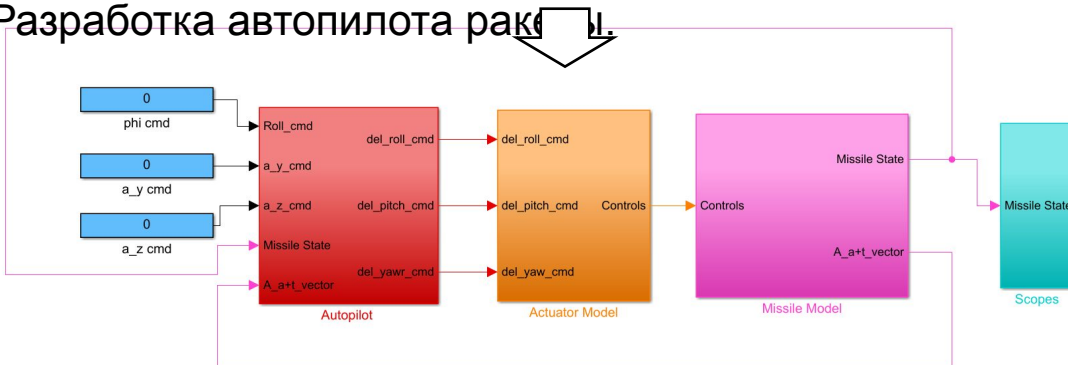
## Справочная система SimInTech (v13.04.2023)

- Содержание Поиск Индекс
- Справочная система и её настройка
  - Установка и регистрация
  - Общие сведения о SimInTech
  - Интерфейс программы
  - Расчетное ядро
  - База данных сигналов
  - Библиотеки блоков
  - Графика и анимация
  - Язык программирования
  - Программирование встраиваемых систем
  - Приёмы работы
  - Вспомогательные программные модули
  - Демонстрационные примеры
  - Поисковая система
  - Внешние документы
  - Диагностические сообщения и причины
  - Совместная работа SimInTech + Git
  - Общие сведения о NordWind
  - Построение графиков и вывод расчетных
  - Терминология

**Цель:** исследование динамических характеристик полета трансзвуковой ракеты.

**Задачи:**

1. Описание общей концепции модели.
2. Производная уравнений динамики полета ракеты.
3. Создание модели ракеты.
4. Верификация разработанной модели.
5. Поиск состояний корректировки модели.
6. Линеаризация уравнений динамики полета.
7. Анализ устойчивости.
8. Разработка автопилота ракеты.



**Низкая скорость расчета модели в MATLAB**

Profiler Report (Missile\_ASSIGNMENT @ 26-Jun-2023 11:22:15)

Run: Missile\_ASSIGNMENT @ 26-Jun-2023 11:22:15

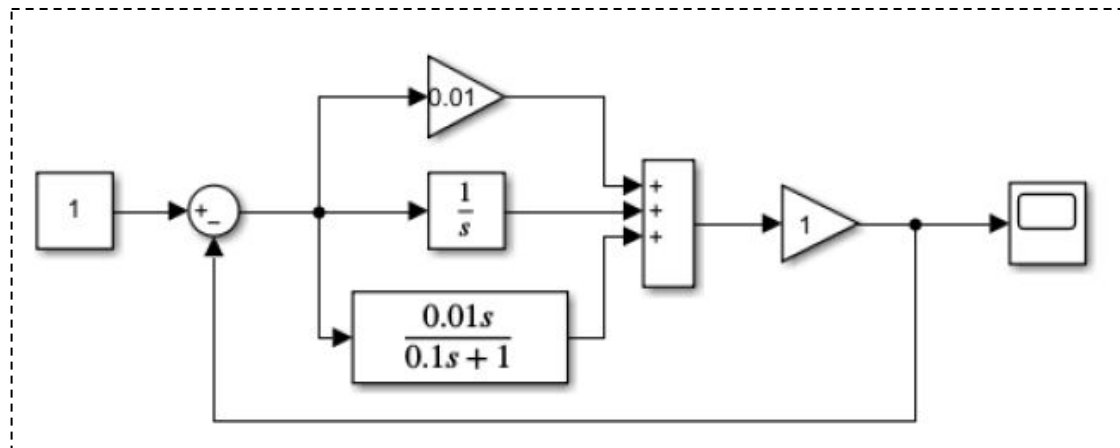
Path	Time Plot (Dark Band = Self Time)	Total Time (s)	Self Time (s)	Number of Calls
> Missile_ASSIGNMENT		4.280	2.596	125015

Процессы

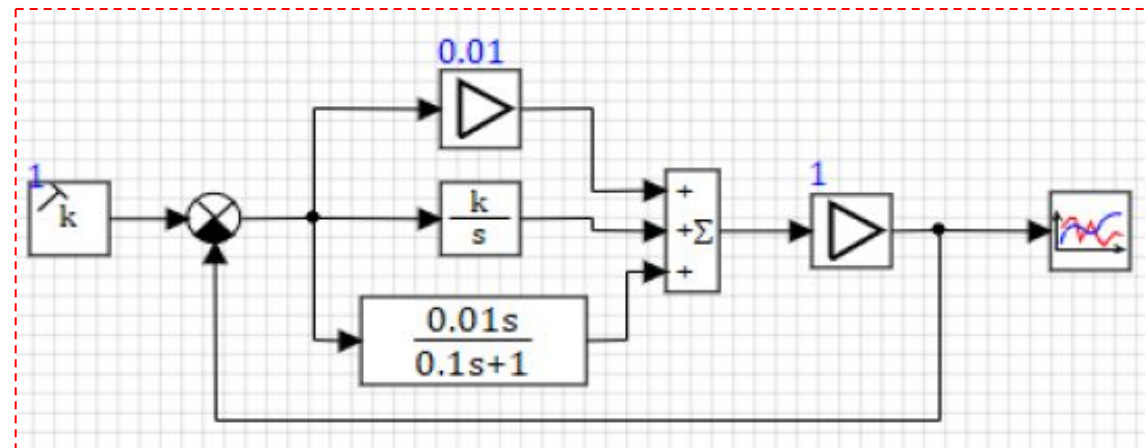
Имя	Состояние	ЦП	Память	Диск	Сеть
> MATLAB R2023a (12)		34,2%	3 262,9 МБ	0,1 МБ/с	0 Мбит/с
> SimInTech IDE (7)		0%	191,2 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с

Время расчета модели

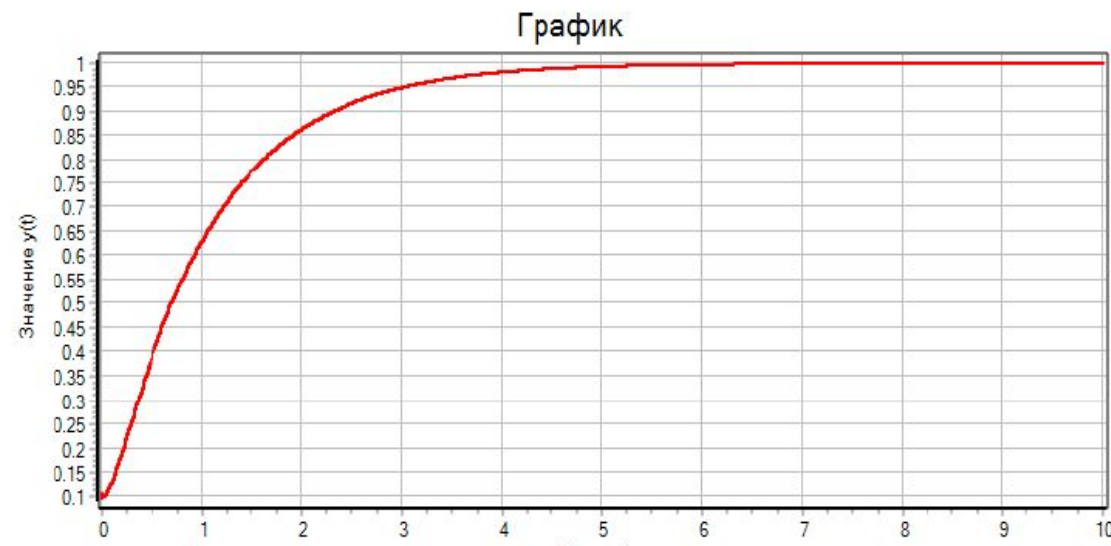
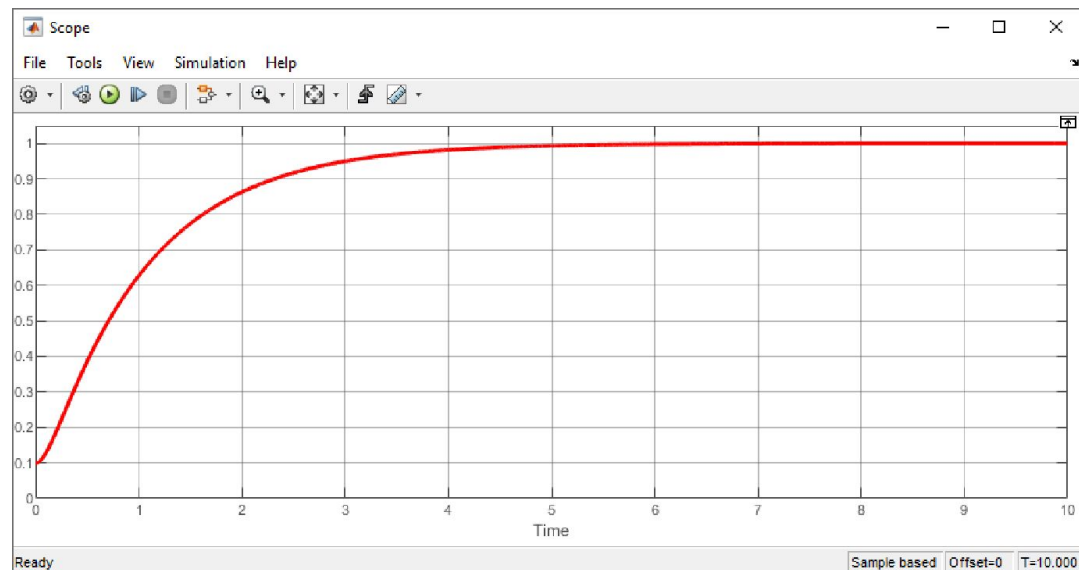




Модель ПИД – регулятора в **MATLAB**



Модель ПИД – регулятора в **SimInTech**



Скрипт страницы : Главная страница: \\Mac\Home\Desktop\buffer\simulink\МАИ-этап-2\Модель\_АСП\_с\_СУ\АСП\_с\_СУ\_решение\_без\_перерегулирования.prt

Файл Правка Поиск Расчёт Справка **Инструменты**

Конвертировать из MATLAB

## Язык программирования SimInTech

```
9 // Missile Configuration Data
10 const Missile_D = 0.150; // Missile diameter (m)
11 const Missile_l = 1.618; // Missile length (m)
12 const Area = ( pi / 4 ) * Missile_D^2; // Missile area (m^2)
13 const Missile_Mass = 30.0; // Missile mass (kg)
14 const I_xx = 0.5 * Missile_Mass * ( Missile_D / 2 )^2; // Ixx Moment of Inertia (kg*m^2)
15 // Iyy moment of inertia (kg*m^2)
16 const I_yy = Missile_Mass * ( ( 1 / 12 ) * Missile_l^2 + ( 1 / 4 ) * ( Missile_D / 2 )^2 ); // Iyy moment of inertia (kg*m^2)
17 const I_zz = I_yy; // Izz moment of inertia (kg*m^2)
18 const
19 I_TENSOR = [ I_xx, 0.0, 0.0 , // Moment of Inertia Tensor
20             0.0, I_yy, 0.0 ,
21             0.0, 0.0, I_zz ];
22
23 ETA = 1; // Self defined Propulsion Efficiency
```

XC Editor - /Users/PV/Desktop/buffer/simulink/МАИ-этап-2/ИД/ИД/Прототип СУ АСП/MissileSimulation/Task 4-Control Gain Adjustment/So... x

XF +4 Missile\_Data.m x DDCU\_R\_Variable.m x Sim\_Parameters.m x sldemo\_create\_tc\_tabledata.m x bruss500.m x tbruss500.m x +

```
29
30 %.. Missile Configuration Data
31
32 D = 0.150 ;
33 l = 1.618 ;
34 S = ( pi / 4 ) * D^2 ;
35 Mass = 30.0 ;
36
37 I_xx = 0.5 * Mass * ( D / 2 )^2 ;
38 I_yy = Mass * ( ( 1 / 12 ) * l^2 + ( 1 / 4 ) * ( D / 2 )^2 ) ;
39 I_zz = I_yy ;
40
41 I_TENSOR = [ I_xx, 0.0, 0.0 ;
42             0.0, I_yy, 0.0 ;
43             0.0, 0.0, I_zz ] ;
44
45 ETA = 1;
```

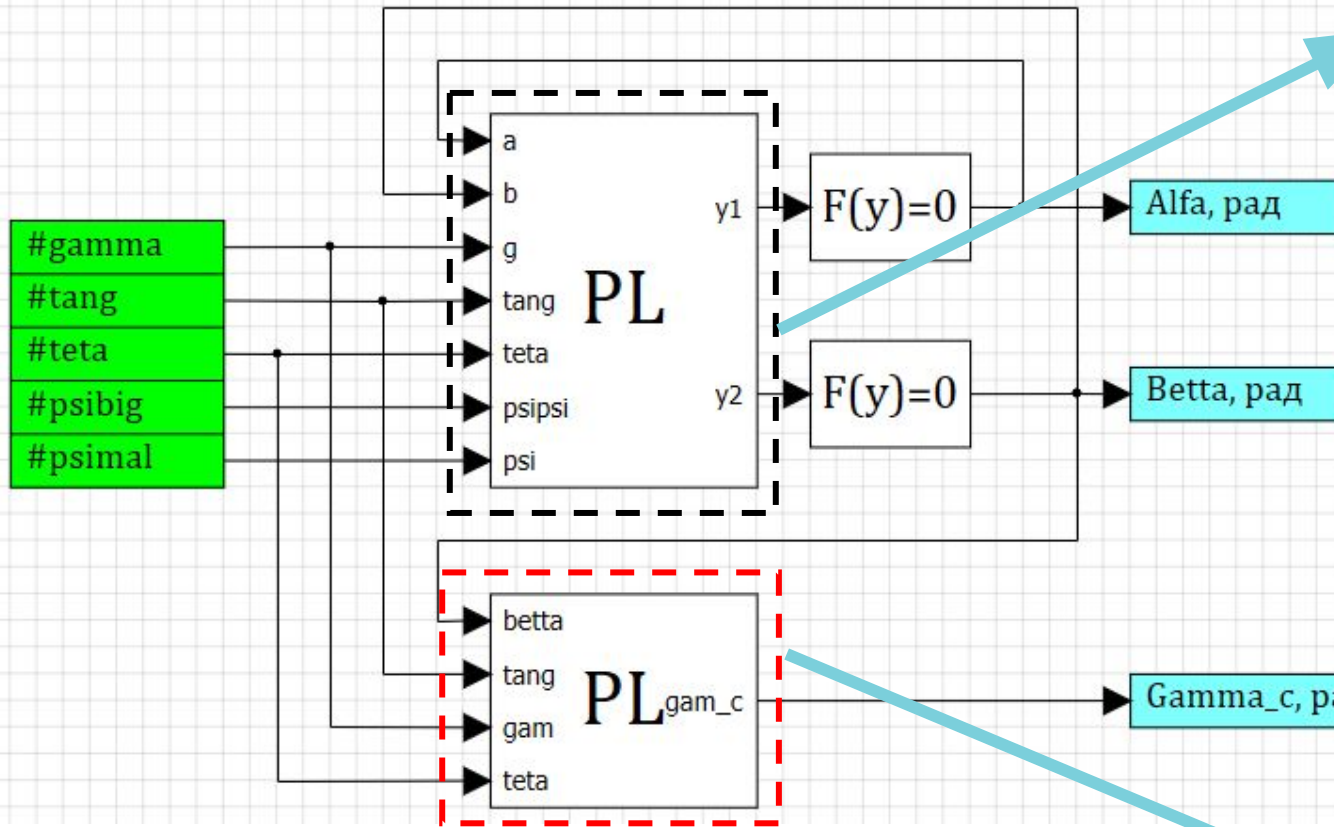
## Скрипт MATLAB Simulink

```
% Missile diameter (m)
% Missile length (m)
% Missile area (m^2)
% Mass (kg)

% Ixx Moment of Inertia (kg*m^2)
% Iyy moment of inertia (kg*m^2)
% Izz moment of inertia (kg*m^2)

% Moment of Inertia Tensor

% Self defined Propulsion Efficiency
```



```

Блок "Язык программирования": Diff_full10.LangBlock21
Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка  Инструменты
1  input a,b,g,tang,teta,psipsi,psi;
   output y1,y2;
   //y1 = 0
   y1 = -sin(teta) + cos(a)*cos(b)*sin(tang) - ( sin(a)*cos(b)*cos(g)+sin(b)*sin(g) )*cos(tang);
   //y2 = 0
10  y2 = -sin(psipsi)*cos(teta) + cos(a)*cos(b)*sin(psi)*cos(tang)+
      sin(a)*cos(b)*( cos(psi)*sin(g)+sin(psi)*sin(tang)*cos(g)) -
      sin(b)*( cos(psi)*cos(g) - sin(psi)*sin(tang)*sin(g) );

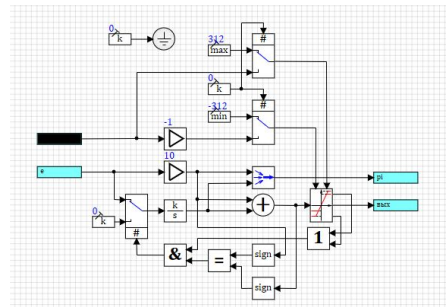
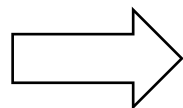
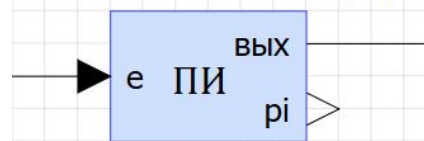
```

```

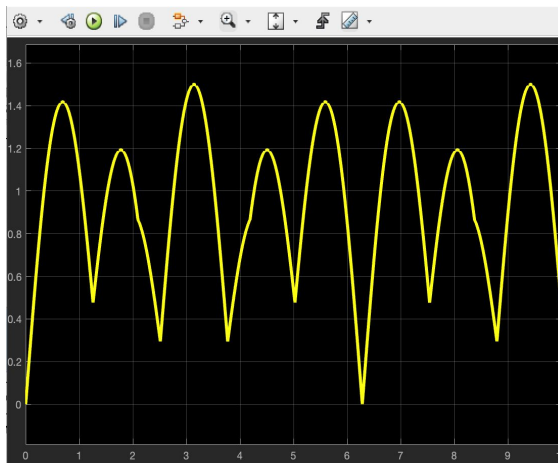
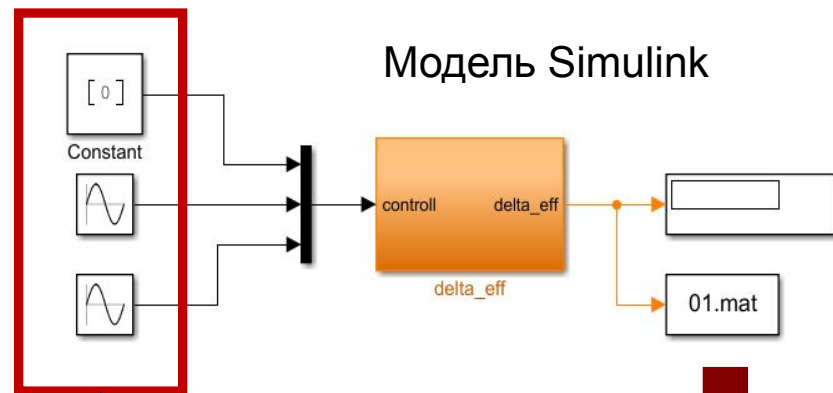
Блок "Язык программирования": Diff_full10.LangBlock22
Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка  Инструменты
1  input betta, tang, gam, teta;
   output gam_c;
   gam_c = arcsin( (cos(tang) * sin(gam) + sin(betta) * sin(teta)) / (cos(betta) * cos(teta)) );

```

## Рег. тока (q)



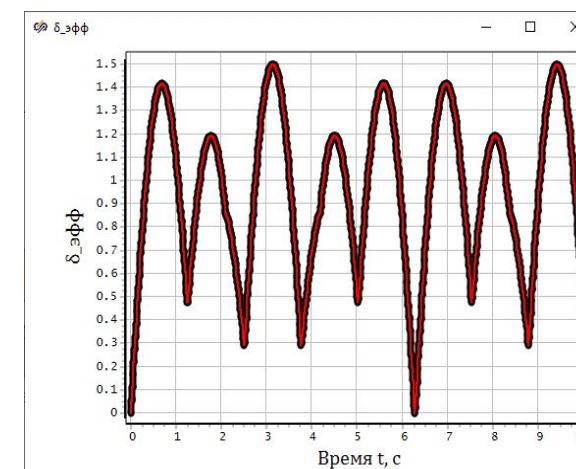
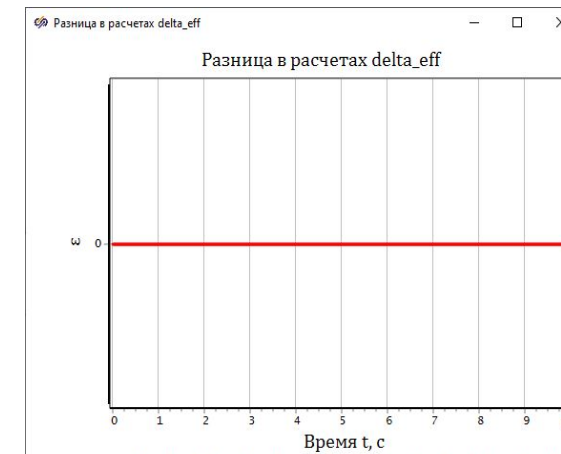
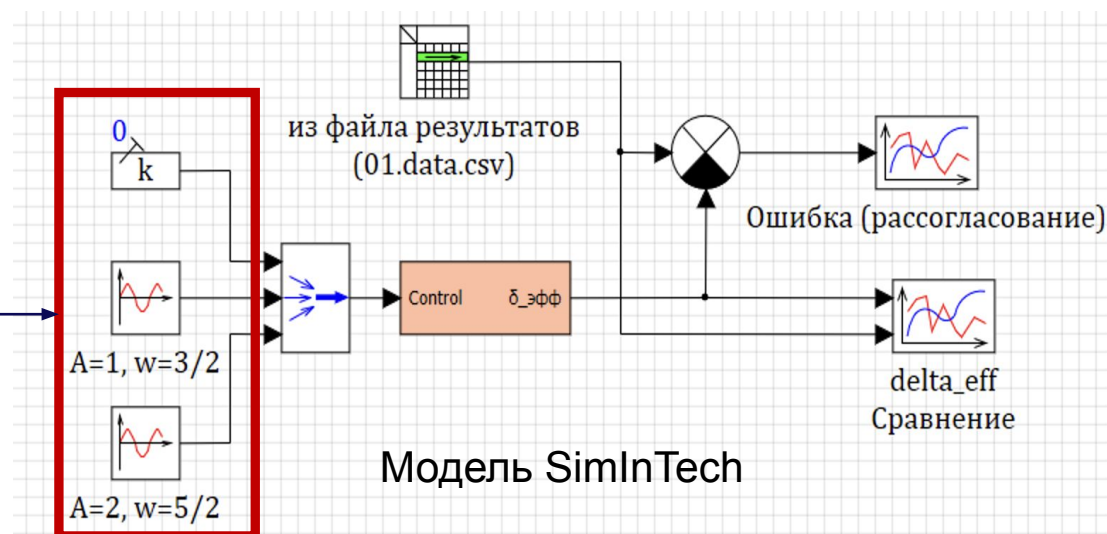


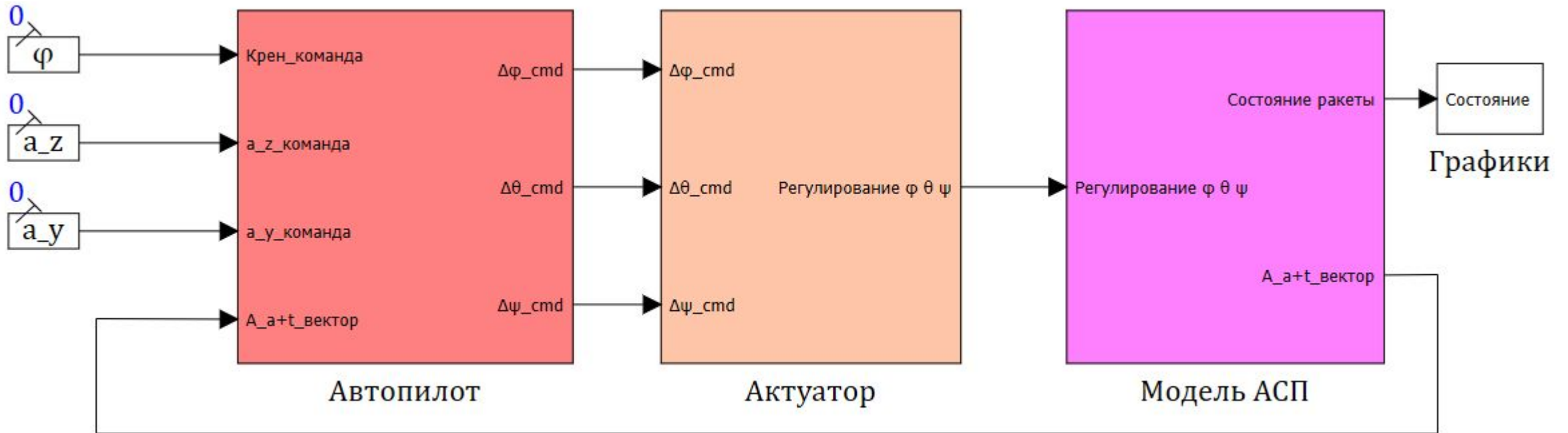


сохранение в файл



ТЕСТОВЫЕ  
данные





Отладочная информация SimInTech

Производительность **Переменные состояния**

### Время расчета модели

Физическое время счёта, сек	0.90908879	Количество отсортированных блоков	375
Время модельное, сек	25	Количество динамических блоков	17
Конечное время расчёта, сек	25	Количество дискретных блоков	1
Максимально возможное ускорение	27.500064		

Процессы

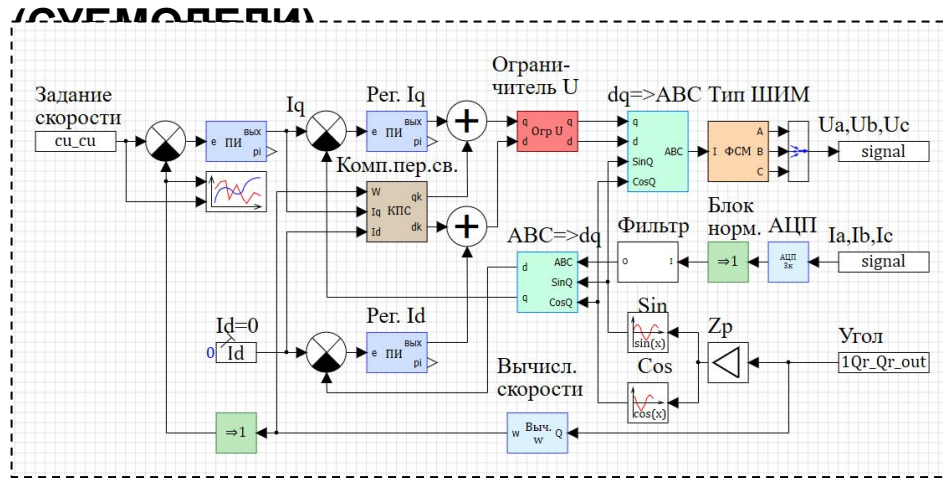
Запустить новую задачу | Заверши

Имя	Состояние	11% ЦП	49% Память	0% Диск	0% Сеть
> MATLAB R2023a (12)		0,5%	3 261,0 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с
> SimInTech IDE (5)		8,1%	195,7 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с

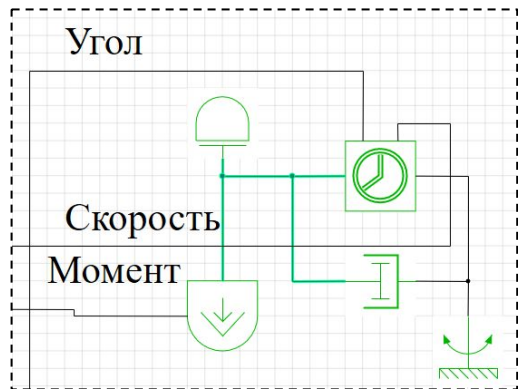
Характеристики эффективности	MATLAB Simulink	SimInTech	Улучшение
Потребление оперативной памяти	3 262,9 МБ	195,7 МБ	в 17 раз
Загрузка процессора	34,1%	8,1%	в 4 раза
Время расчета	4,28 сек.	0.909 сек	в 4,5 раз

**Цель:** разработка системы управления поворотного устройства радиолокационной установки

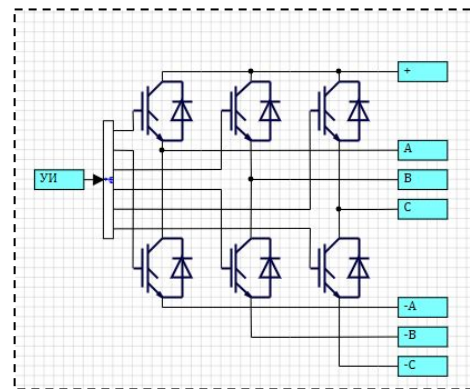
## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ



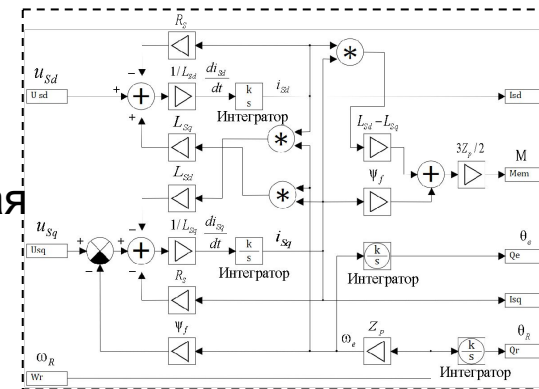
Система управления



Механика

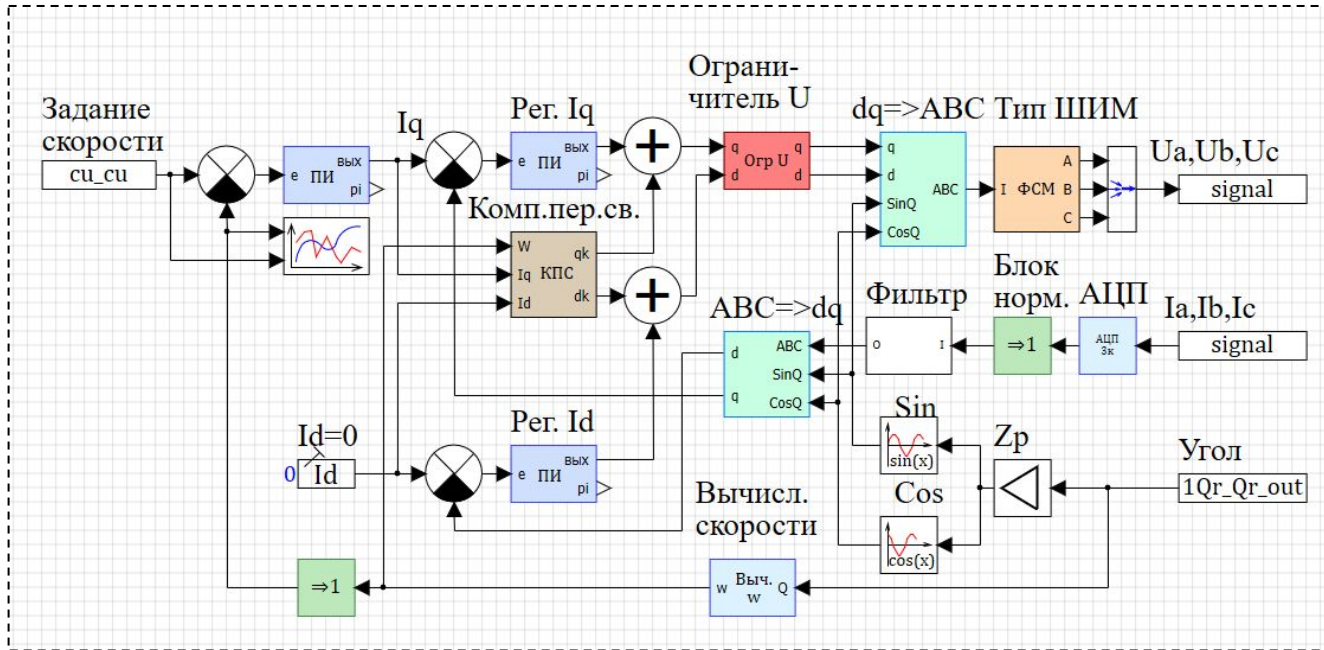


Инвертор (электрическая часть)

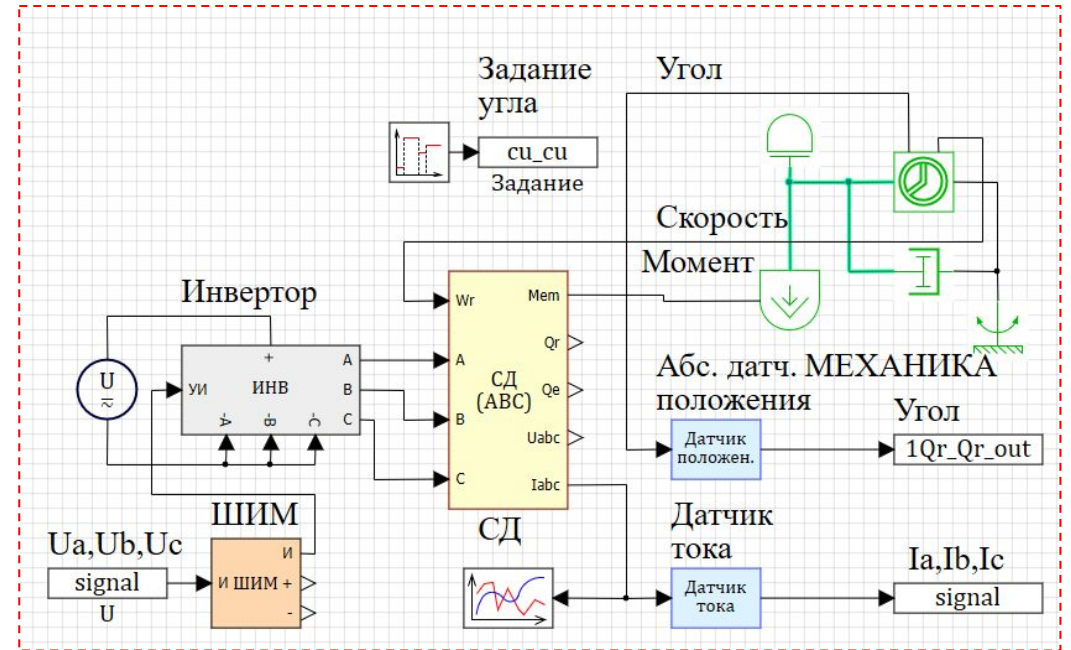


Объект управления (электродвигатель)



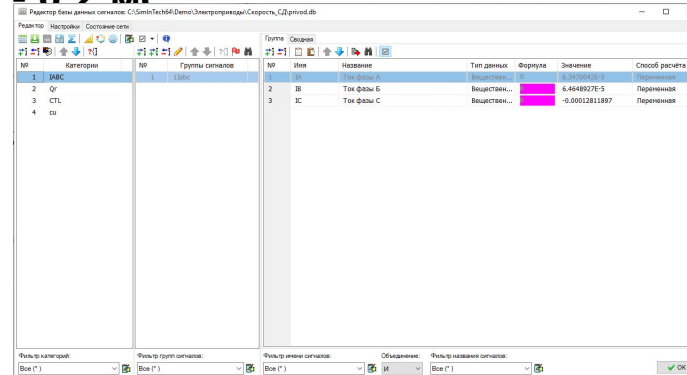
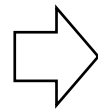
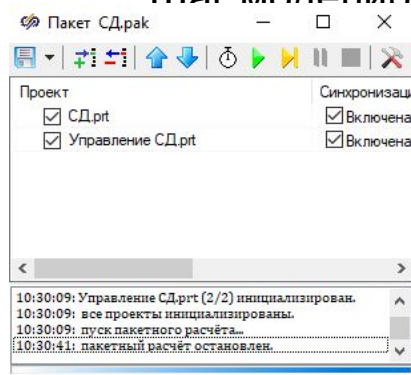
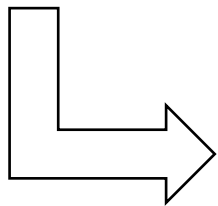
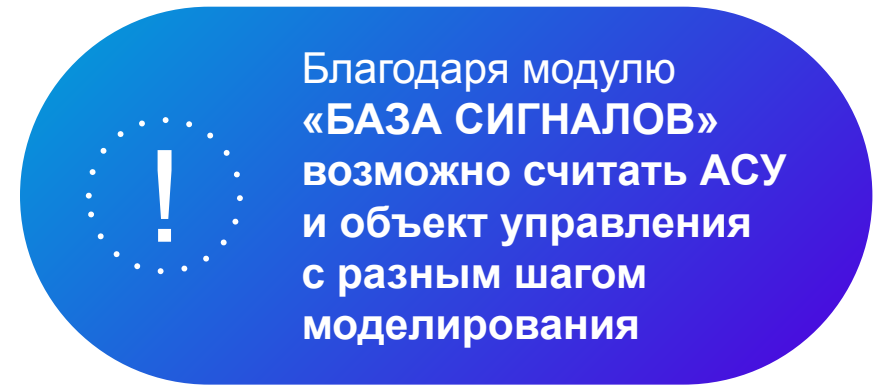


Система управления объекта (векторное регулирование скорости)



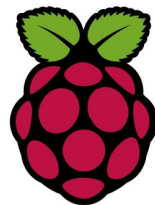
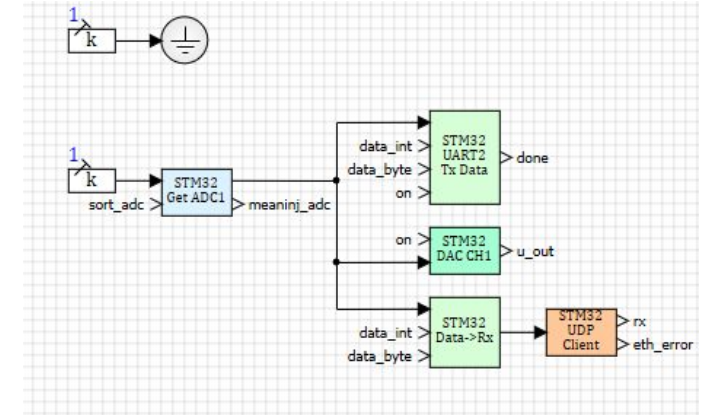
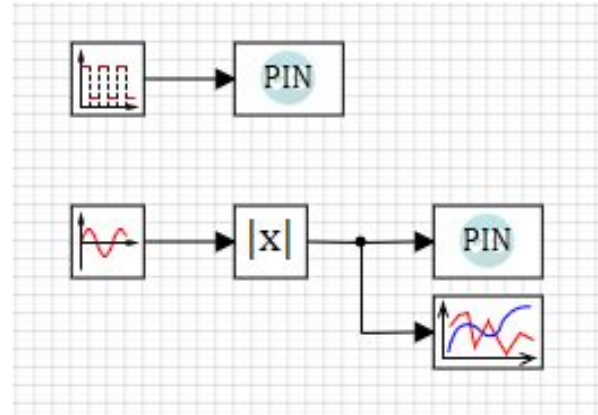
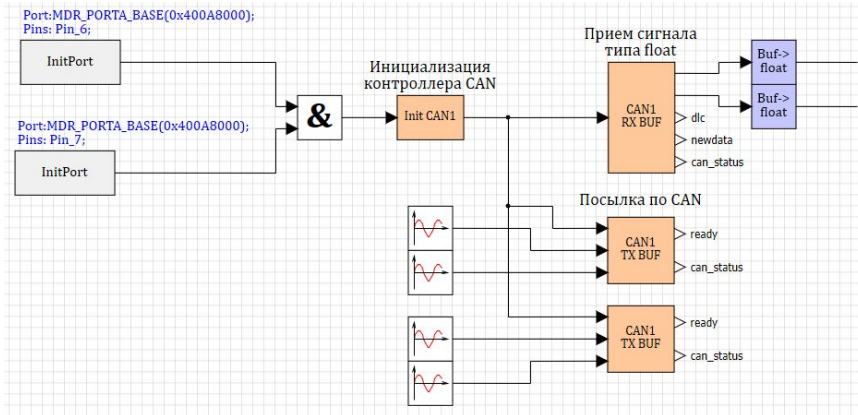
Объект управления(СДПМ)  
Шаг моделирования - 1 мкс

Шаг моделирования - 0.2 мс

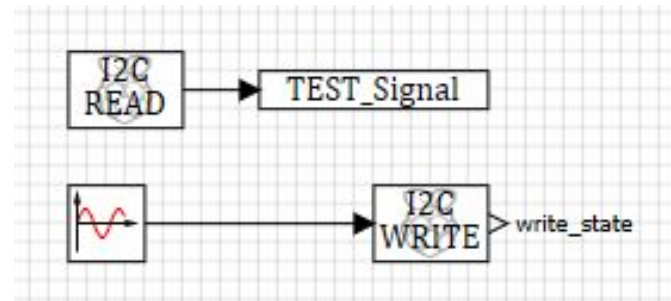



**Благодаря модулю «БАЗА СИГНАЛОВ» возможно считать АСУ и объект управления с разным шагом моделирования**

В SimInTech можно кодогенерировать разработанную АСУ как для отечественных микропроцессоров, так и зарубежных:

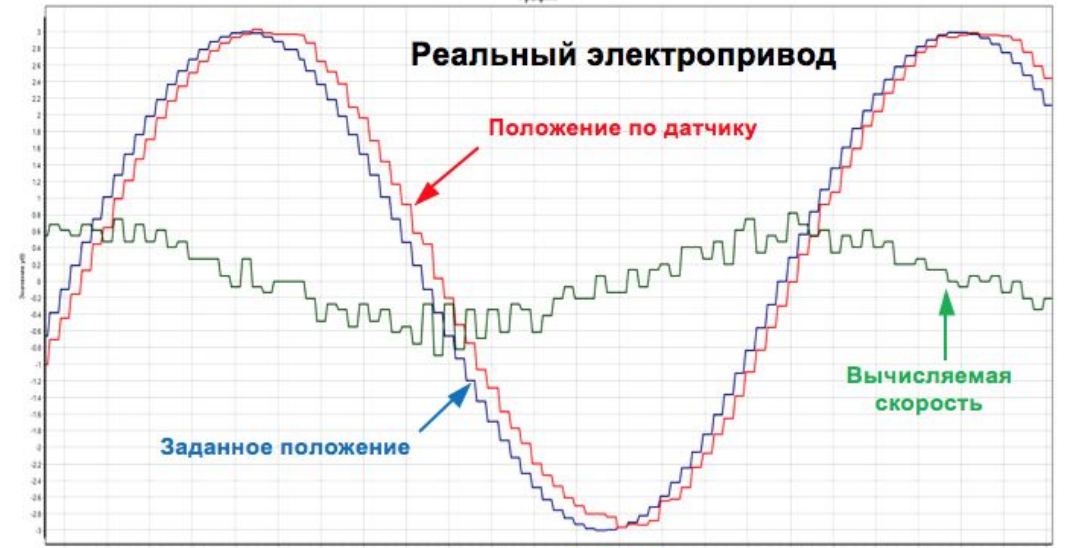
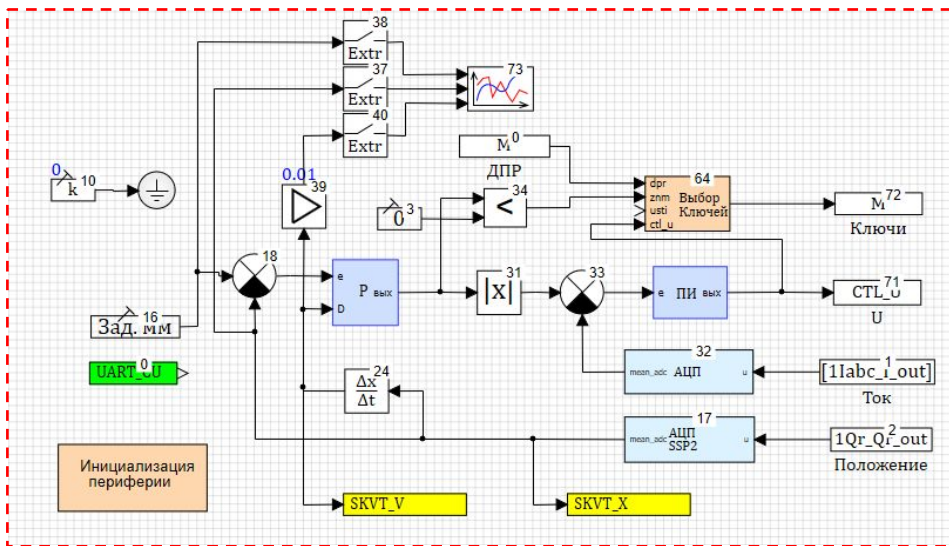
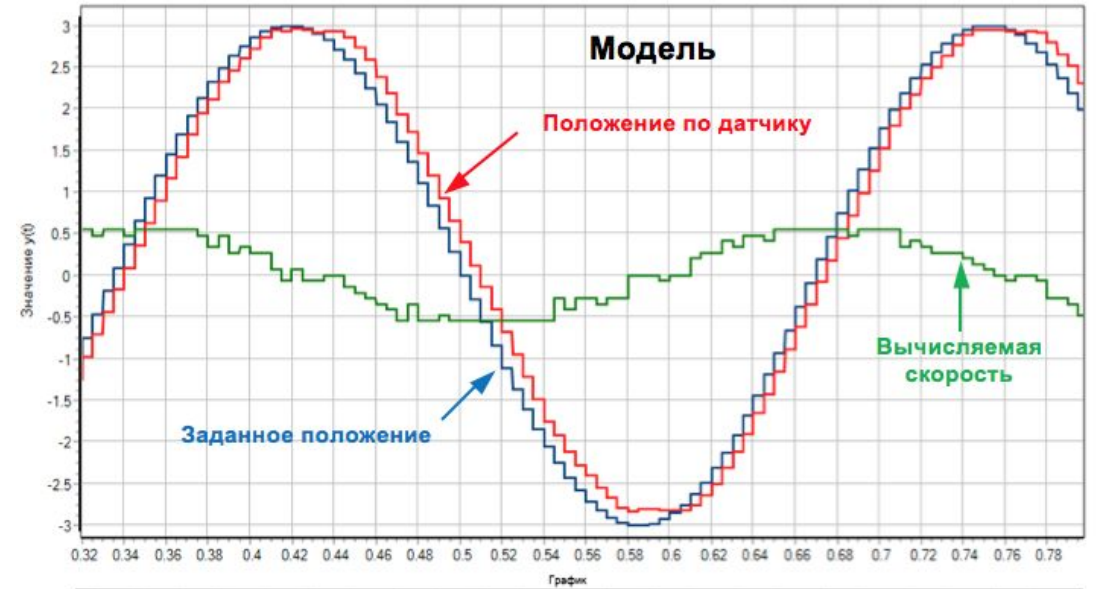
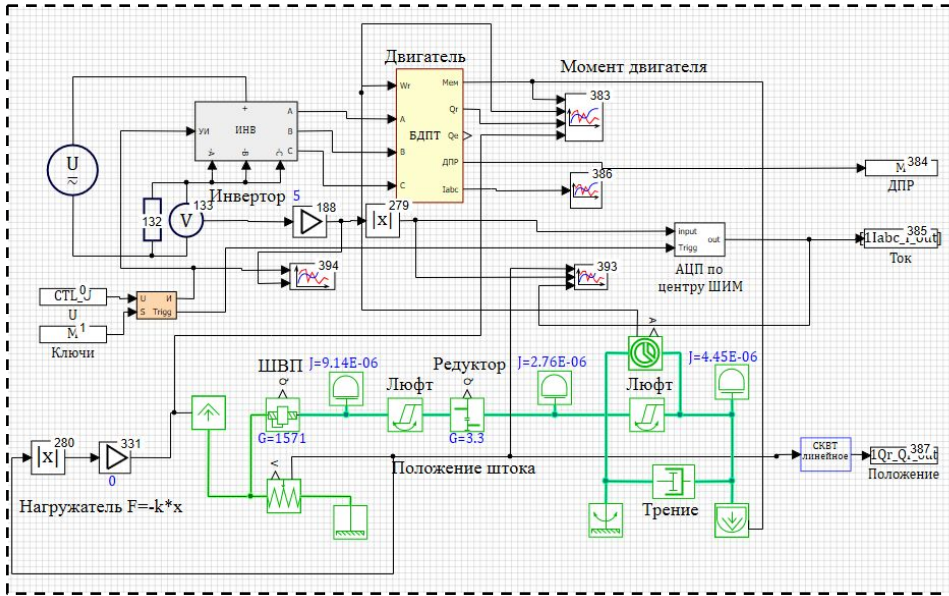


# Raspberry Pi



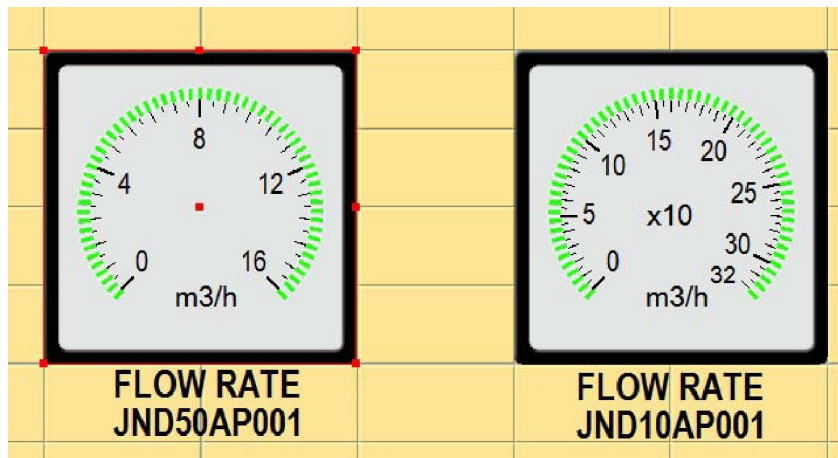
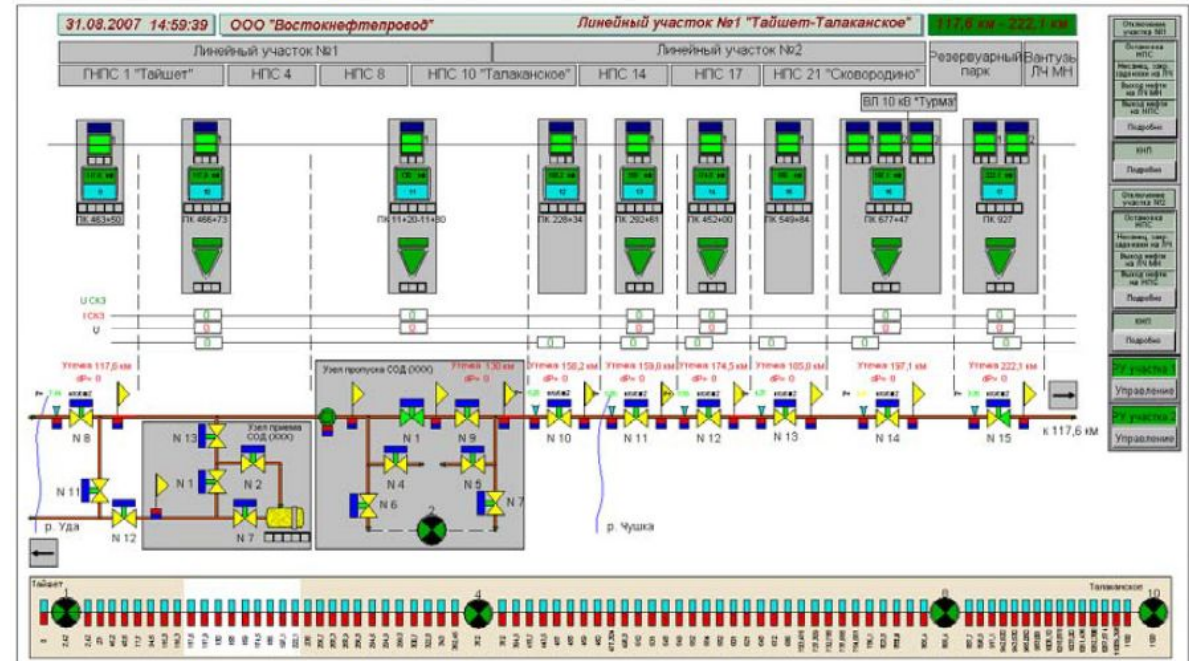
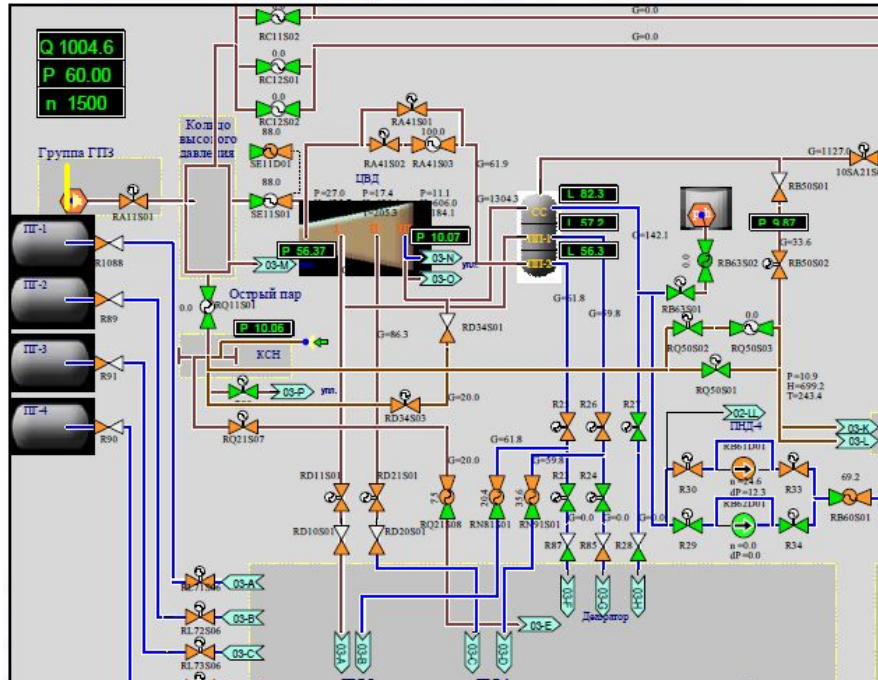


# Сравнение работы модели и реального объекта





# Возможность разработки мнемосхем и видеокладов



- ✓ Отечественное ПО (интерфейс, справка и поддержка на русском языке).
- ✓ Открытое ПО (доступность исходного кода блоков стандартных библиотек).
- ✓ Возможность создания проекта на всех стадиях:
  1. Предварительная разработка и верификация АСУ;
  2. Кодогенерация разработанной АСУ в микропроцессор;
  3. Разработка мнемосхем и видеокадров.
- ✓ Встроенный модуль конвертации моделей и скриптов MATLAB SIMULINK в SimInTech.
- ✓ Высокая скорость моделирования за счет оптимизации математического ядра.
- ✓ Возможность создания стендов для полунатурного моделирования.

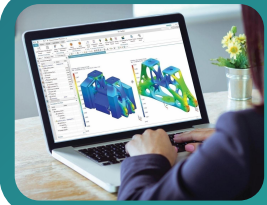






## Поставка и интеграция отраслевого ПО

- Многолетнее партнерство с ведущими отечественными и зарубежными вендорами;
- Анализ российского ПО на собственных задачах и в проектах заказчиков, участие в валидации;
- Интеграция ПО в IT-ландшафт предприятия, услуги адаптации типовых конфигураций под решение прикладных задач Заказчика.



## Системное моделирование, инженерные расчеты и оптимизация

- Значительный опыт реализации проектов Заказчиков 100+;
- Использование технологий системного инжиниринга;
- Разноотраслевой опыт реализации проектов в зарубежном и российском инженерном ПО.



## Проведение комплексных НИОКР и производство

- Проектирование новых, оптимизация и улучшение текущих изделий, компонентов, систем;
- Использование современных технологий цифрового двойника, ко-симуляций и виртуальных испытаний;
- Разработка технологических процессов;
- Использование новейшего оборудования для обработки материалов.



## Обучение в области CAD/CAE/CAM/PLD/PDM компетенций

- Использование практико-ориентированного опыта;
- Использование собственной платформы распределенного сетевого обучения;
- Кооперация с ведущими институтами РФ.



# Аванс Инжиниринг ИЦЦТМ УрФУ

620063, Россия, г. Екатеринбург, БЦ «Саммит»,  
ул. 8 Марта, д. 51, 17,19 этаж

Тел.: +7 (495) 760-98-52

