



ЭКСПОНЕНТА  
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



## Разработка систем управления реального времени

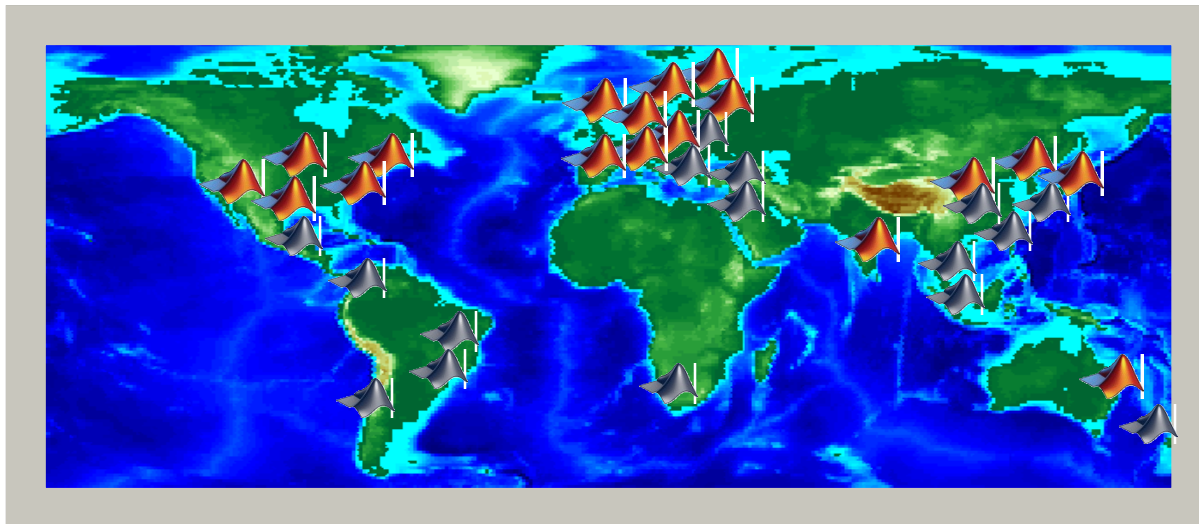
Песельник Михаил,  
Экспонента

# Темы вебинара

- Введение в модельно-ориентированное проектирование
- Что такое тестирование в реальном времени?
- Запуск моделей Simulink в реальном времени на ОСРВ Simulink Real-Time и КПМ РИТМ
- Возможности Simulink Real-Time и КПМ РИТМ
- Автономная работа моделей Simulink на КПМ РИТМ

# Компания MathWorks

- **Международная компания:**  
**HQ:** Natick, MA USA
- Более **4500** сотрудников по всему миру
- Дистрибьюторы в 25 странах мира
- Более двух миллионов пользователей ПО MathWorks по всему миру



Топографическая карта создана с помощью инструмента MATLAB Mapping Toolbox

**Решения MathWorks являются стандартом для разработки и отладки сложных алгоритмов, а также встраиваемого ПО различной направленности**

# Центр инженерных технологий и моделирования Экспонента

- Оказание услуг по **внедрению Модельно-Оrientированного Проектирования**
- **Заказная разработка** встраиваемых систем
- Поставка **программного и аппаратного обеспечения** для моделирования и разработки
- Проведение **профессионального обучения** по разработке систем управления, связи, радиолокации, машинного зрения и аналитических систем

Контакты:

- E-mail: [info@exponenta.ru](mailto:info@exponenta.ru)
- Тел.: +7 (495) 009 65 85

Дополнительная информация:

- Наш сайт [exponenta.ru](http://exponenta.ru)
- Наш Youtube канал [MATLABinRussia](https://www.youtube.com/MATLABinRussia)

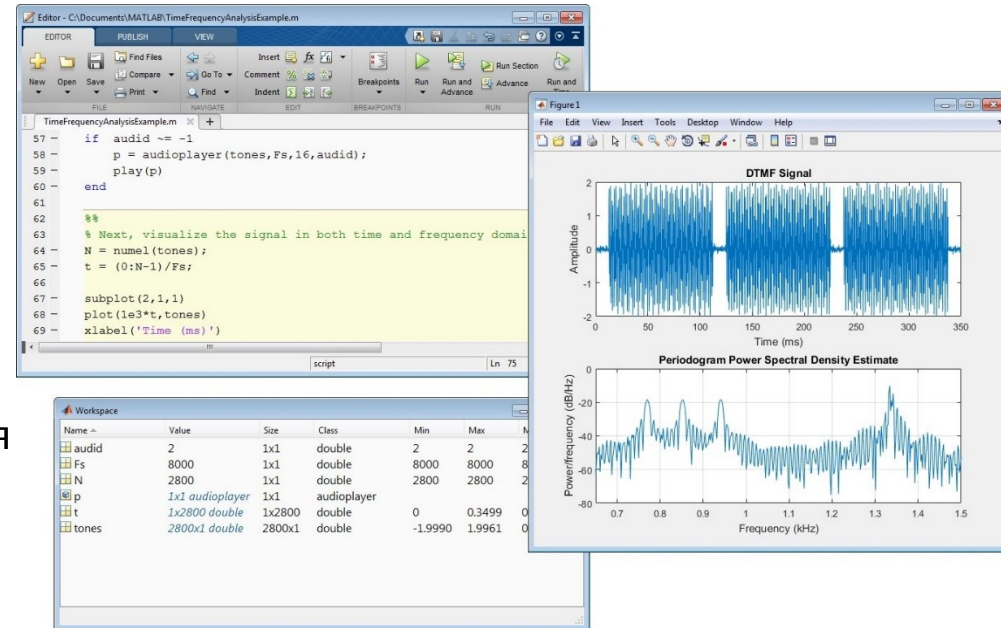


10 лет на рынке  
встраиваемых систем

# MATLAB®

## Лидирующая среда для технических расчетов

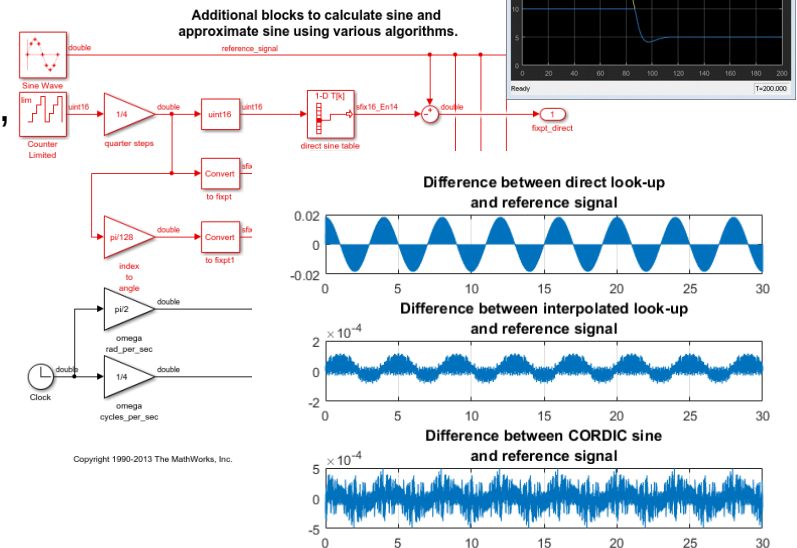
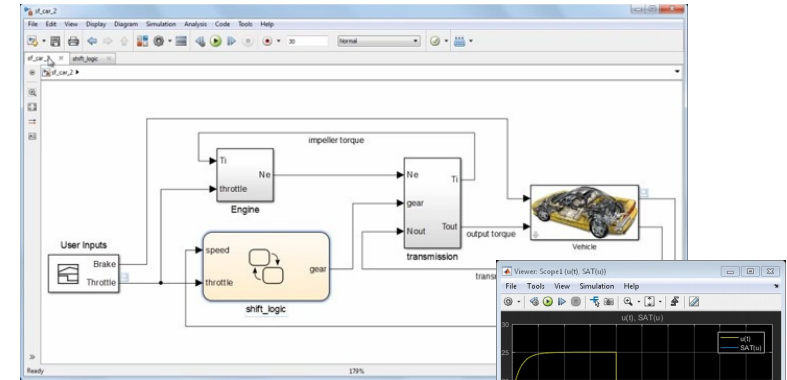
- *de facto* индустриальный стандарт, высокоуровневый язык программирования для разработки алгоритмов
- Численные расчеты
- Анализ данных и визуализация
- Пакеты инструментов для обработки сигналов, обработки изображений, статистических расчетов, оптимизации, символьной математики
- Основа всех продуктов MathWorks



# SIMULINK®

Лидирующая среда для моделирования, симуляции, разработки динамических и встраиваемых систем

- Линейные, нелинейные, дискретные, непрерывные, гибридные и многочастотные системы
- Решения для систем управления, обработки сигналов, систем связи и других областей с применением системного инжиниринга
- Основа для Модельно-Оrientированного Проектирования





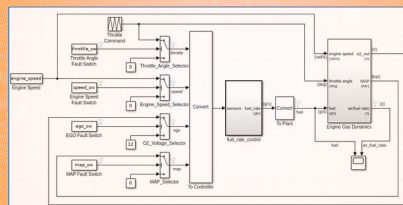
# Модельно-ориентированное проектирование

## Системные модели

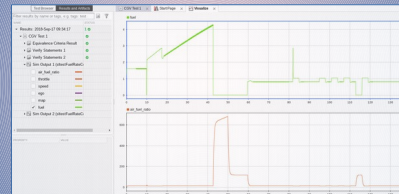
- Результаты однозначно интерпретируются
- Один «источник правды»



## Исполняемые спецификации



## Тестирование и верификация



## Непрерывное тестирование

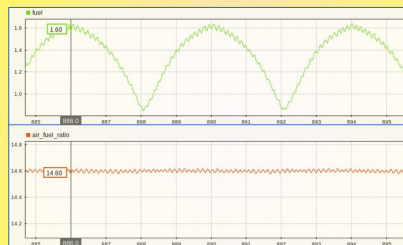
- Выявление ошибок на ранних этапах
- Соответствие промышленным стандартам



## Модели

## Симуляция

- Без реальных прототипов
- Систематический анализ «что если?»



## Детальное проектирование

Contents

- Summary
- Subsystem Report
- Code Interface Report
- Traceability Report
- Static Code Metrics Report
- Code Replacements Report
- Coder Assumptions
- Generated Code
- 1 Main file
- 1 Model files
- 1 Data files
- 1 Utility files (1)

```

case IN_O2_normal:
    /* Normal O2 sensor operation gives a reliable indication of excess oxygen in the exhaust */
    if (getSensorAge() > 1.27) {
        /* The failure condition is indicated by excessive output voltage. */
        rtdmWork_A = IN_NO_ACTIVE_CHILD;
        rtdmWork_A = IN_O2_ACTIVE_CHILD;
        rtdmWork_A = IN_O2_normal;
        if (rtdmWork_A_active_Fuel == 0) {
            FuelIsEvent();
        }
    }
    rtdmWork_A = IN_O2_Failure;
}

case IN_O2_warning:
    /* The O2 sensor must come up to temperature before its data is reliable. */
    if (rtdmWork_A_active_T1 < 400) {
        /* The value for sufficient time up to operational temperature (normally 4.0 seconds). */
        rtdmWork_A = IN_O2_normal;
        rtdmWork_O2_normal = true;
    }
}
break;
default:
    
```

## Генерация кода

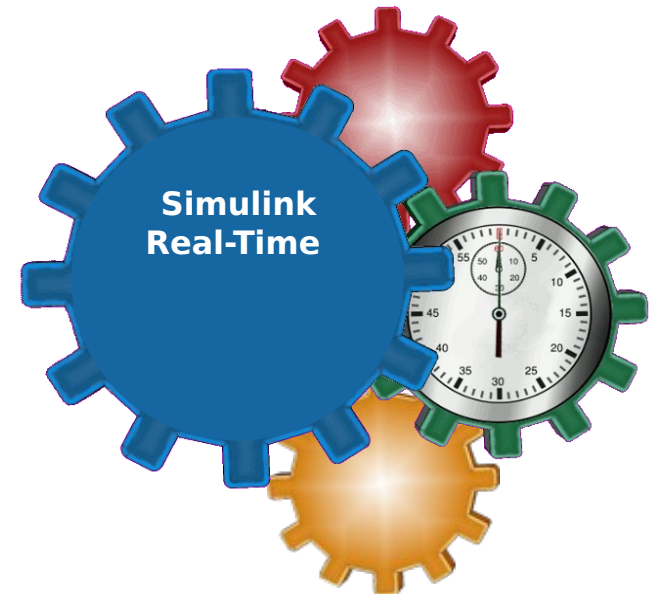
- МК/ПЛИС/GPU/ПЛК
- Минимизация ошибок кодирования
- Тестирование в реальном времени



## Автоматическая генерация кода

# Что такое тестирование в реальном времени?

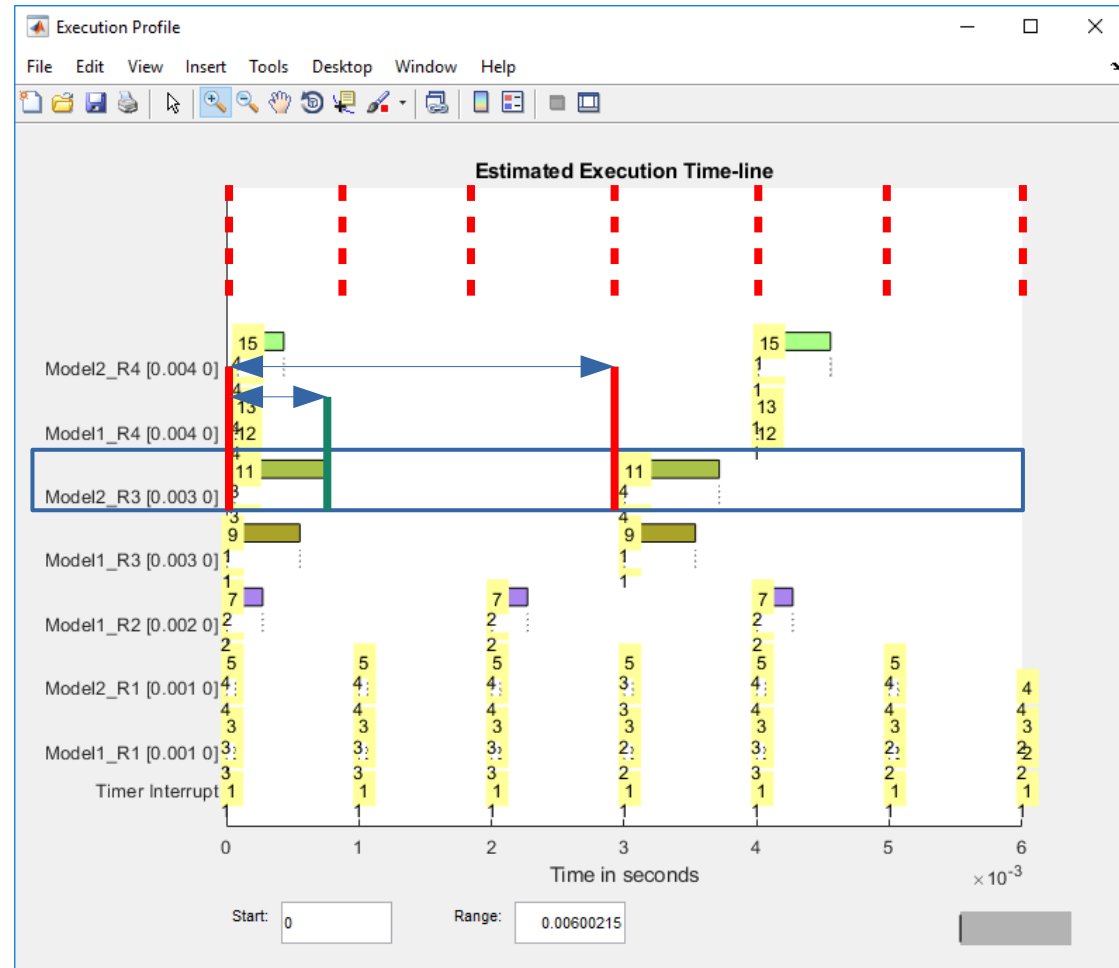
- Исследование функционирования компонента или полной встраиваемой системы в реальных рабочих условиях:
  - **Детерминизм выполнения задач**
  - Учет частоты дискретизации
  - Синхронизация задач
  - Учет работы интерфейсов
- Распространенные виды тестирования:
  - **Быстрое прототипирование** алгоритмов управления (Rapid Prototyping)
  - **Полунатурное моделирование** объекта управления (Hardware-in-the-loop, HIL)
  - Сбор данных и обработка сигналов





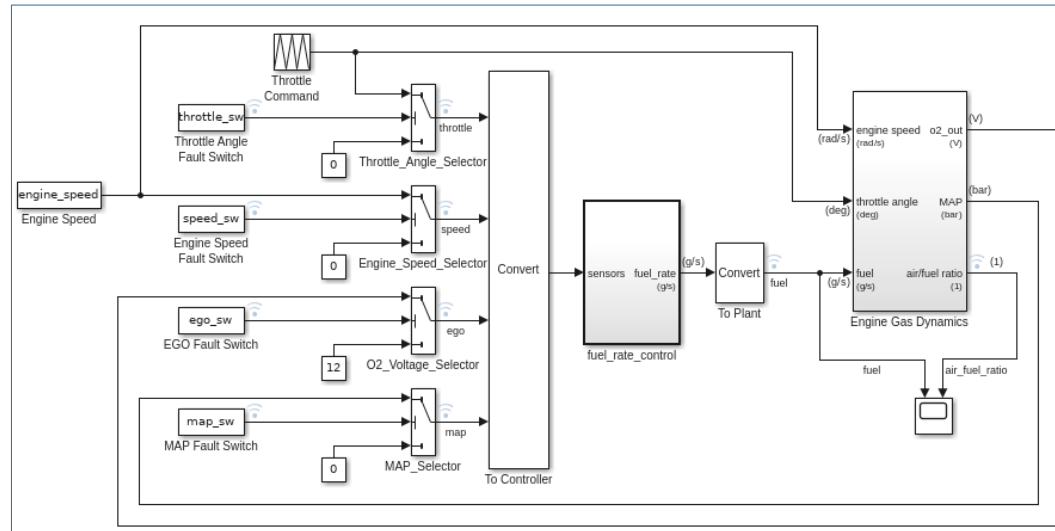
# Жесткое реальное время

- Каждый шаг расчета начинается в гарантированный момент времени
- Каждый шаг расчета гарантированно заканчивается до начала следующего шага
- Пример временной диаграммы: каждая задача гарантированно завершается за время, отведенное ей

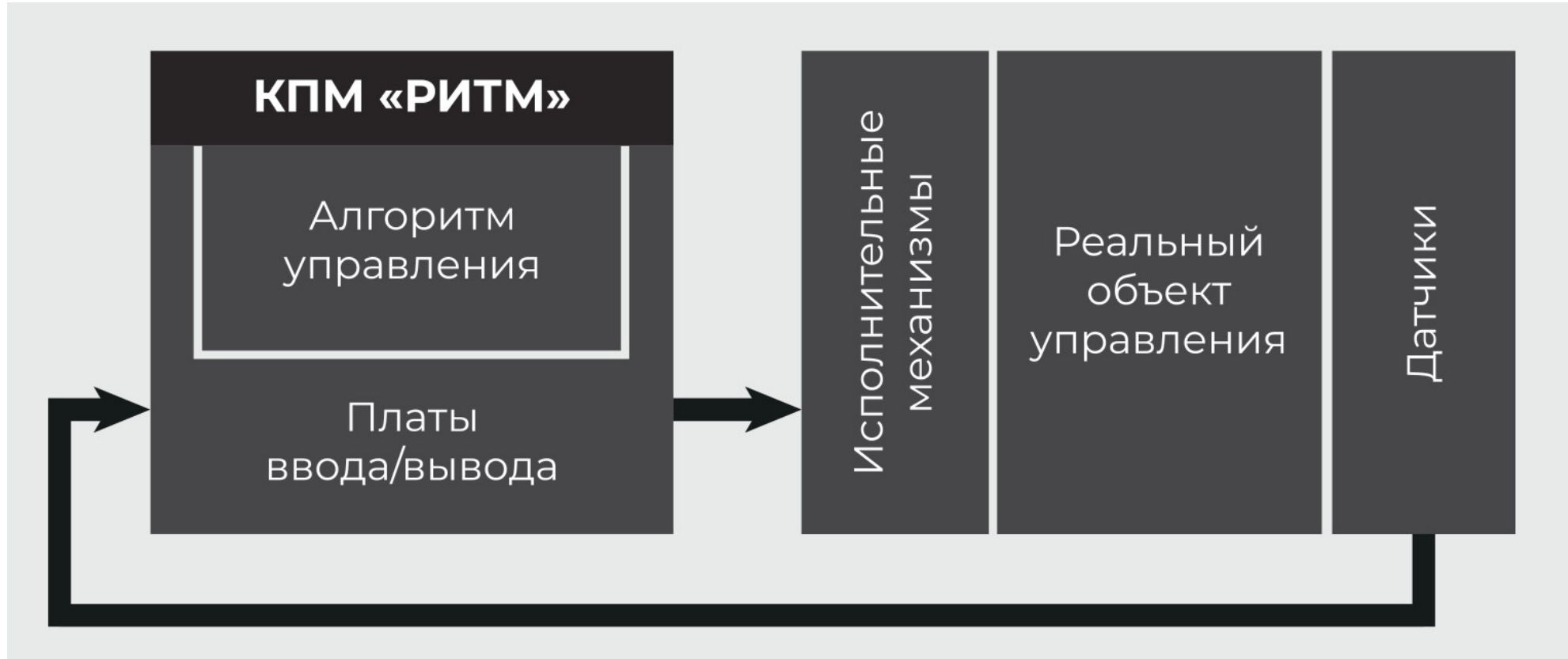


## Проблема 1: Целевой вычислитель не доступен для проверки ваших алгоритмов

- Алгоритмы придуманы, но их не на чем проверять
  - Целевая платформа (блок управления, контроллер) еще недоступна
- Алгоритмы придуманы, но еще не реализованы программно
  - Программист еще только планирует когда-нибудь реализовать алгоритм



## Решение: Быстрое прототипирование алгоритмов управления



## Польза: Быстрое прототипирование алгоритмов управления

- Запуск алгоритмов управления на машине реального времени для управления реальным объектом без необходимости иметь навык низкоуровневого программирования
- Быстрые, автоматизированные итерации и доработка алгоритмов
- Тестирование «здесь и сейчас»:
  - Не дожидаясь доступности блока управления/контроллера
  - Не дожидаясь завершения работы программистов
- Прямой путь к автоматической генерации кода для серийного блока управления
- Быстрое переконфигурирование стенда для других проектов

**Вывод:** Технология быстрого прототипирования существенно сокращает цикл разработки систем управления

## Проблема 2: Объект управления не доступен

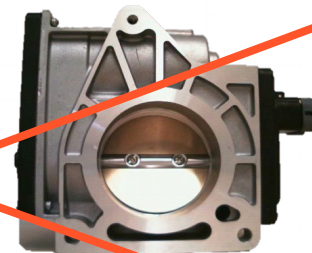
- Алгоритмы **написаны**, но использование реального объекта для испытаний **НЕВОЗМОЖНО**
  - Прототип еще не готов или проводить натурные испытания крайне дорого
- Алгоритмы **написаны**, но использование реального объекта для испытаний **нецелесообразно**
  - Алгоритмы еще не проверены и могут привести к поломке/разрушению объекта



Реальный блок управления

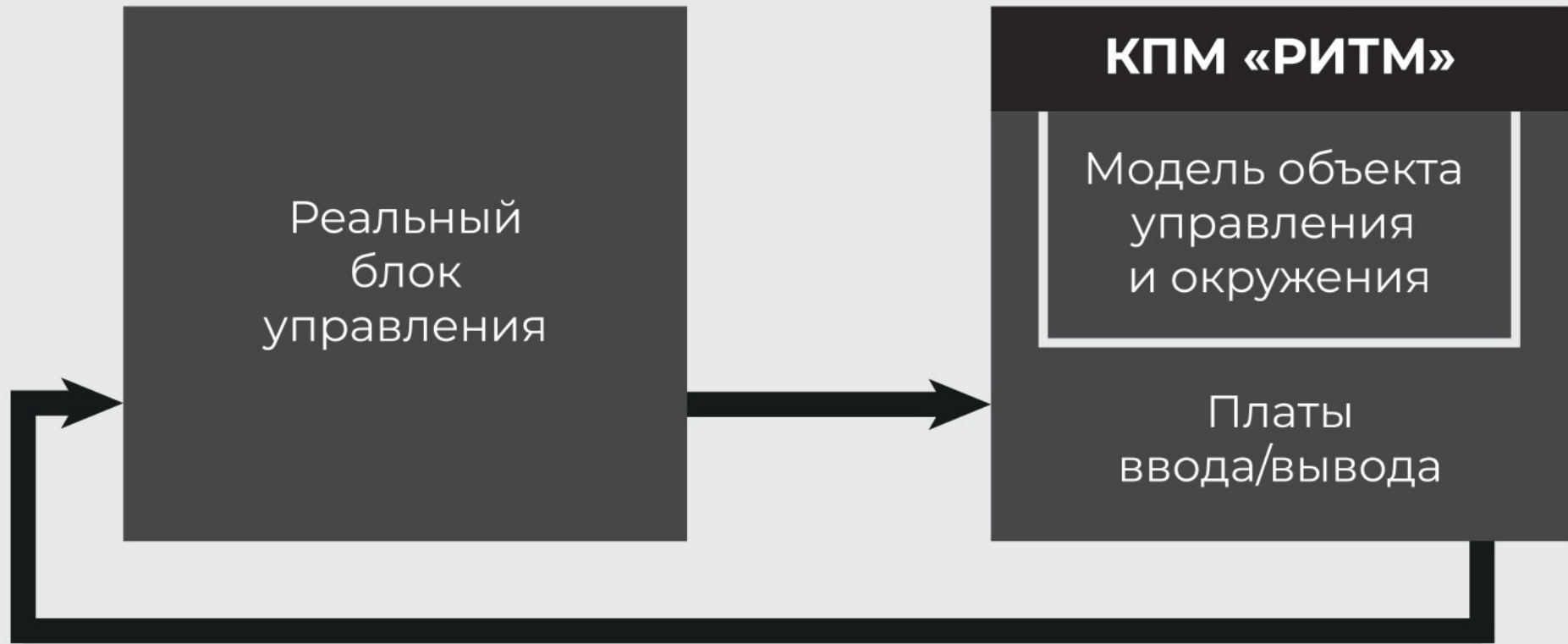


Жгуты проводов и  
формирователи сигналов



Реальный объект управления

## Решение: Полунатурное моделирование (HIL)





# Польза: Полунатурное моделирование (HIL)

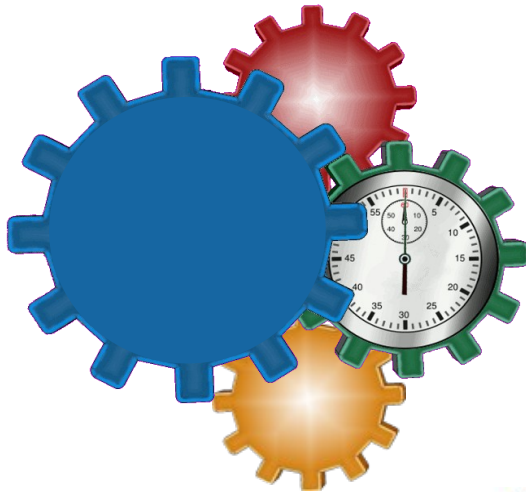
- Полноценная имитация объекта управления с подключением к:
  - Исполнительным механизмам и датчикам
  - Блоку управления
- Широкий спектр применения одной и той же технологии (и одного и того же стенда):
  - Симуляторы различных условий эксплуатации (аварии, критические режимы)
  - Тренажеры для обучения эксплуатирующего персонала (пилоты, технологи)
  - Полунатурные стенды для отладки систем управления
- Проведение испытаний и сокращение издержек на испытания, когда:
  - Реальный объект недоступен или в единственном экземпляре
  - Существует опасность повреждения прототипа или опасность для тестирующего
  - Дорогое время на стенде или далеко ездить на испытания
- Полноценное систематическое тестирование системы:
  - Воспроизводимые тесты
  - Тесты на функциональную безопасность и отказоустойчивость

**Вывод:** Полунатурное моделирование существенно сокращает циклы разработки и испытаний систем и повышает надежность разрабатываемой системы

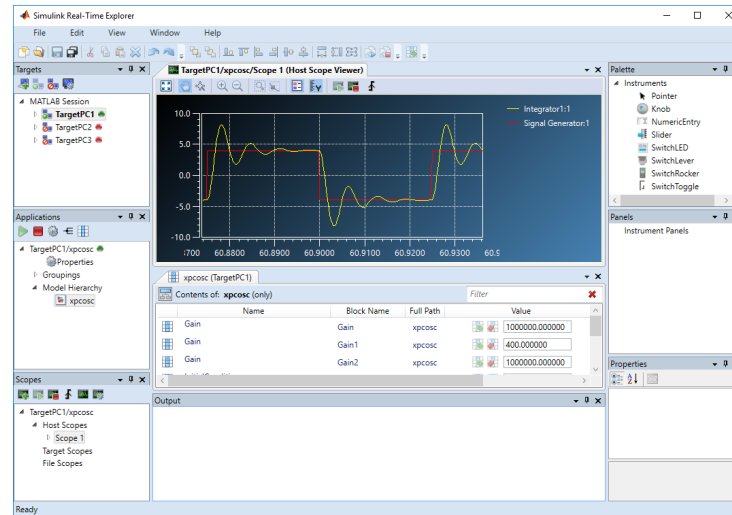
# От моделирования к тестированию в реальном времени

- Требуется **запускать, тестировать и доказывать** корректность функционирования модели Simulink/Stateflow с тестируемым объектом управления в **реальных рабочих условиях**.

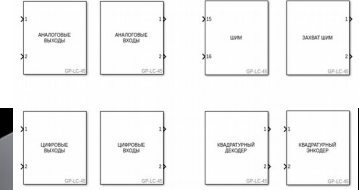
## ОСРВ Simulink Real-Time



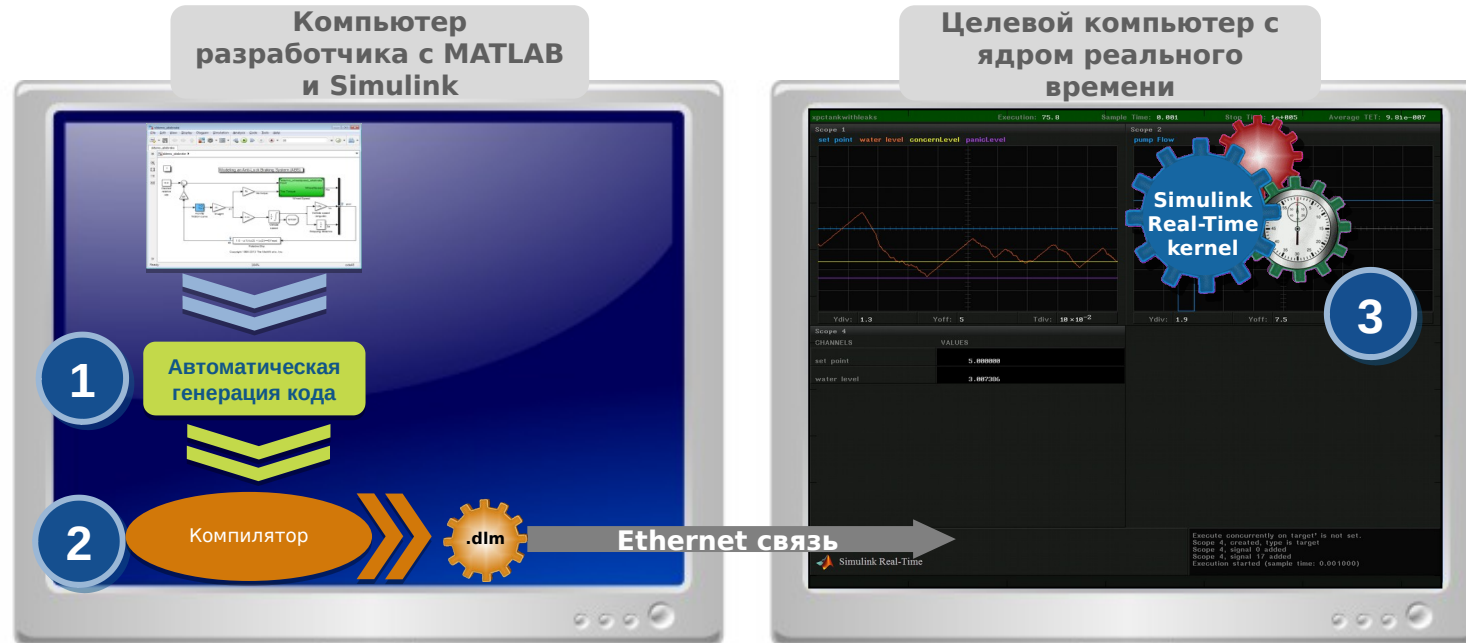
## Интерфейс пользователя и функции в Simulink



## Аппаратура и библиотека периферийных блоков



# Что такое Simulink Real-Time?



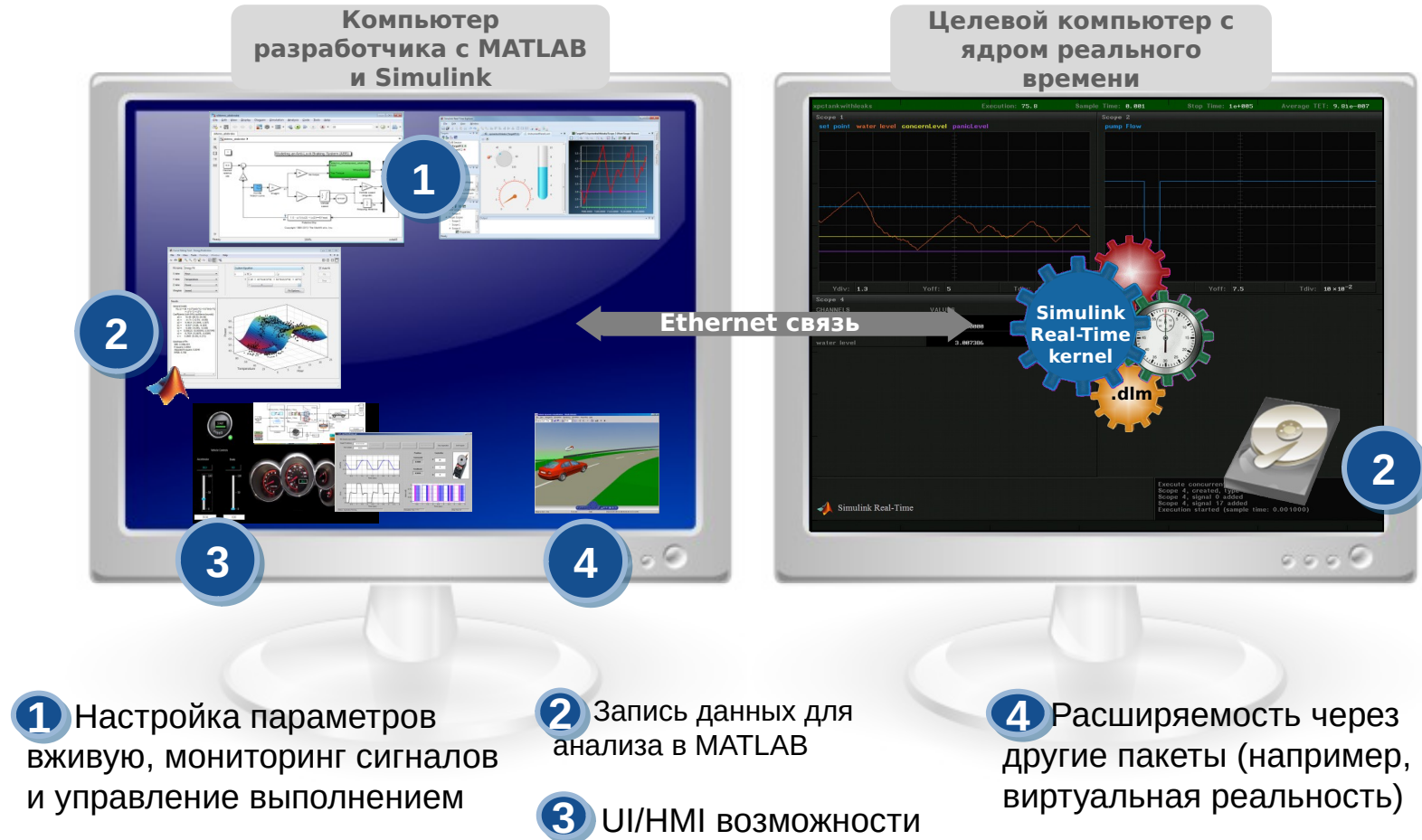
Создание приложений реального времени из моделей Simulink и загрузка на выделенный компьютер за 3 автоматических шага:

**1** Генерация кода

**2** Сборка кода

**3** Загрузка на целевой компьютер

# Что такое Simulink Real-Time?



# Комплекс полунатурного моделирования РИТМ



- **КПМ «РИТМ»** представляет собой программно-аппаратное решение, предоставляющее возможности тестирования в реальном времени
- **КПМ «РИТМ»** имеет широкий спектр применений — таких, как быстрое прототипирование алгоритмов управления и полунатурное моделирование объекта управления (HiL тестирование)
- **КПМ «РИТМ»** является российской разработкой и поддерживается российскими инженерами
- **КПМ «РИТМ»** поставляется быстро и настраивается «под ключ»
- Страница продукта <https://exponenta.ru/products/kpm-ritm/>

# КПМ РИТМ: технические характеристики

- **Корпус:** 19" 4U алюминиевый корпус.
- **Центральный процессор:** Intel Xeon 3.5 ГГц, 4 ядра (или Intel Core i7).
- **Память:** 4096MB DDR3 (расширяется).
- **Диск:** 200 Гб SSD (расширяется).
- **Видео интерфейсы:** 1xDVI-D, 1xVGA. Разрешение окна осциллографа до 1280×1024.
- **Порты USB:** 4xUSB 3.0 и 2xUSB 2.0 на передней панели.
- **Порты Ethernet:** 1xWG82579LM (GbE Phy), 1xWG82574L (PCIe GbE).
- **Разъемы PCI(e):** 3xPCI, 2xPCIe (x16), 2xPCIe (x4).
- **Последовательные порты:** 1xRS232/RS422/RS485.
- **Температурный диапазон:** от 0 до 50 С.
- **Вес:** 6.5 кг (без модулей ввода-вывода).
- **Питание:** 400 Вт.
- **Операционная система** реального времени с бесшовной интеграцией с Simulink.

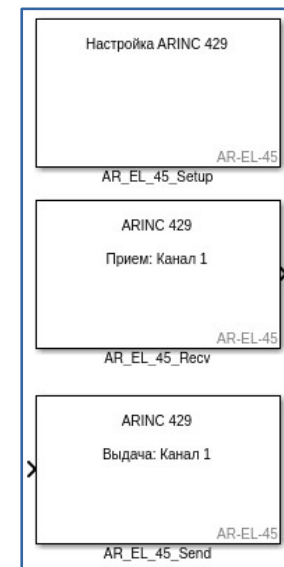
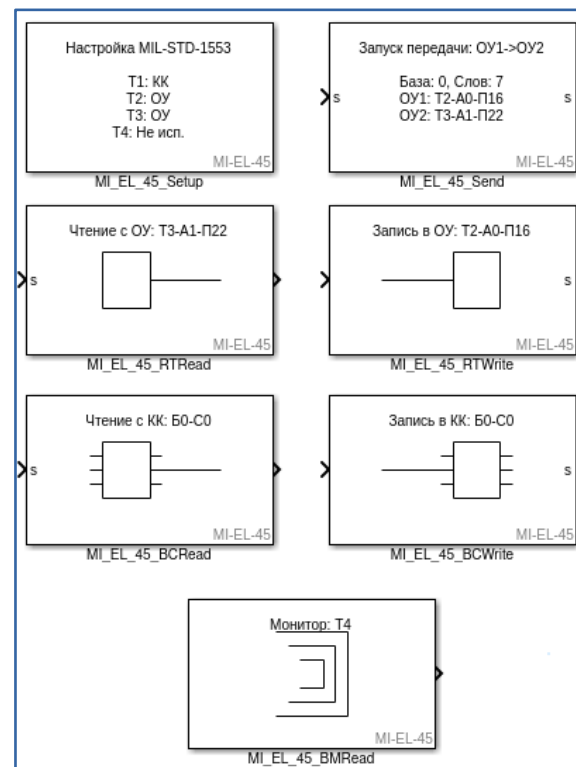
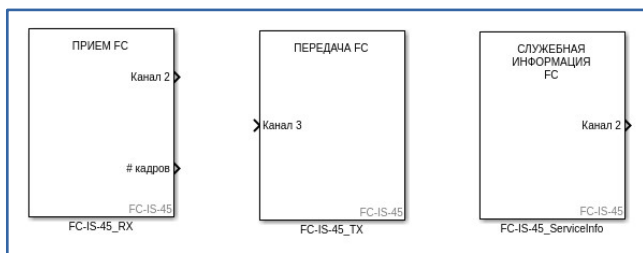
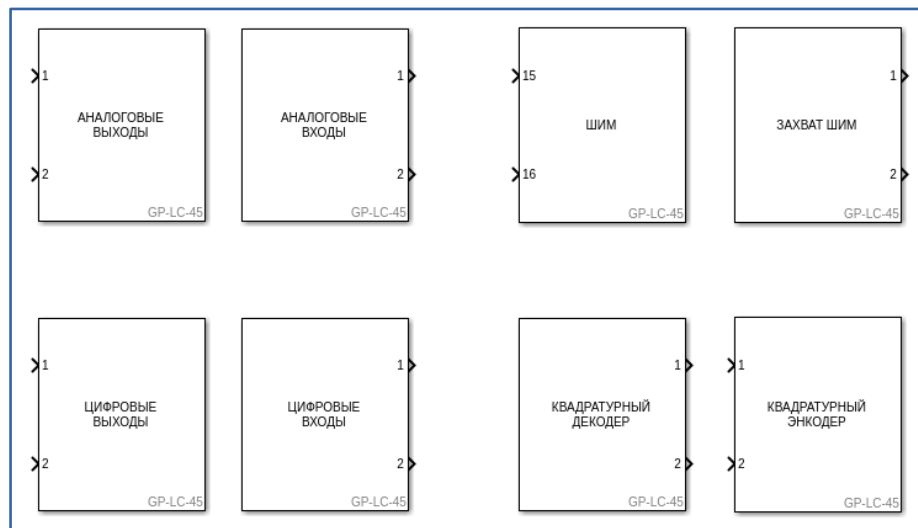


# КПМ РИТМ: модули ввода-вывода

- **Аналого-цифровые модули общего назначения**
  - АЦП, ЦАП, цифровые входы/выходы, ШИМ, квадратурный энкодер/декодер
- **Специализированные интерфейсы**
  - ARINC 429
  - MIL-STD-1553
  - RS-232/RS-422/RS-485
  - CAN, J1939, XCP
  - Fibre Channel (FC-AE-ASM)
  - Платы на базе ПЛИС
- **Список постоянно пополняется...**



# КПМ РИТМ: библиотека блоков Simulink



# КПМ РИТМ: библиотека блоков Simulink

## Получение отсчетов с АЦП GP-LC-45 (mask)

Блок используется для получения отсчетов с АЦП модуля ввода-вывода Exponenta GP-LC-45.

### Параметры

Каналы АЦП:

Диапазон АЦП:

Режим АЦП:

Идентификатор модуля:

Частота дискретизации (с):

## Генерация ШИМ сигналов на GP-LC-45 (mask)

Блок используется для генерации ШИМ сигналов с использованием модуля ввода-вывода Exponenta GP-LC-45.

### Parameters

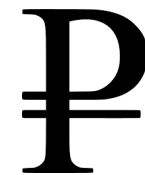
Каналы ШИМ:

Период ШИМ (с):

Идентификатор модуля:

Частота дискретизации (с):

# КПМ РИТМ: сколько стоит?



- Чтобы рассчитать стоимость, нам нужно получить от вас входные данные/требования
  - Основная стоимость — в платах ввода-вывода
  - Напишите на **tech@exponenta.ru**
- Можем проверить работоспособность на ваших моделях до поставки комплекса
  - Гарантия, что ваша конкретная модель работает в реальном времени с настоящими интерфейсами
- Сервисы ЦИТМ «Экспонента»
  - **Помощь и обучение** при пусконаладке комплекса
  - **Доработка** необходимых интерфейсов под ваши нужды
  - Осуществление технической **поддержки** на территории РФ и СНГ

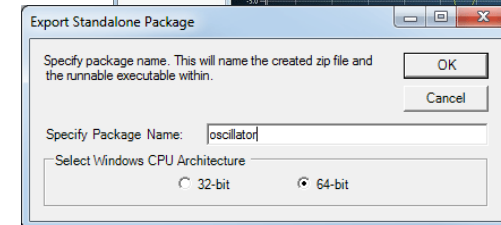
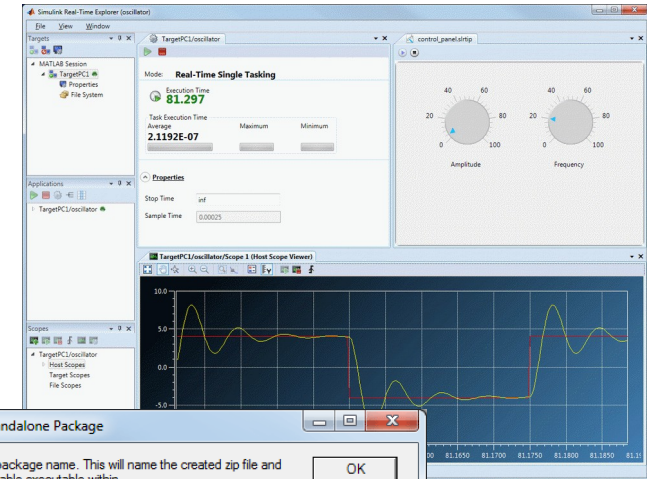
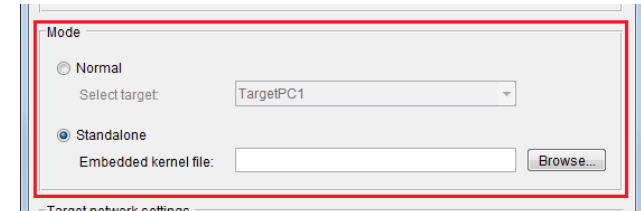
# Работа в автономном режиме

## Создание независимых приложений реального времени

- ✓ Создание автономного встраиваемого приложения реального времени
- ✓ Приложение загружается и запускается автоматически при включении машины
- ✓ Не нужна лицензия Simulink, не нужен компьютер разработчика
- ✓ Разворачивание приложения на нескольких машинах без дополнительных лицензий

## Создание автономных графических интерфейсов пользователя

- ✓ Запуск Simulink Real-Time Explorer в автономном режиме
- ✓ Использование APIs для создания собственных графических интерфейсов пользователя

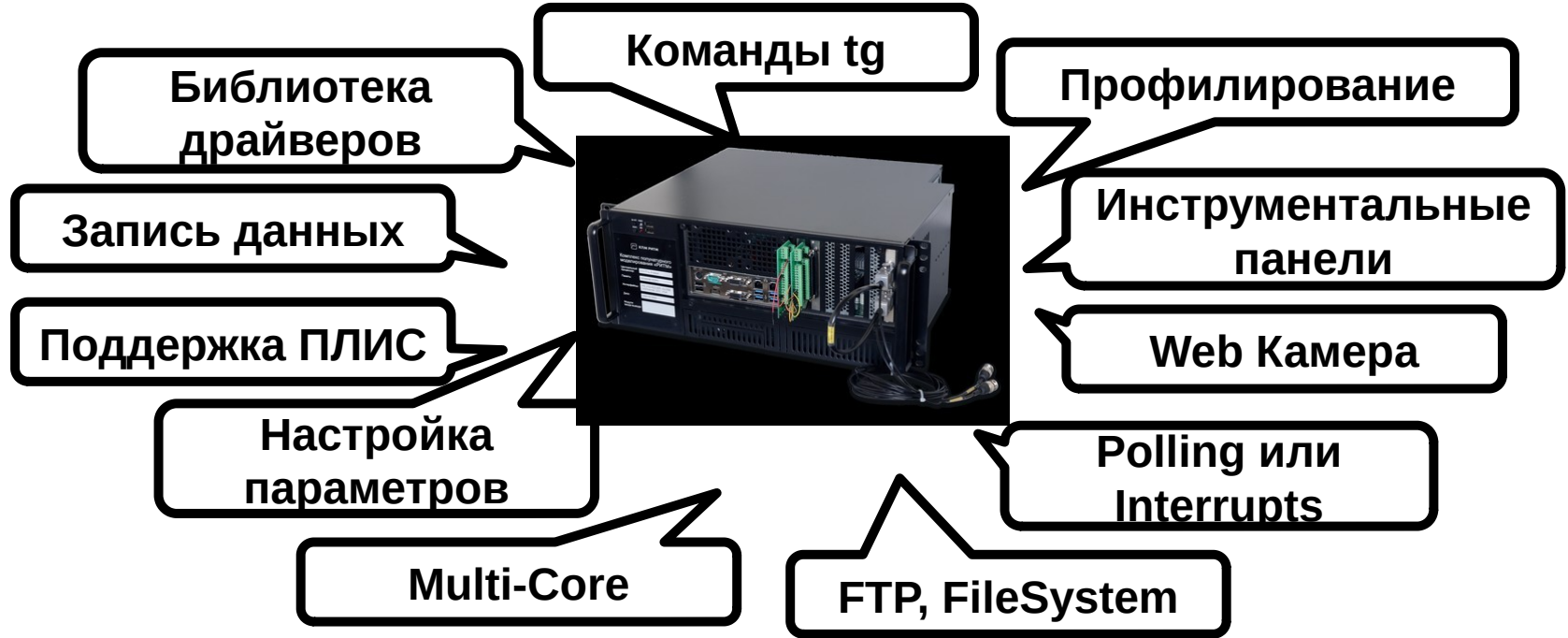


# Демонстрация



# Возможности Simulink Real-Time

- Быстрое прототипирование
- Полунатурное моделирование (HIL)
- Автономная работа



## Широкая область применения ...

Автоматизация и управление	Робототехника, промышленные процессы, силовые и энергетические системы, датчики и исполнительные механизмы, управление зданиями и технологическое оборудование ...
Медицинские устройства	Слуховые аппараты, биомедицинское оборудование и медицинские устройства (робототехника) ...
Академия	Верификация и тестирование теоретических концепций, обучение студентов, разработка новых технологий для коммерческих применений ...
Зеленая энергия	Солнечные батареи, ветряки и двигатели на альтернативном топливе
Авто	Пассажирские авто, грузовики, внедорожники, строительная и сельхозтехника, гоночные ...
Аэрокосмос	Авиация, военный транспорт, БПЛА, ракеты, спутники и космические аппараты ...
Электроника	Хранение данных, принтеры, мультимедиа, оборудование для производства DVD, Blu Ray ...

# Центр инженерных технологий и моделирования Экспонента

Вебинары, семинары, обучение, демонстрационные версии,  
консалтинг, внедрение МОП:

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

E-mail: [matlab@exponenta.ru](mailto:matlab@exponenta.ru)

Тел.: +7 (495) 009 65 85

Дополнительная информация:

[www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), [www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru)

[www.youtube.com/user/MATLABinRussia](http://www.youtube.com/user/MATLABinRussia)