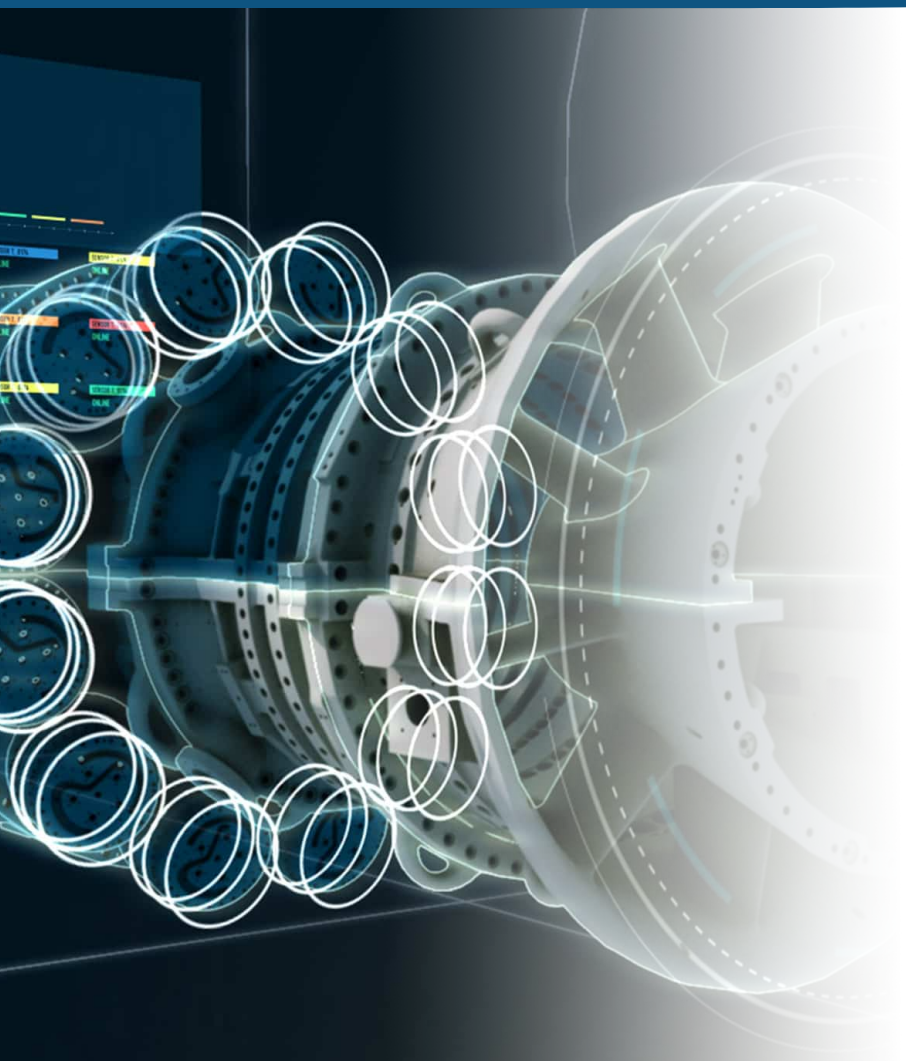




ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Предсказание отказов с помощью цифровых двойников

PMDT2020-I

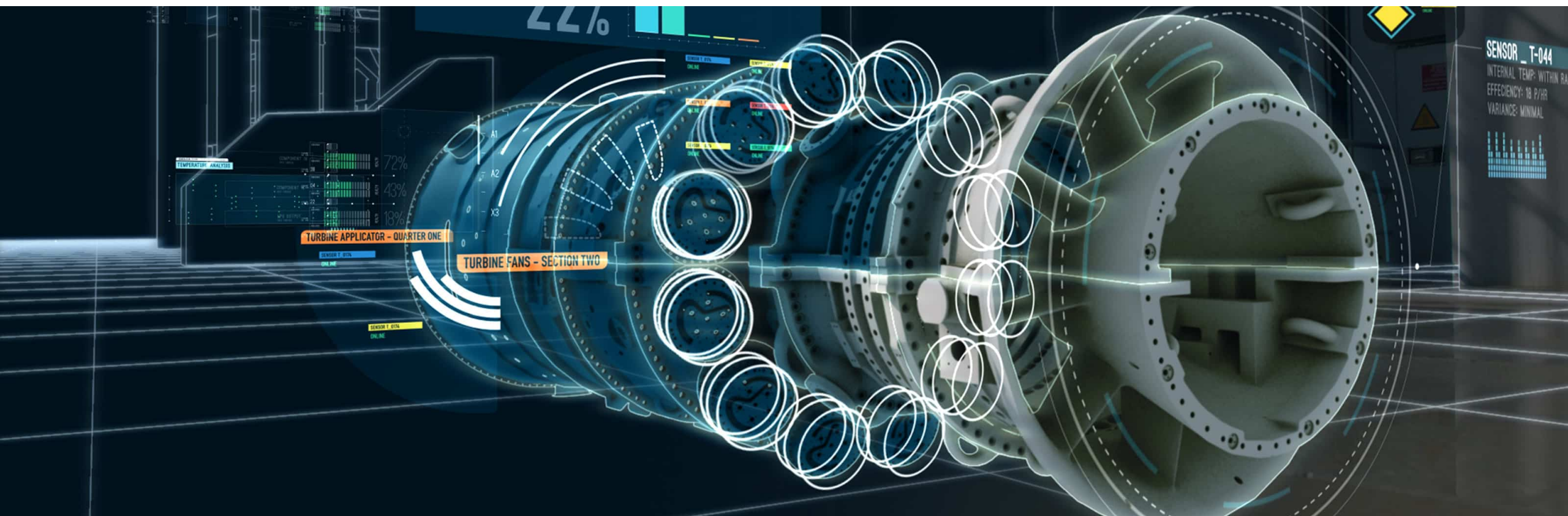
Павел Рословец

Инженер ЦИТМ «Экспонента»

Цель доклада

Обзор технологий и возможностей предсказания отказов с помощью цифровых двойников

Цифровой двойник

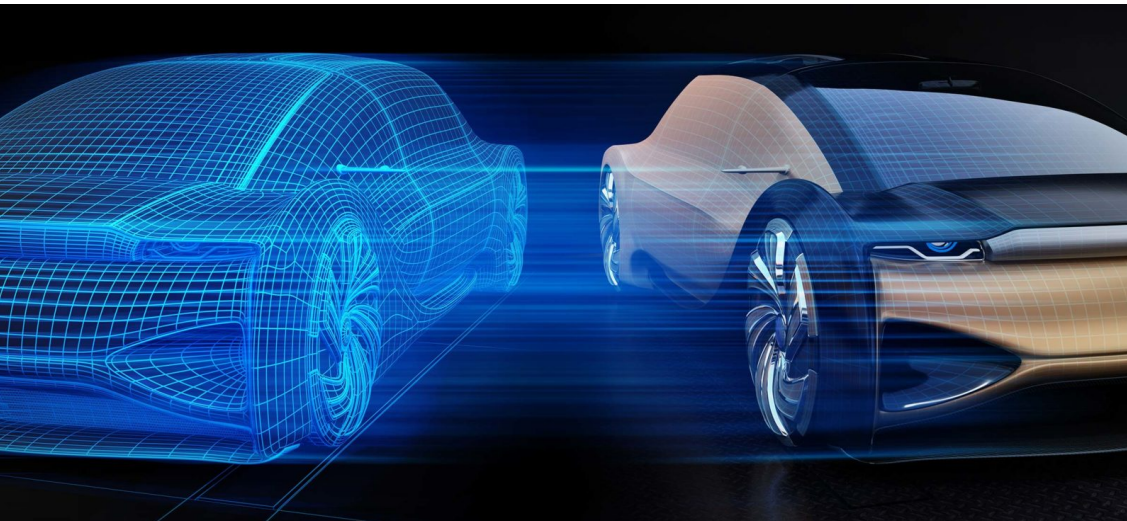


Цифровой двойник

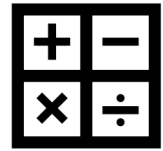
- Цифровая копия физического объекта или процесса

 Математическая модель (**поведение**)

 Твердотельная модель (**конструкция**)



Цифровой двойник в узком смысле

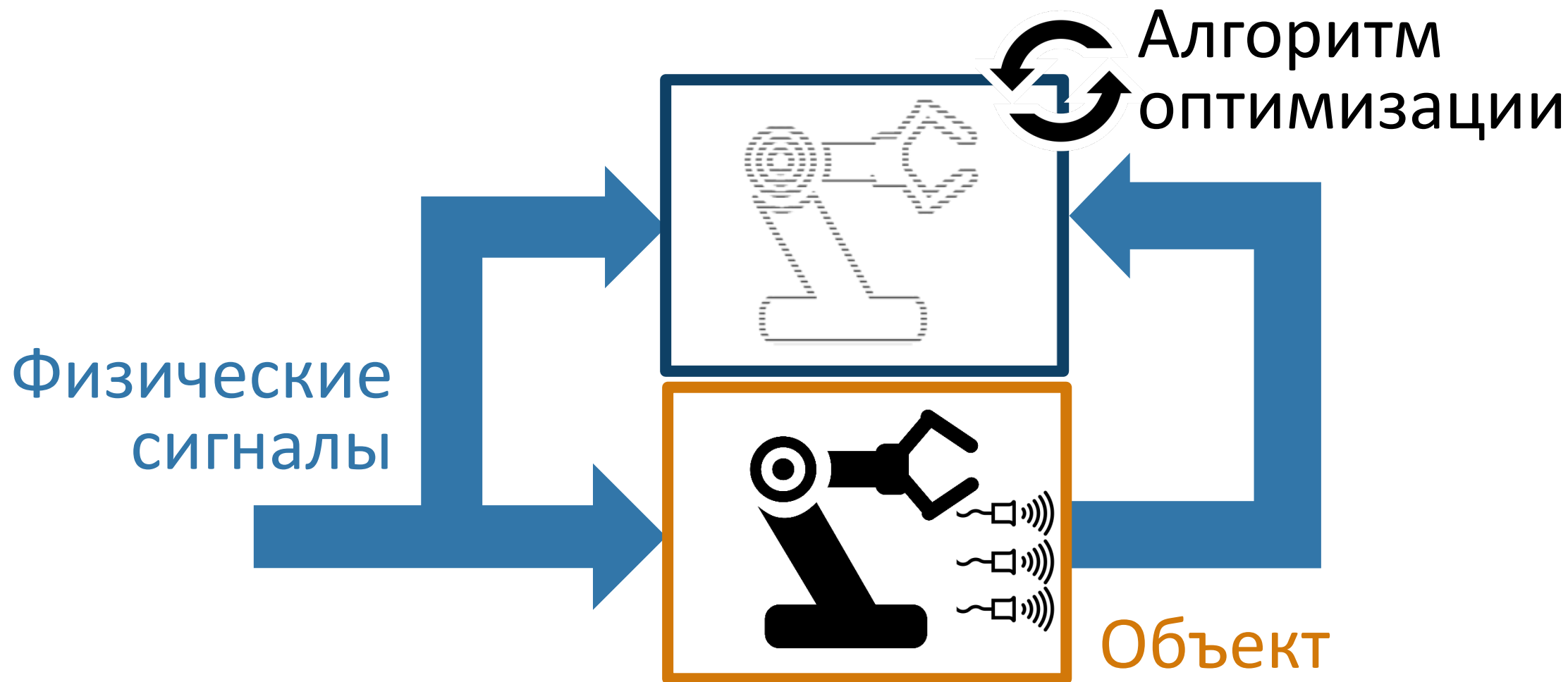


Актуальная модель поведения объекта в процессе его работы



Использует данные с реального объекта

Двойник уточняется в процессе

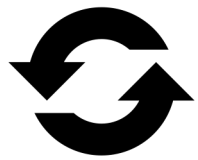


Цифровой двойник

Назначение



Оценка состояния объекта



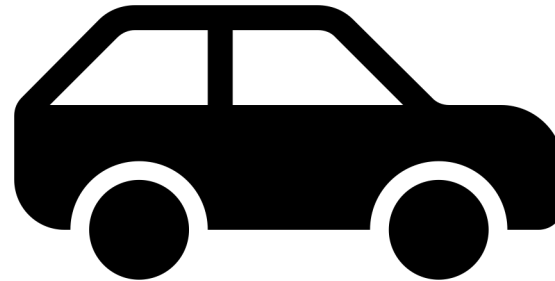
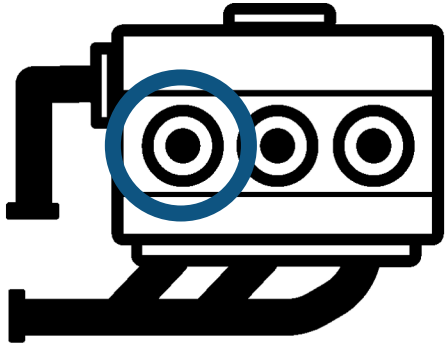
Оптимизация работы



Предсказание поведения (отказов)

Примеры объектов

Клапан
насоса

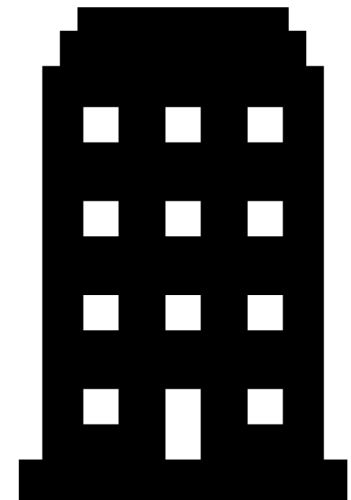


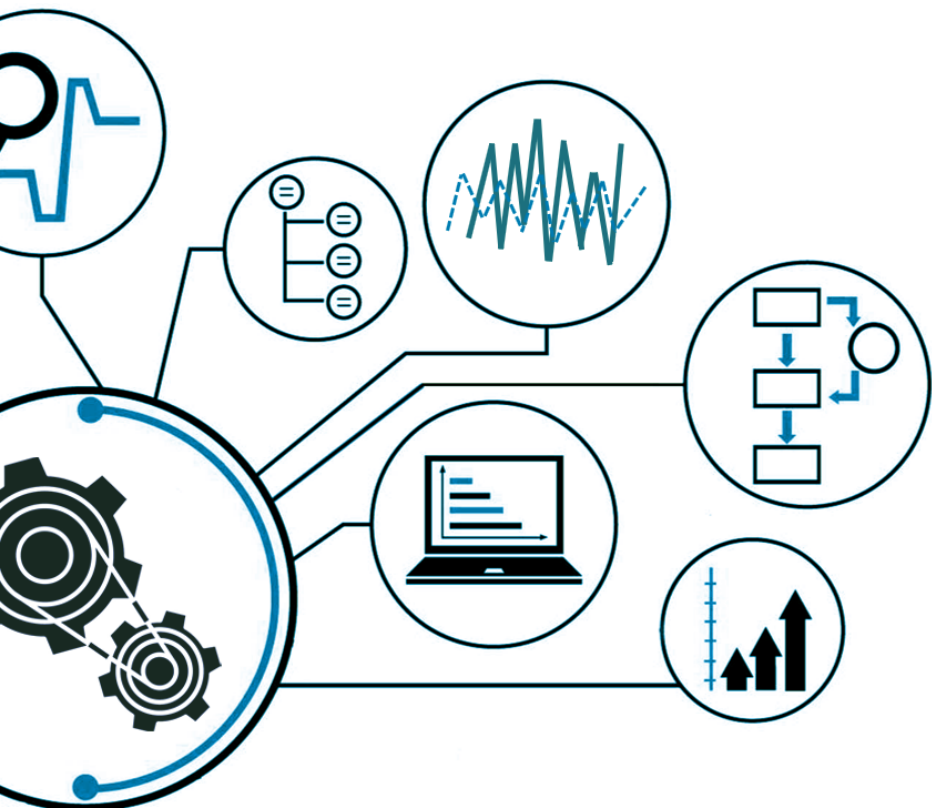
Автомобиль



Производственная линия

Здание

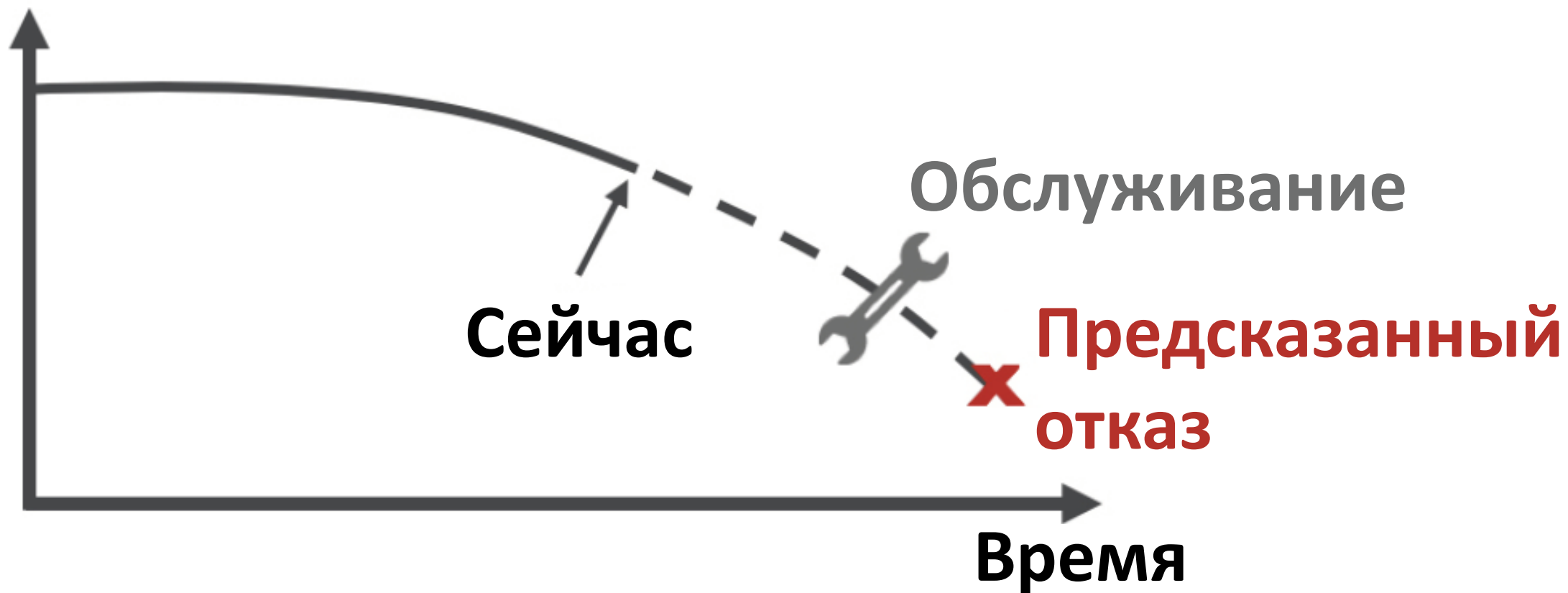




Предсказательное обслуживание

Предсказательное обслуживание

Состояние



Предсказательное обслуживание

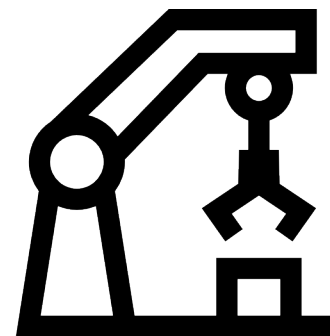
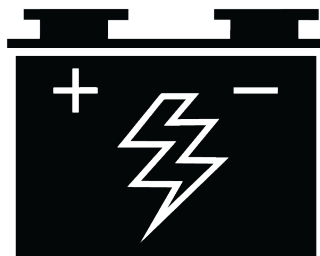
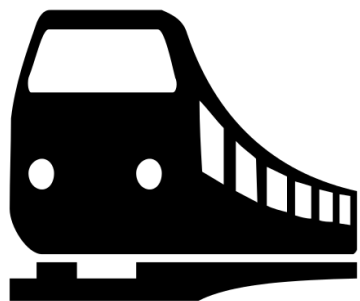
Преимущества

 Сокращение затрат на обслуживание

 Предотвращение аварийных ситуаций

Предсказательное обслуживание

Применение



Предсказательное обслуживание

Особенности



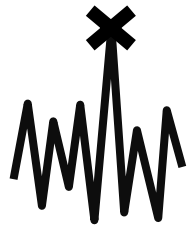
Алгоритмы работают **постоянно**



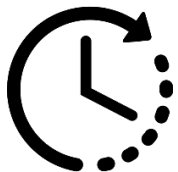
Используются **сигналы** с оборудования

Предсказательное обслуживание

Задачи



Детектирование аномалий



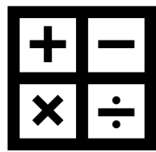
Определение остаточного ресурса (RUL)



Классификация отказов

Предсказательное обслуживание

Подходы



На базе алгоритмов



На базе цифровых двойников

Вебинар от 19 сентября 2019



Продукты и Услуги

Тренинги

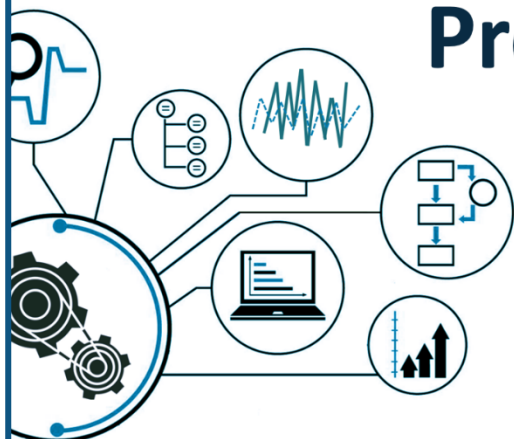
Мероприятия

на exponenta.ru



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разработка алгоритмов Predictive Maintenance



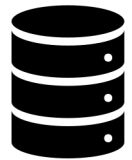
PM2019-III

Павел Рословец
Инженер ЦИТМ «Экспонента»

[Перейти](#)



Предсказательное обслуживание на базе цифровых двойников



История состояний объекта



Гибкость в обслуживании



Моделирование разных сценариев

Сеть насосов

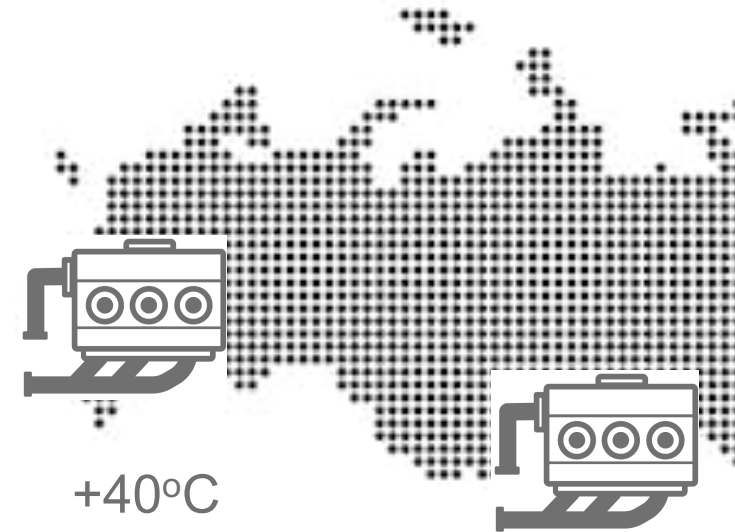
Пример



- Оборудование сложного и дорогое
- Оно распределено по стране
- Разные условия эксплуатации
- У каждого есть цифровой двойник

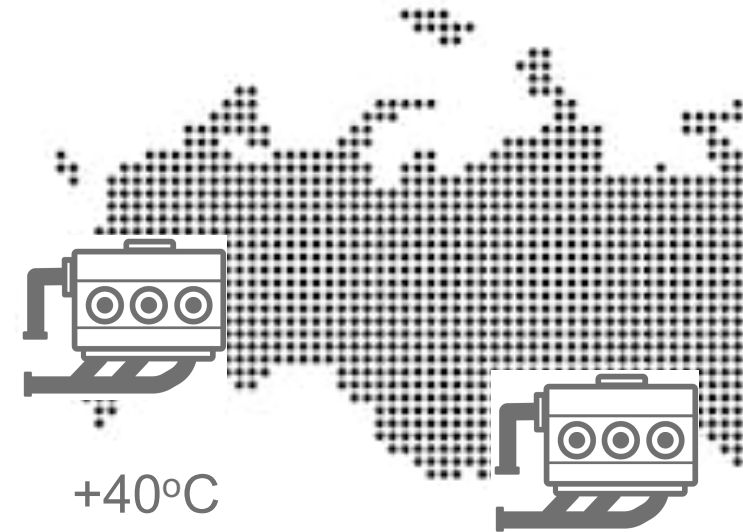
Сокращение времени простоя

- Дорогостоящие отказы предсказываются заранее и предотвращаются для каждого насоса



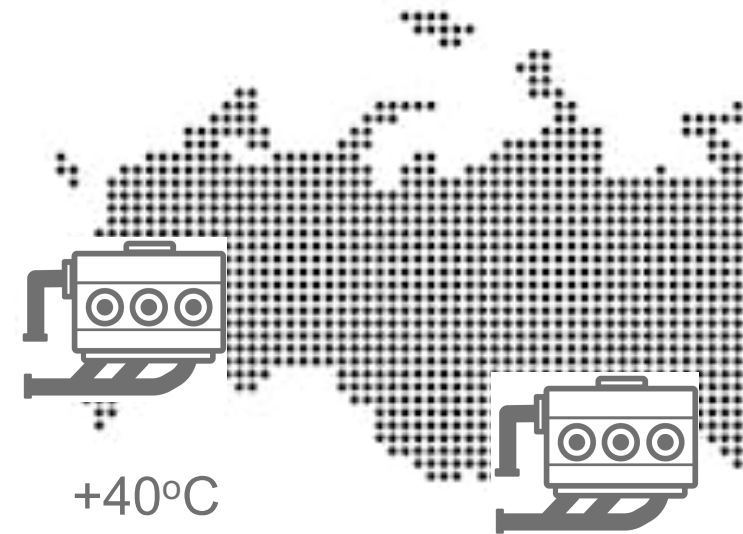
Оптимизация обслуживания

- Предсказание остаточного ресурса помогает планировать обслуживание
- Определение типов отказов ускоряет обслуживание



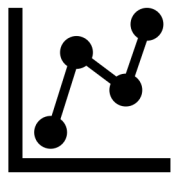
Улучшение управления сетью

- Моделирование позволяет оценивать влияние условий
- Сеть цифровых двойников позволяет оптимизировать управление реальной сетью



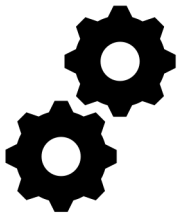
Цифровой двойник

Способы построения



Поведенческая модель (статистическая)

На основе накопленных данных

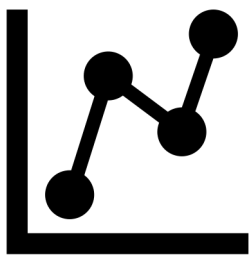


Физическая модель

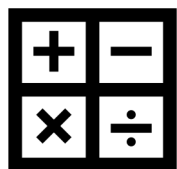
На основе принципа работы



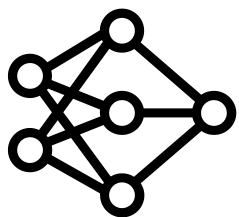
Комбинированный подход



Цифровой двойник на основе данных



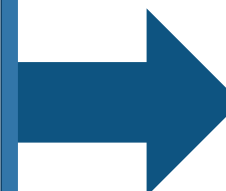
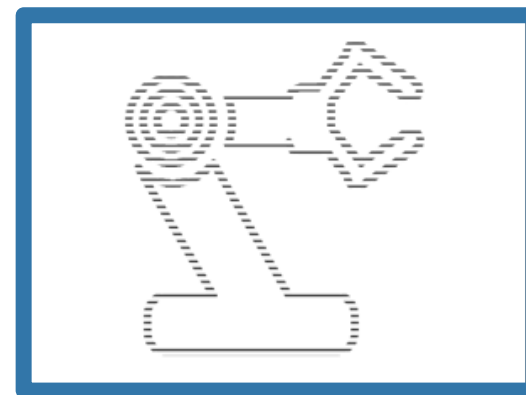
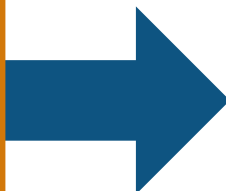
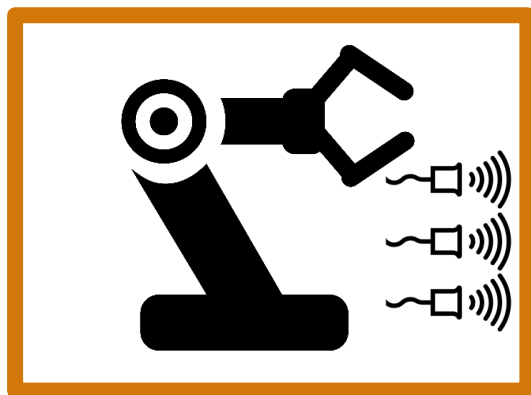
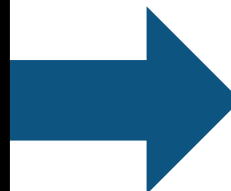
Статистические модели (RUL)
Подобия, выживания и деградации



Модели машинного обучения
Классические и нейросети

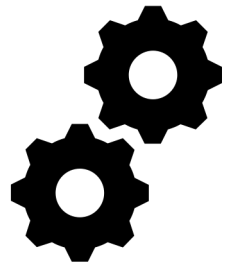
Где брать данные?

База данных



Реальный объект

Цифровой двойник



Цифровой двойник на основе законов физики

$$\frac{1}{s+1}$$

Передаточные функции

$$\frac{d}{dt}$$

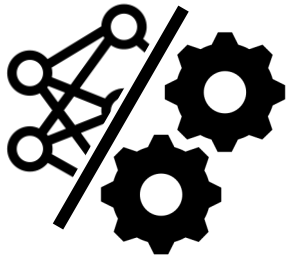
Системы уравнений

Дифференциальные, нелинейные



«Физическое» моделирование

Математика под капотом



Цифровой двойник комбинированный

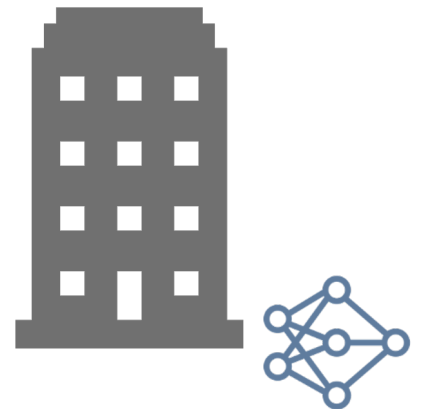
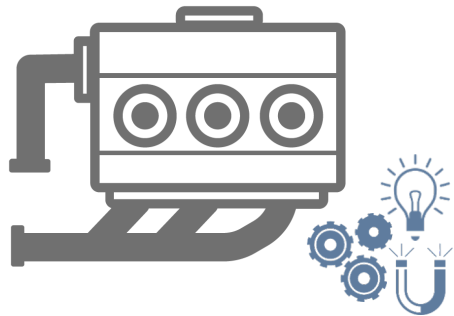
Фильтр Калмана

- Линейный
- Расширенный
- Сигма-точечный
- ...

Какой способ выбрать?

Это зависит от

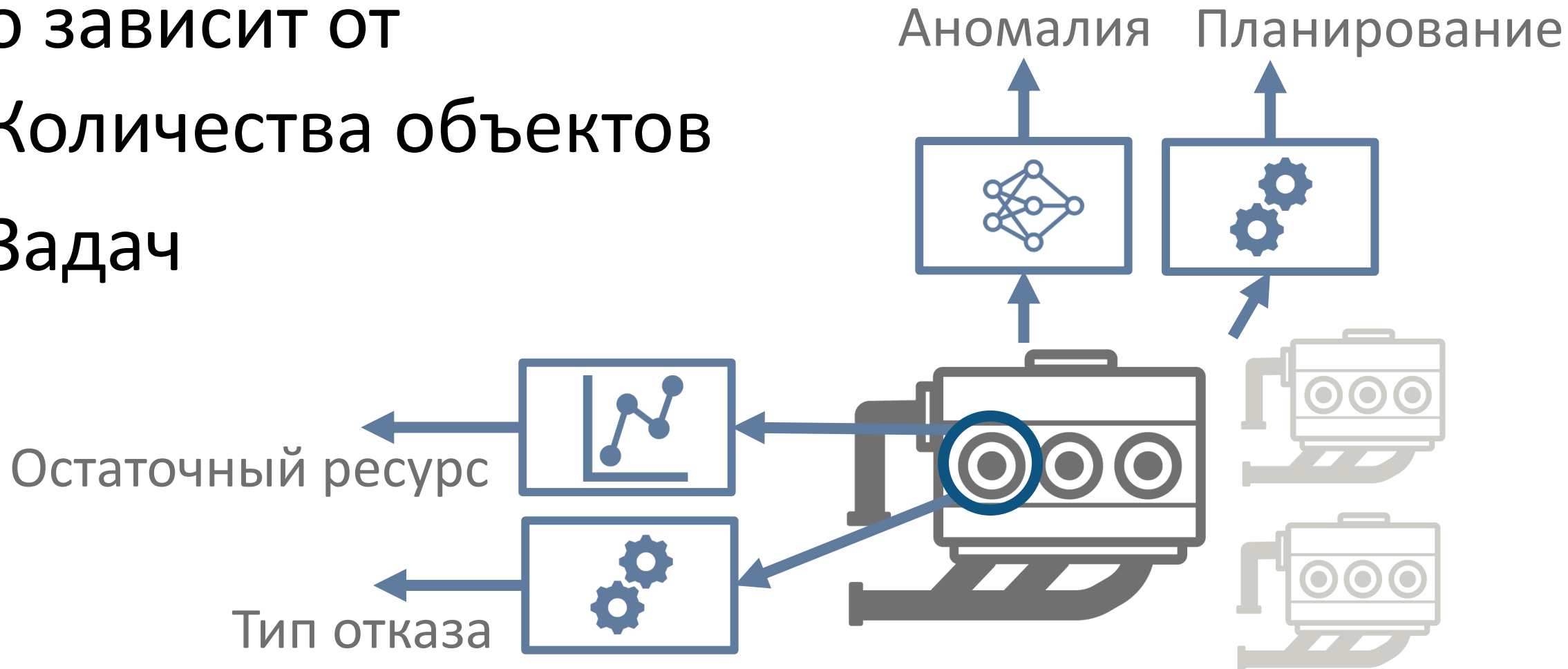
- Типа объекта
- Имеющихся данных и моделей



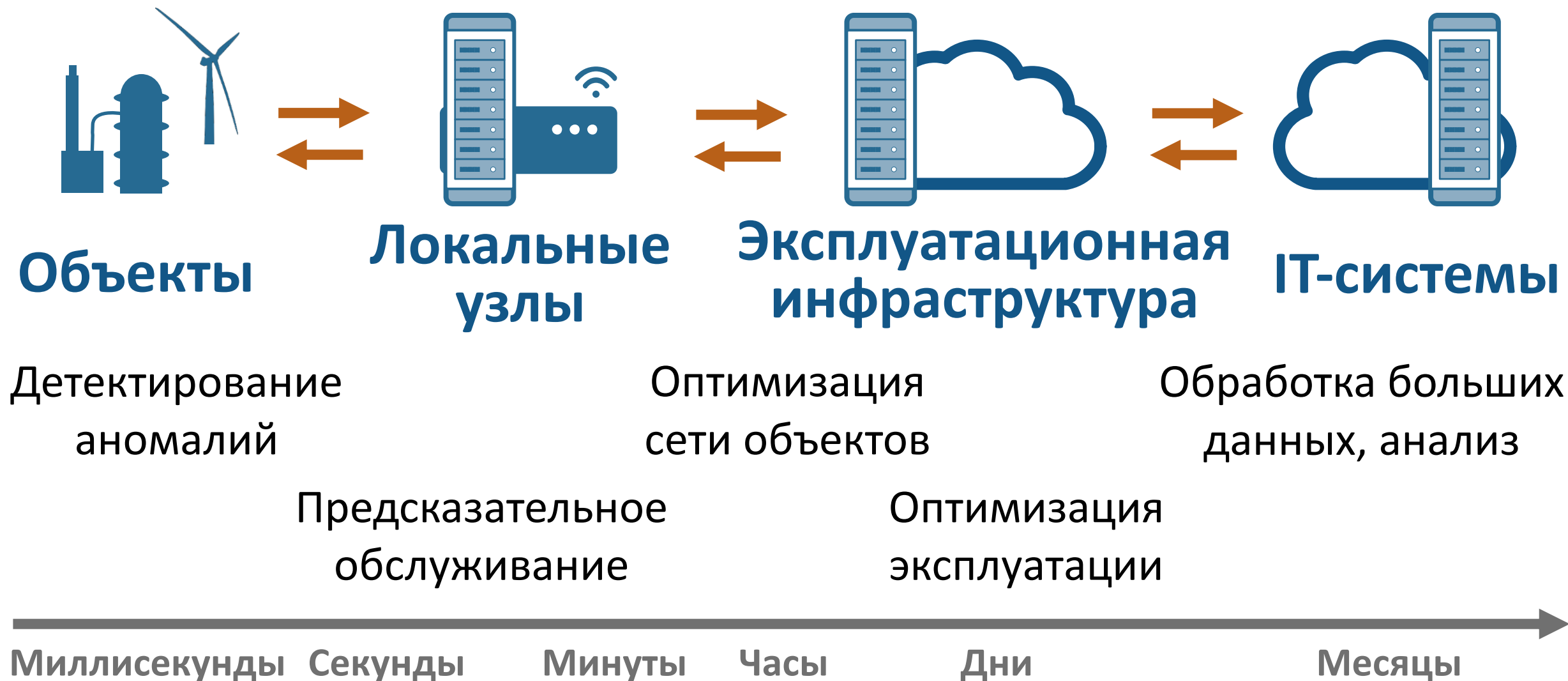
Сколько цифровых двойников нужно?

Это зависит от

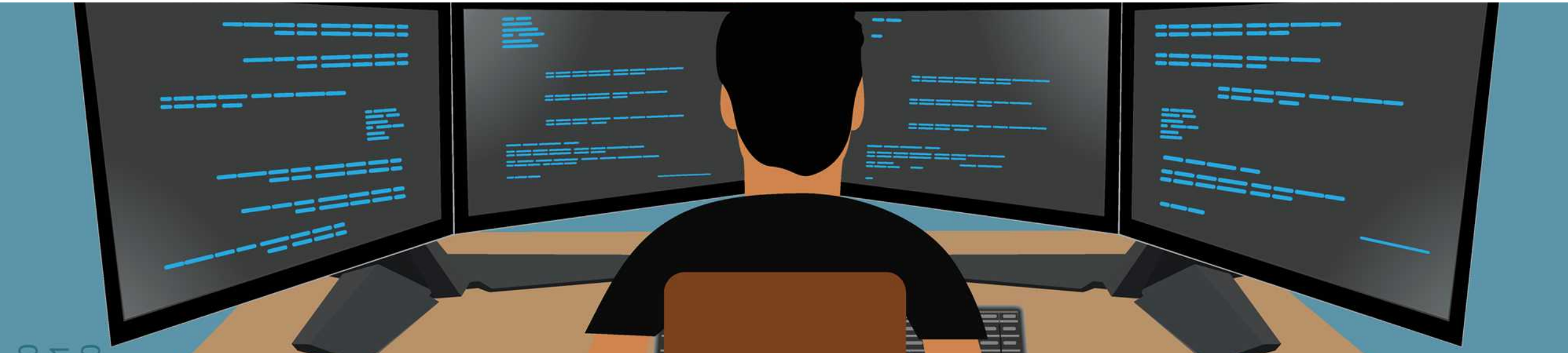
- Количества объектов
- Задач



Где разворачивать алгоритмы?

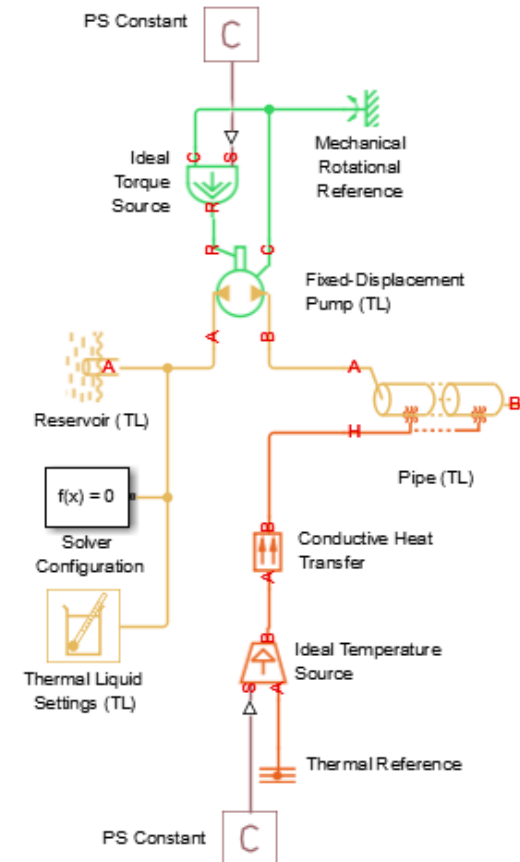
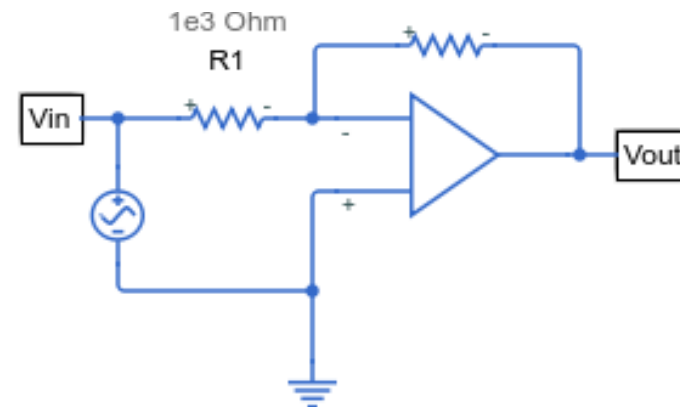
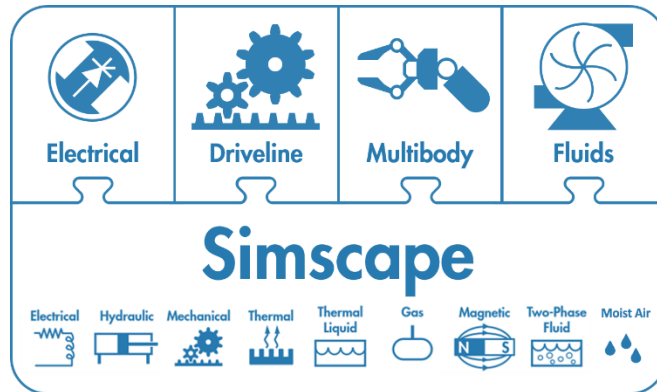


Выбор инструментов



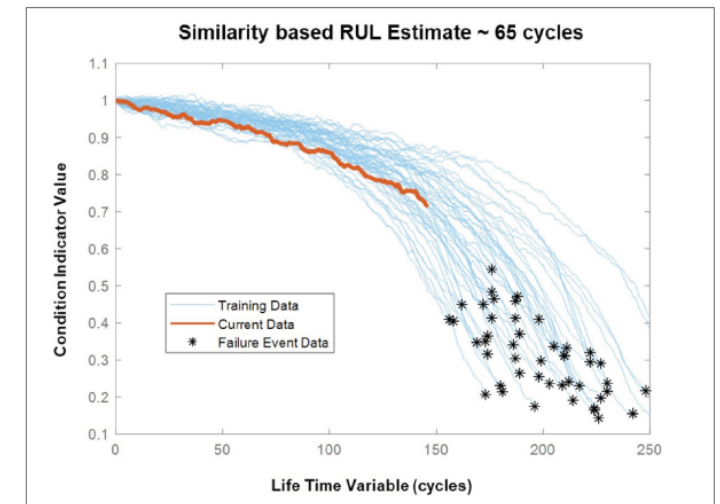
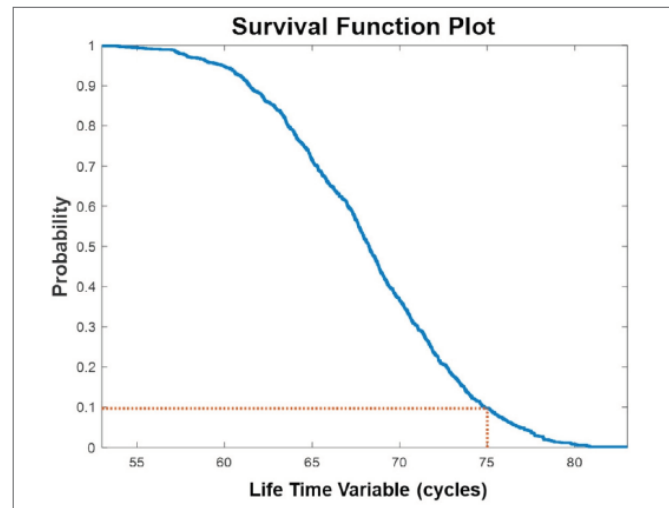
«Физические» цифровые двойники

- Simulink
- Семейство Simscape
- Simulink Design Optimization



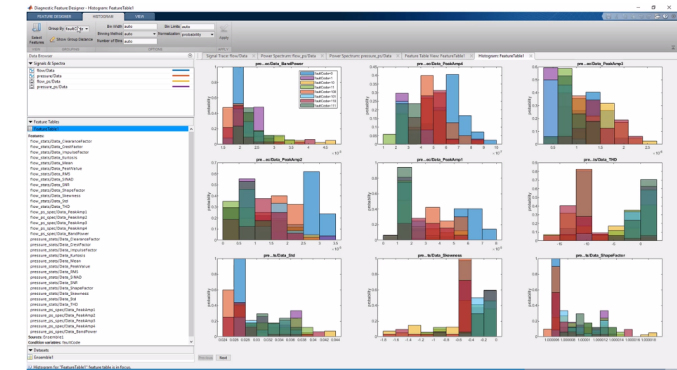
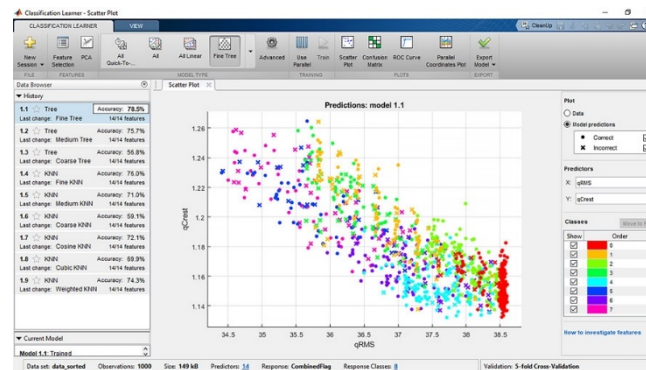
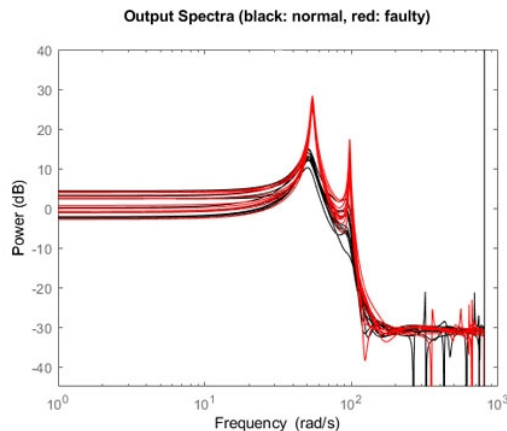
«Статистические» цифровые двойники

- MATLAB
- Predictive Maintenance Toolbox



Алгоритмы предсказания отказов

- Statistics and Machine Learning Toolbox
- Deep Learning Toolbox
- Predictive Maintenance Toolbox



Развертывание на устройствах

**Simulink
Coder**

Node



ROS

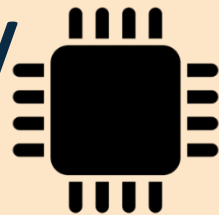


**Embedded
Coder**

C/C++



MCU/
DSP



GPU Coder

CUDA C



GPU

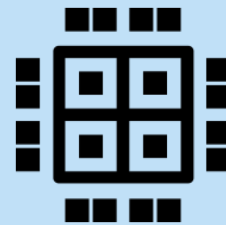


HDL Coder

HDL/
Verilog



FPGA
SoC



PLC Coder

LD/ST

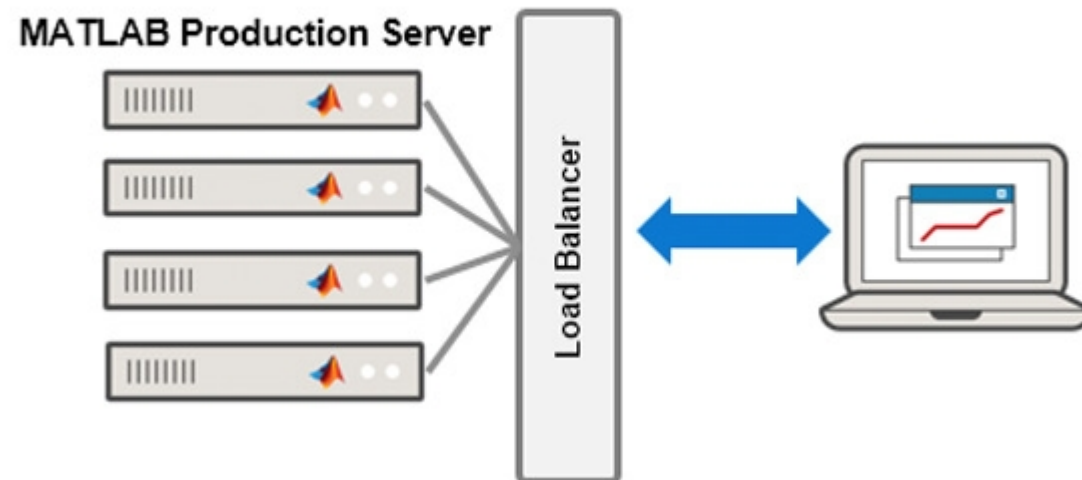
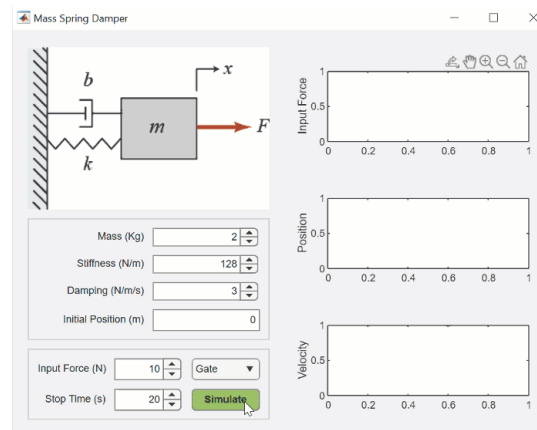
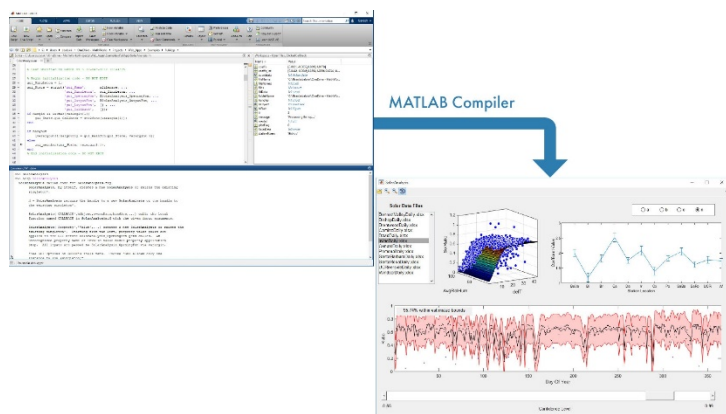


PLC



Развертывание в IT-системах

- MATLAB Compiler
- Simulink Compiler **new**
- MATLAB Production Server



Поддерживаемые технологии



Аналитик/инженер

Среда MATLAB – самый мощный и полноценный инструмент для реализации предсказательного обслуживания



- Построение цифровых двойников
- Предсказательные алгоритмы
- Быстрое развертывание
- Легко начать

MATLAB для предсказания отказов уже используют многие компании



BOSCH

Baker Hughes



equinor



NEWCREST
MINING LIMITED



Transocean



mondi



SAFRAN



Metro de Madrid



NIO



Daimler
Mercedes-Benz

+GF+

GF Machining Solutions



tech@exponenta.ru
exponenta.ru



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

- **Технические консультации**
- **Подбор инструментов**
- **Обучение специалистов**
- **Работа на заказ**

tech@exponenta.ru
exponenta.ru

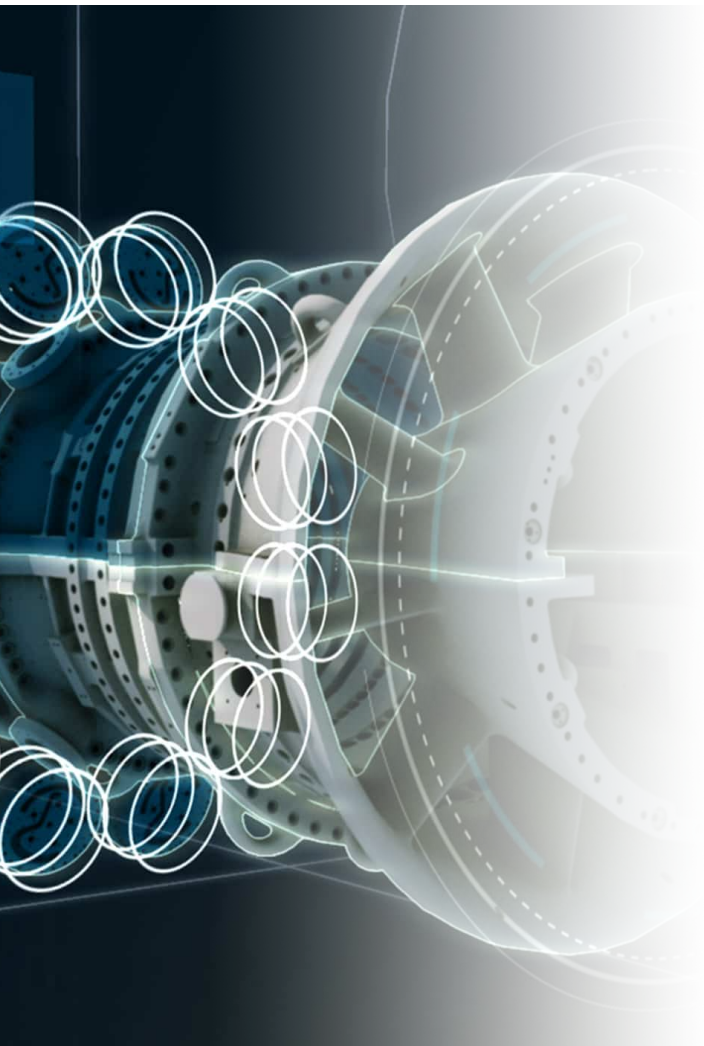


ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Наши услуги

[Подробнее](#)

- Создание цифровых двойников
- Выделение признаков отказов
- Разработка предсказательных алгоритмов
- Развертывание и генерация кода



С чего начать?

Мы знаем.

Опишите нам свою задачу

- В анкете после конференции
- exponenta.ru
- tech@exponenta.ru