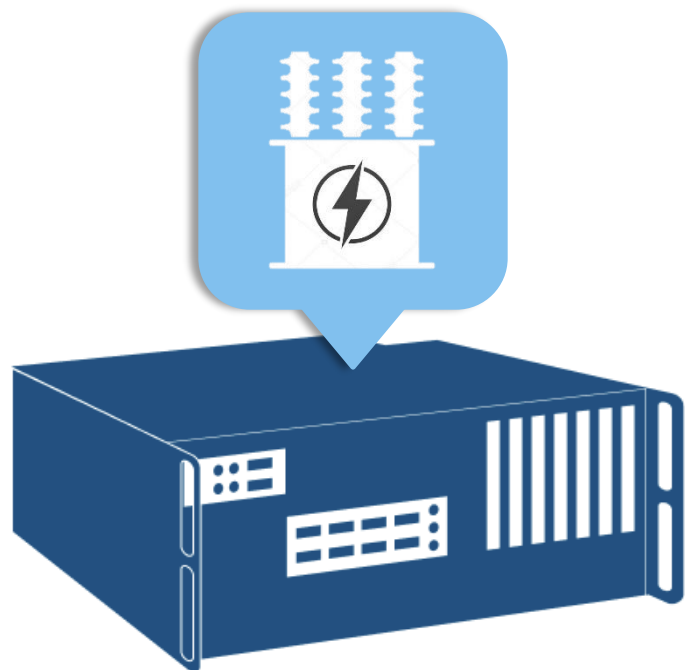




ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Цифровой двойник трансформатора: на пути к интеллектуальному мониторингу

Гладков Дмитрий

Лесничая Анастасия

Инженеры ЦИТМ «Экспонента»

Содержание

1 часть

Цифровой двойник трансформатора на базе КПМ РИТМ

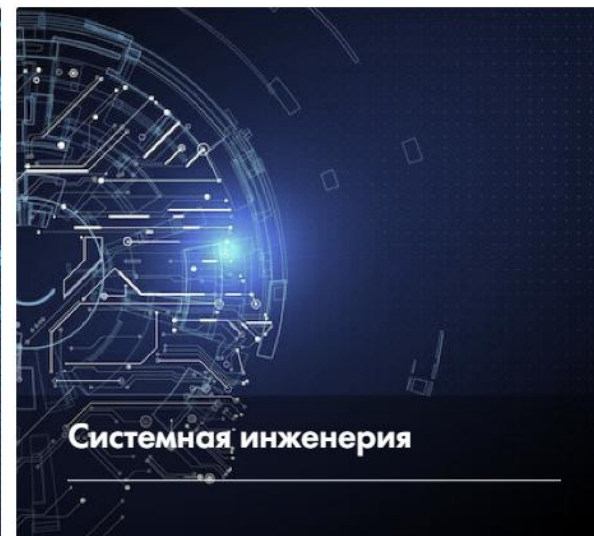
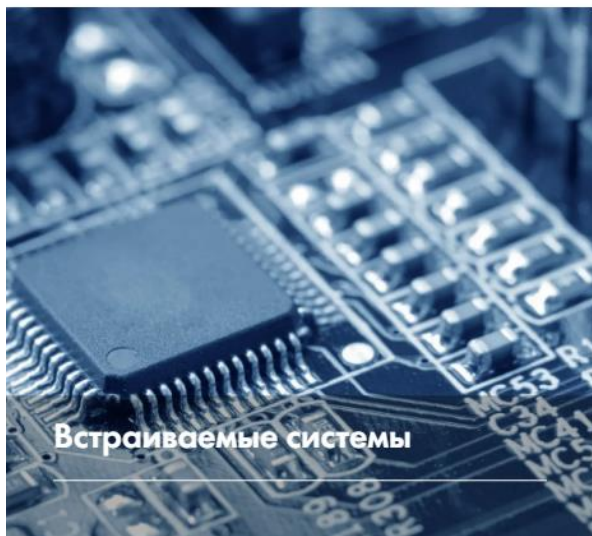
- проблемы эксплуатации трансформаторов
 - построение модели трансформатора в Simulink
 - двухсторонняя связь трансформатора с его моделью
 - генерация данных с помощью цифрового двойника трансформатора
-

2 часть

Предсказательное обслуживание и распознавание аномалий

- введение в предиктивное обслуживание
- инструменты MATLAB для предсказательного обслуживания
- распознавание аномалий трансформатора на основе машинного обучения

ЦИТМ Экспонента



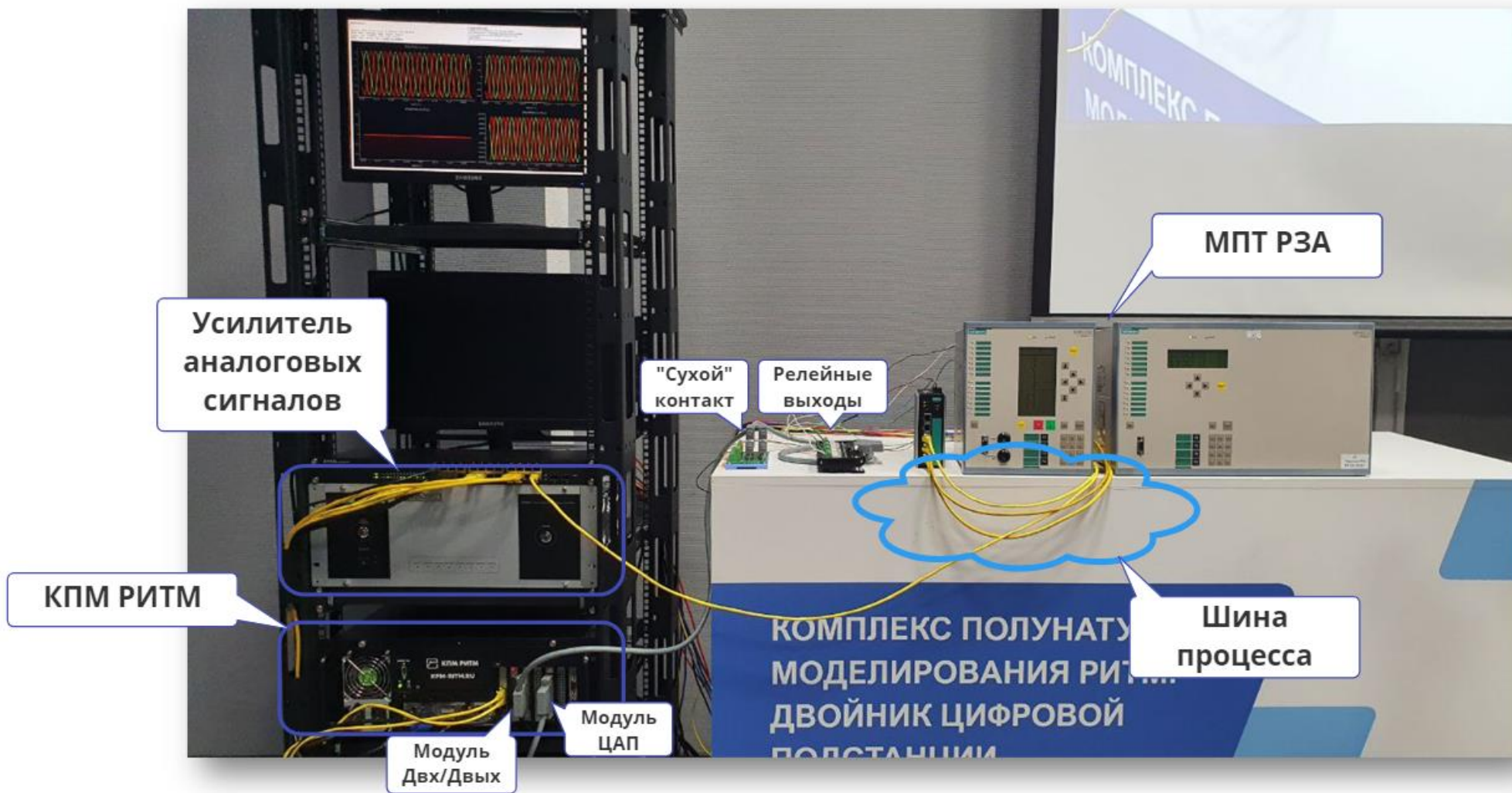
Комплекс полунатурного моделирования РИТМ

Сценарии применения в электроэнергетике:

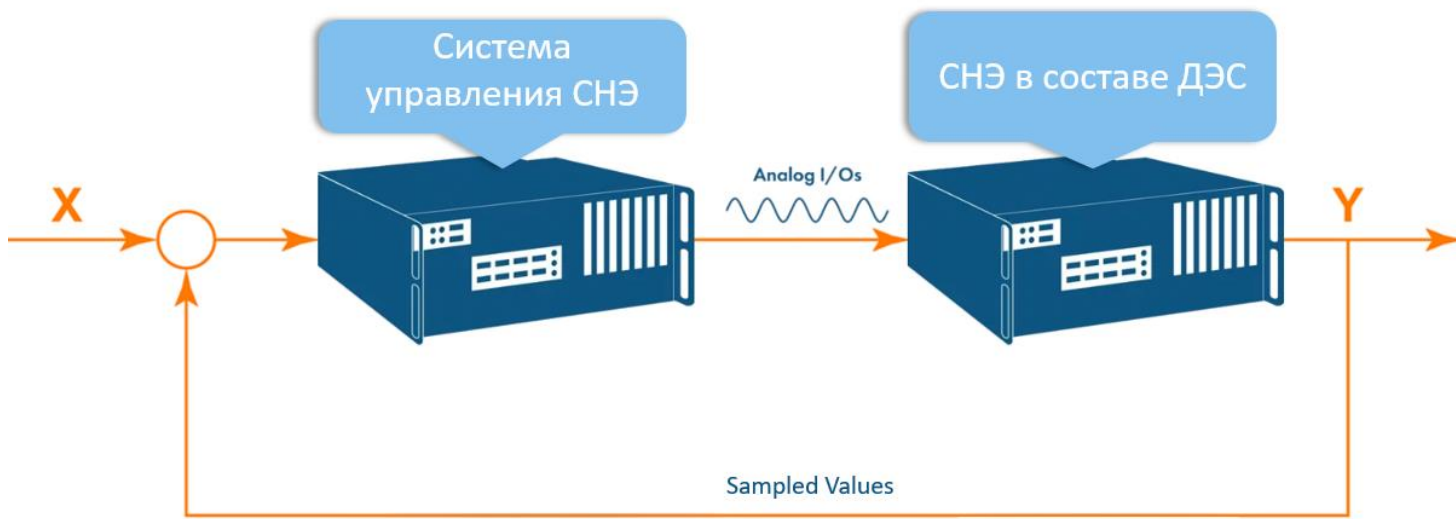
- Полунатурное моделирование
- Быстрое прототипирование
- Гибридное тестирование



Полунатурное моделирование



Быстрое прототипирование

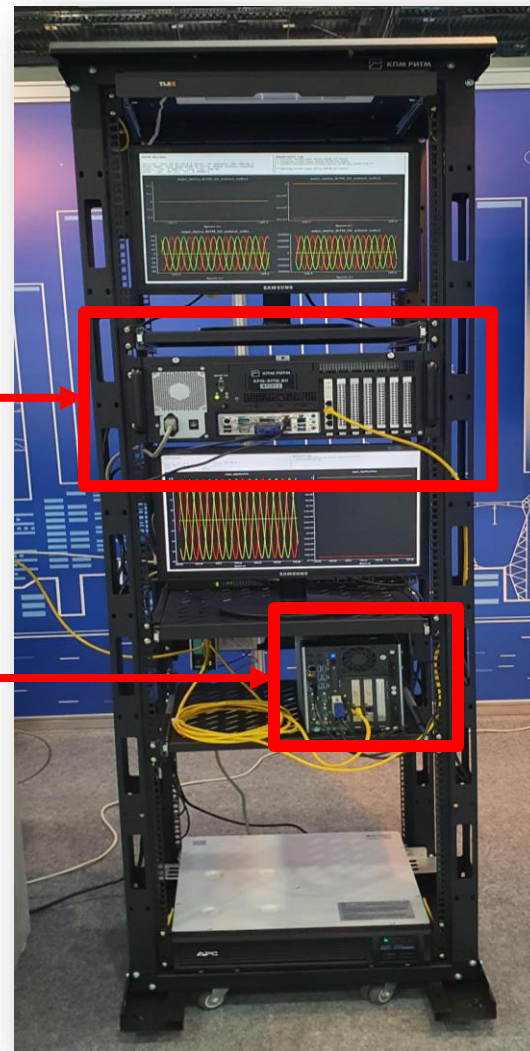
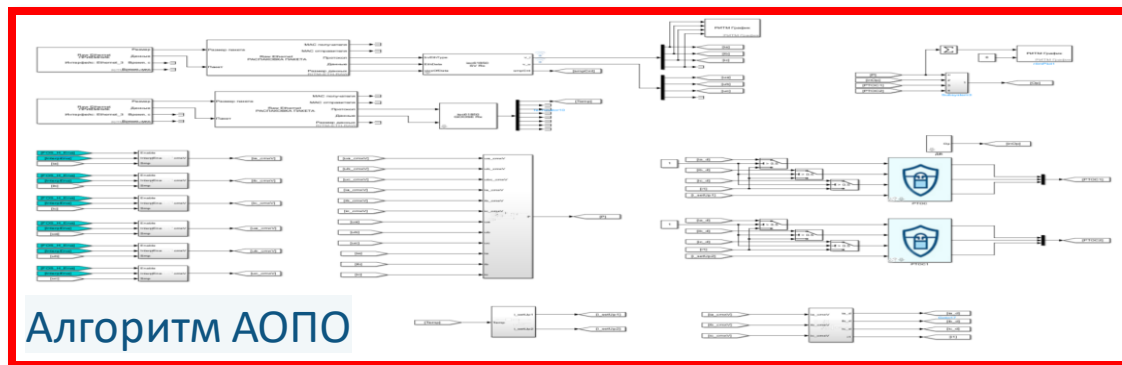
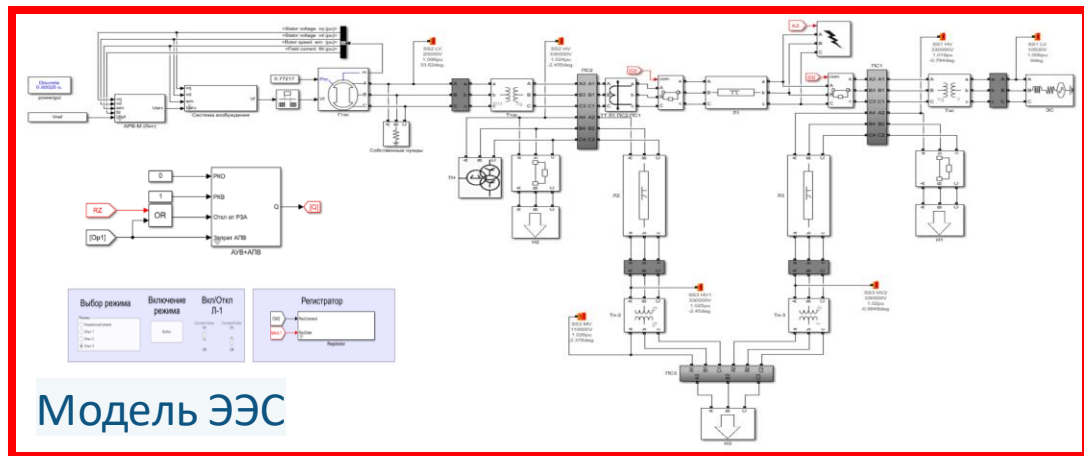


СНЭ в составе ДЭС

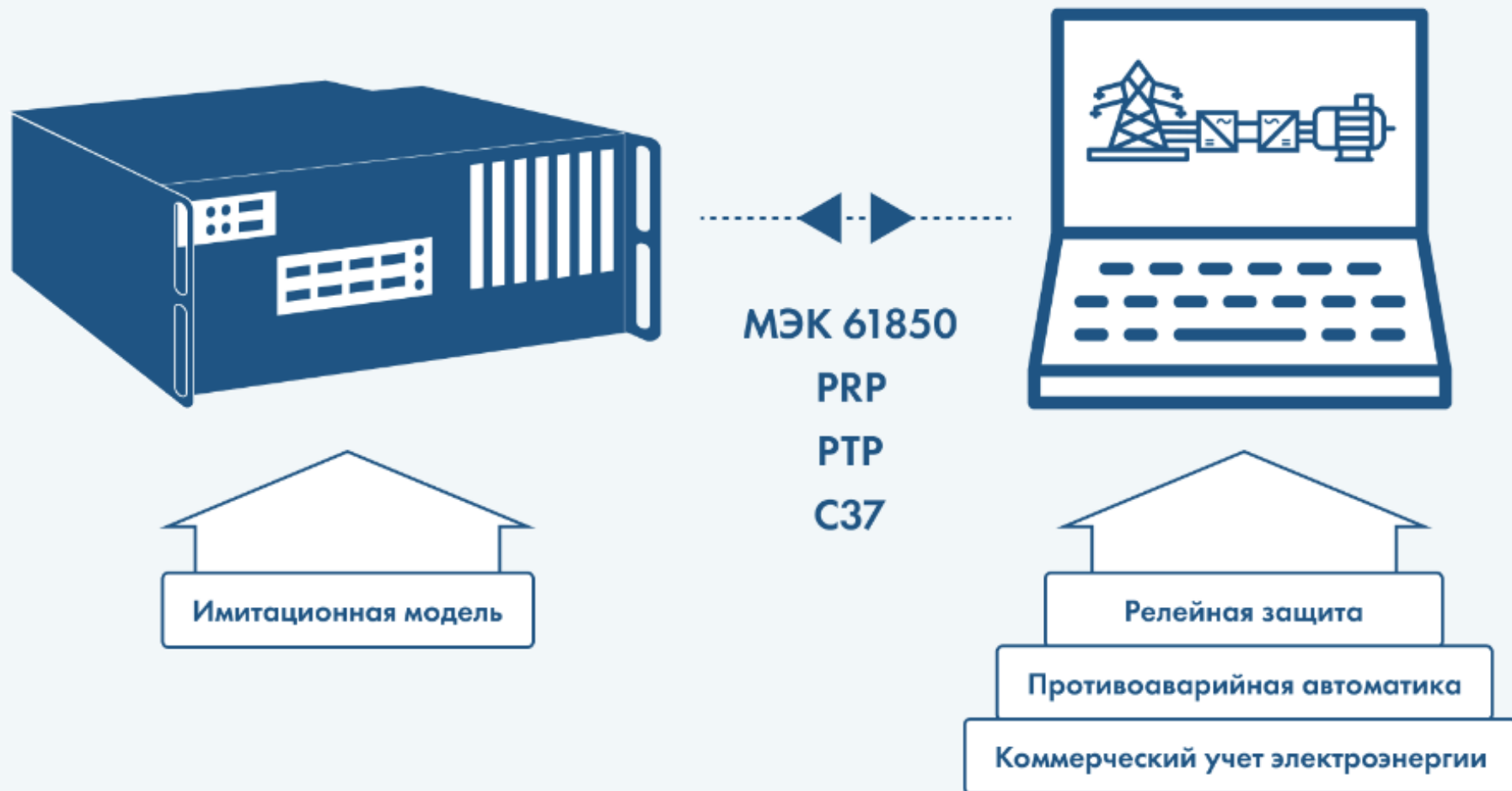
Система
управления СНЭ



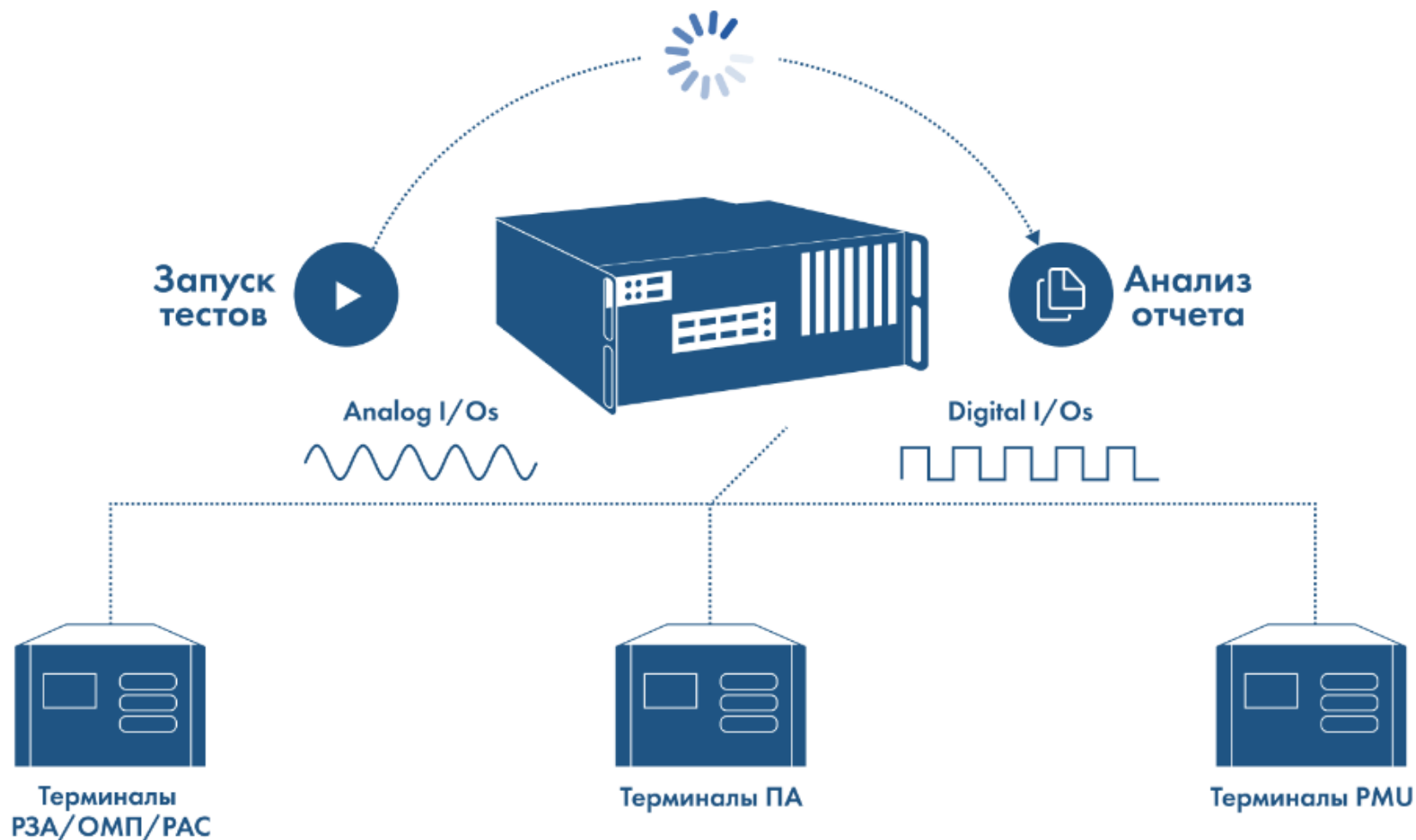
Гибридное тестирование



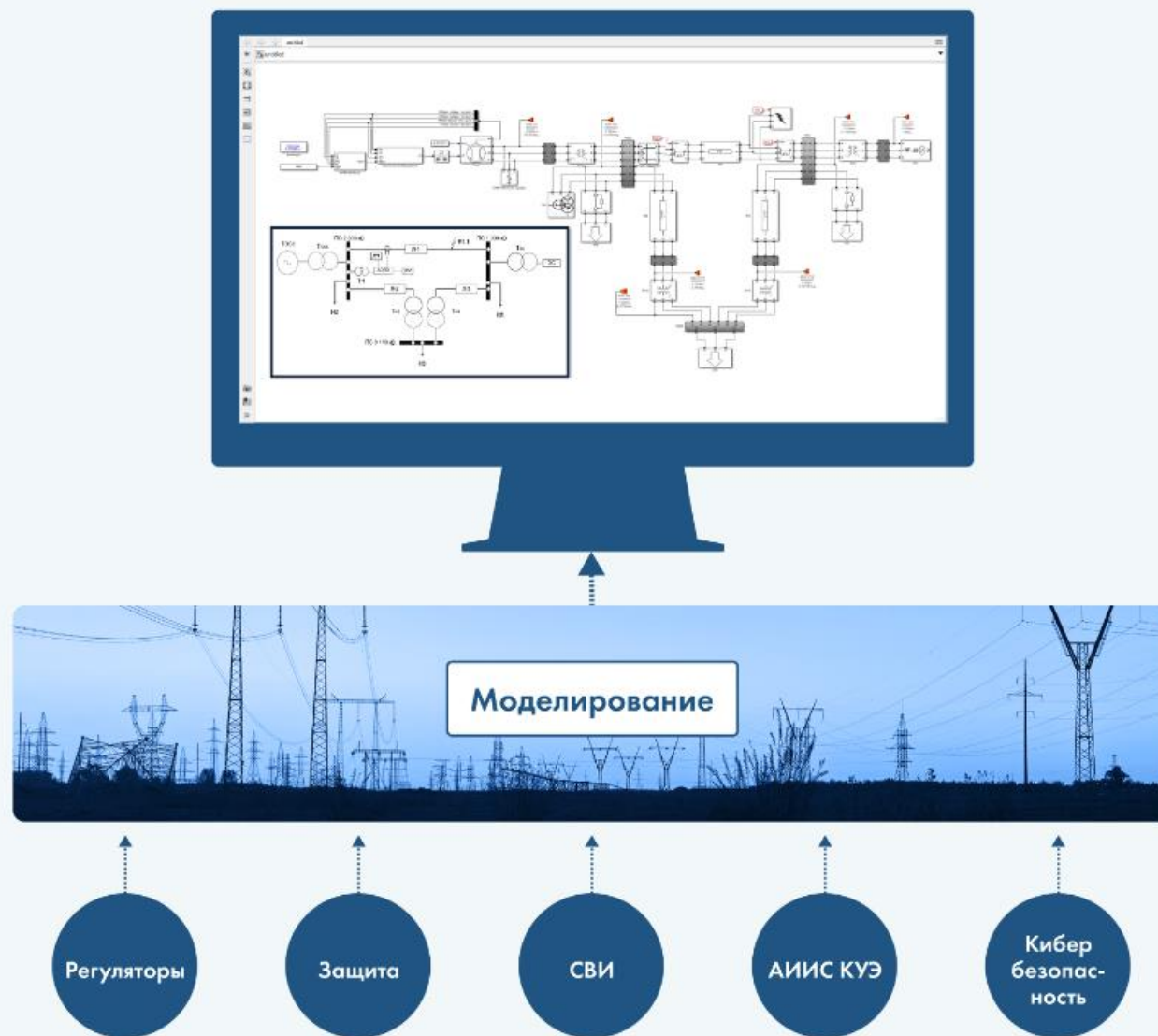
Разработка алгоритмов



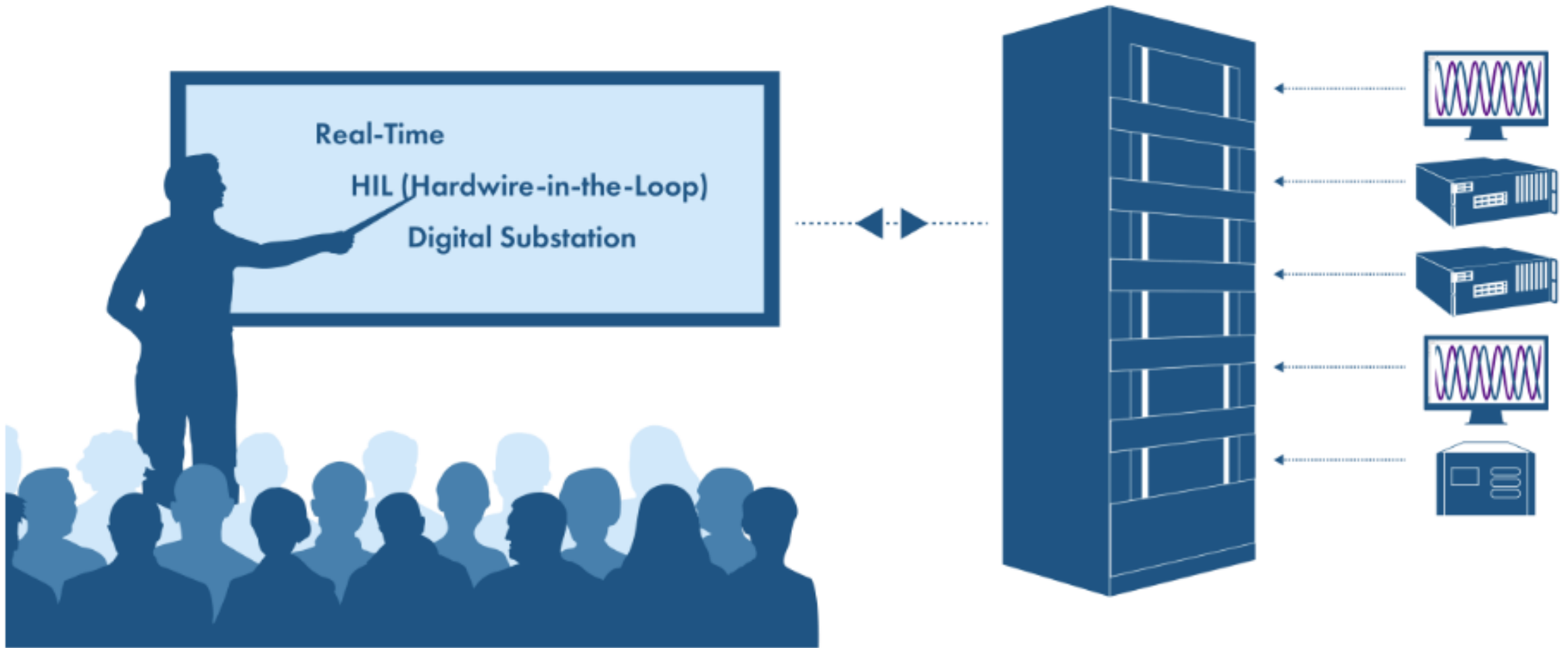
Отладка и тестирование



Имитационное моделирование



Лабораторные стенды





ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



@EXPONENTA_ENERGY

**Электроэнергетик?
Подписывайся!**

Силовой трансформатор



Что чаще всего выходит из строя?



чаще

Вводы

Обмотки

РПН

Система охлаждения

Устройства газовой защиты

реже

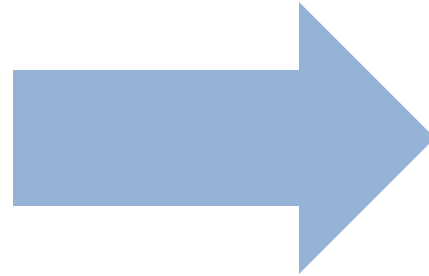
ПБВ

Источник: Левин В.М. Диагностика и эксплуатация оборудования электрических сетей. Новосибирск, НГТУ.

Причины отказов



?

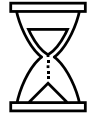


Причины отказов в процентах



Источник: Левин В.М. Диагностика и эксплуатация оборудования электрических сетей. Новосибирск, НГТУ.

Эксплуатация трансформатора



Длительный срок службы



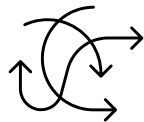
Дорого обслуживать



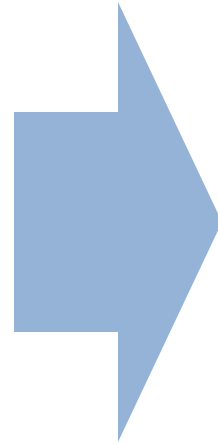
Долго восстанавливать



Ущерб от отказов



Сложно выявить дефект

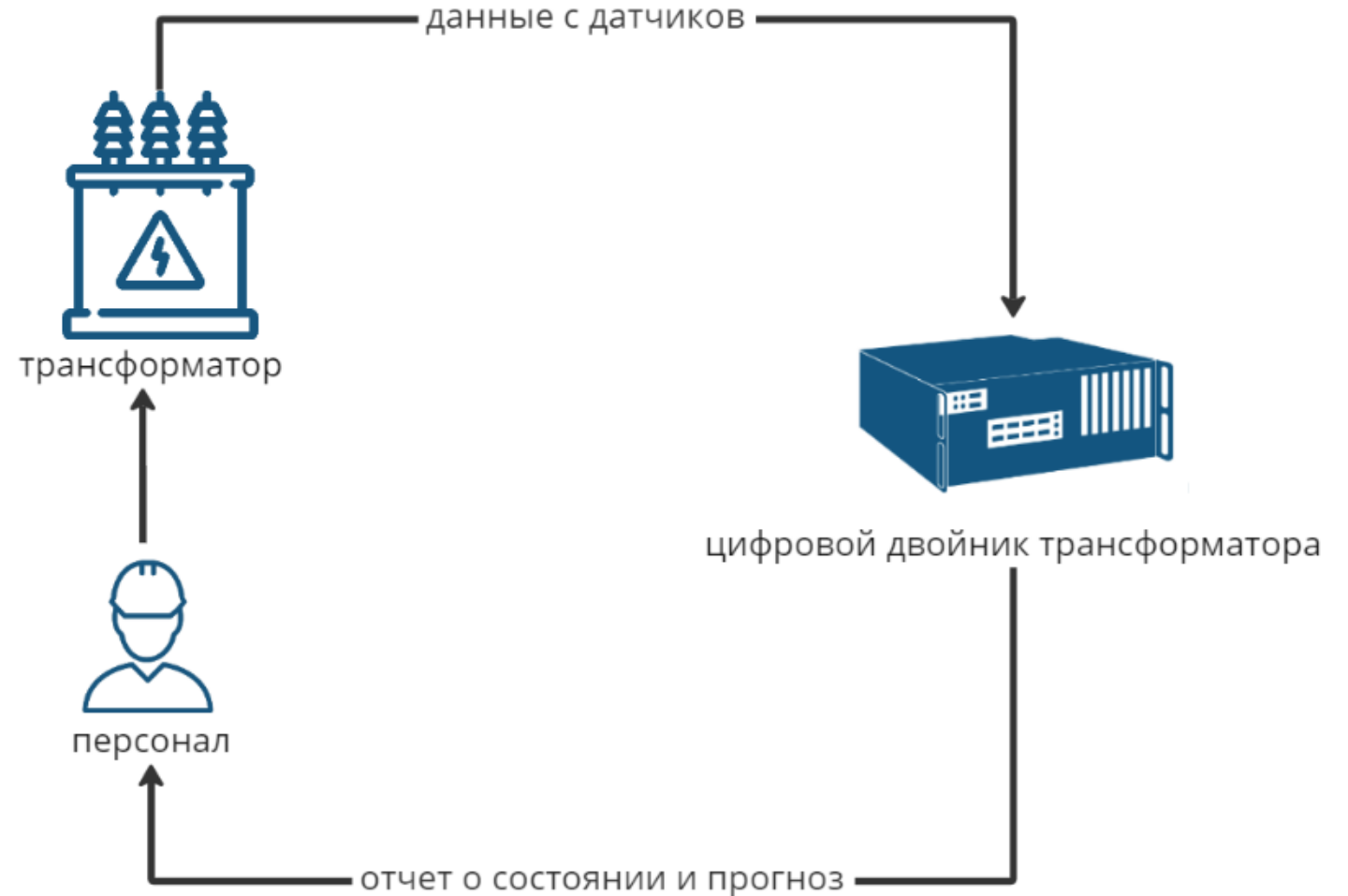


Требуется «умная»
система мониторинга и
диагностики

Индустрия 4.0: цифровые двойники



Цифровой двойник трансформатора

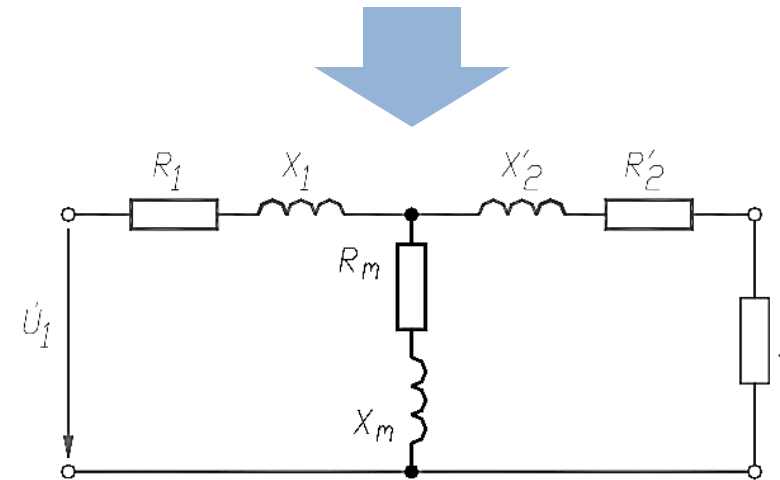
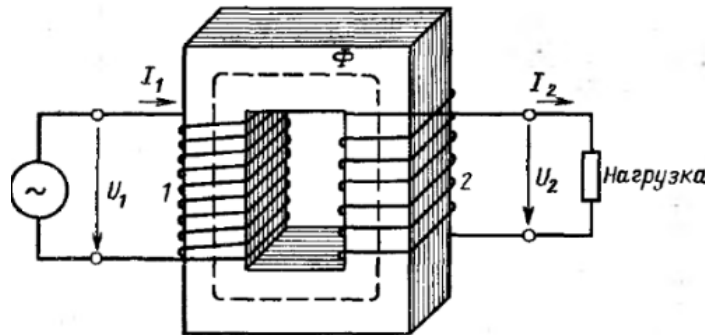
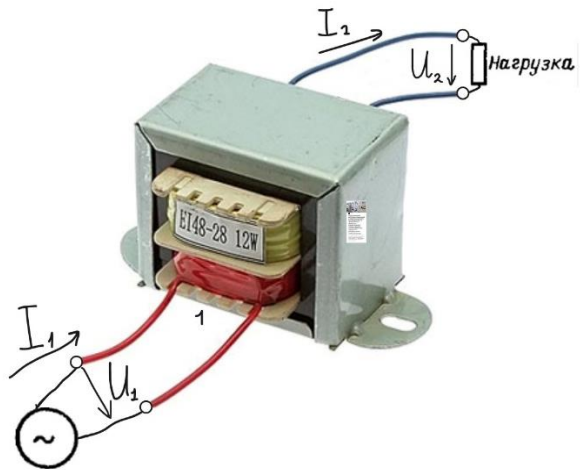


Модель + двухсторонняя связь = Цифровой двойник

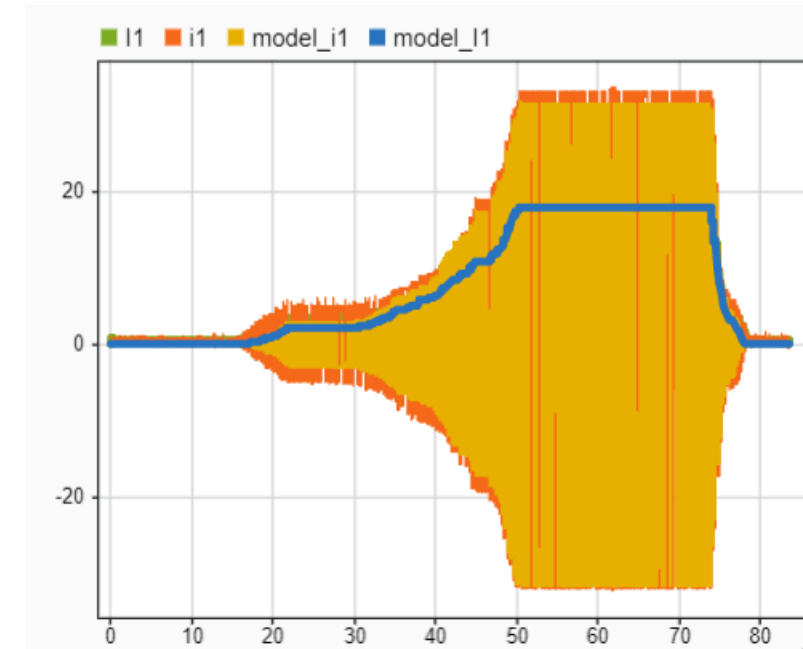
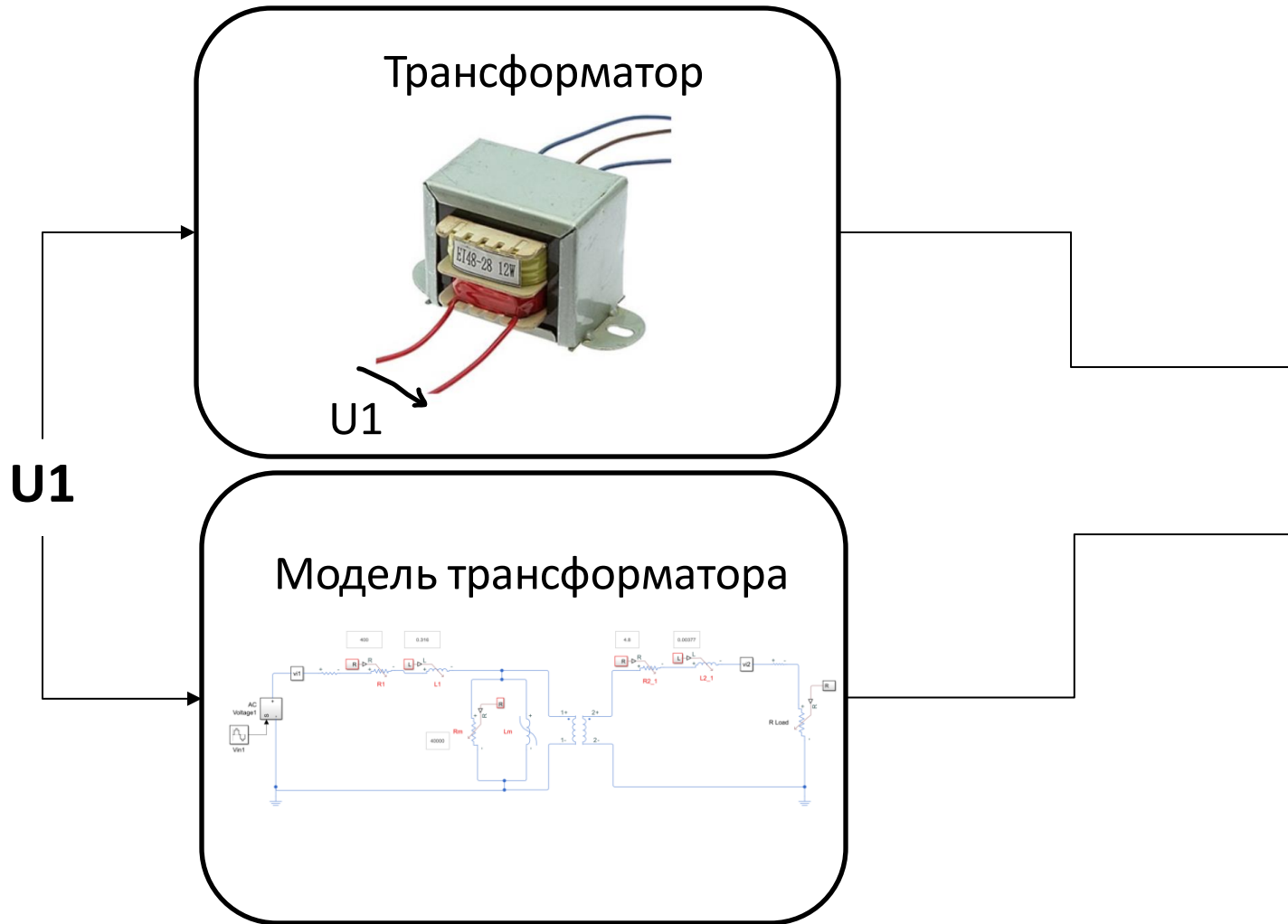
Основные принципы построения ЦД

- **Аналог физического изделия**, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта
- Для задания на него входных воздействий используется информация с **датчиков реального устройства, работающего параллельно.**
- Информация, поступающая с реальных датчиков, сравнивается с показаниями виртуальных датчиков цифрового двойника, что **позволяет выявлять аномалии** и устанавливать причины их возникновения, строить прогнозы.

Построение модели трансформатора

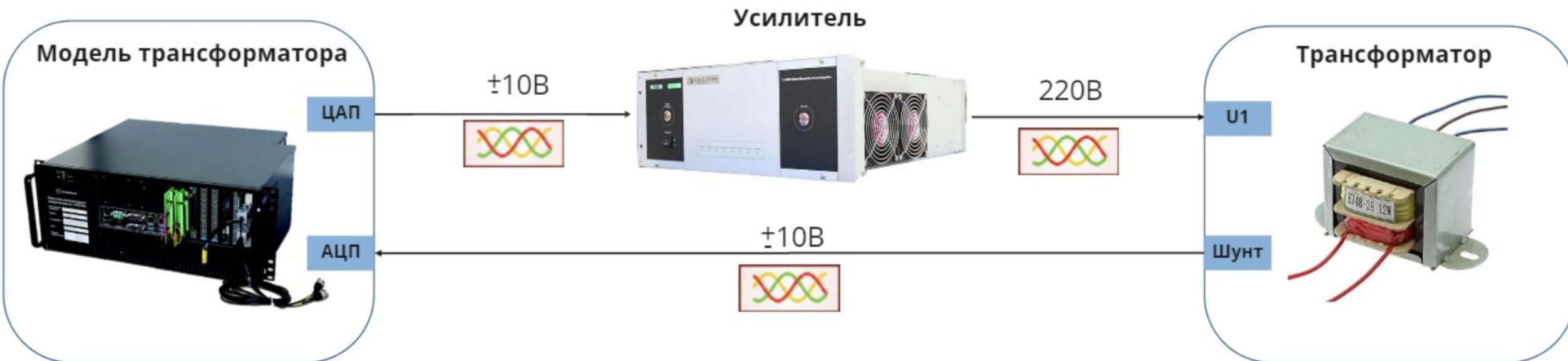


Результаты эксперимента и моделирования

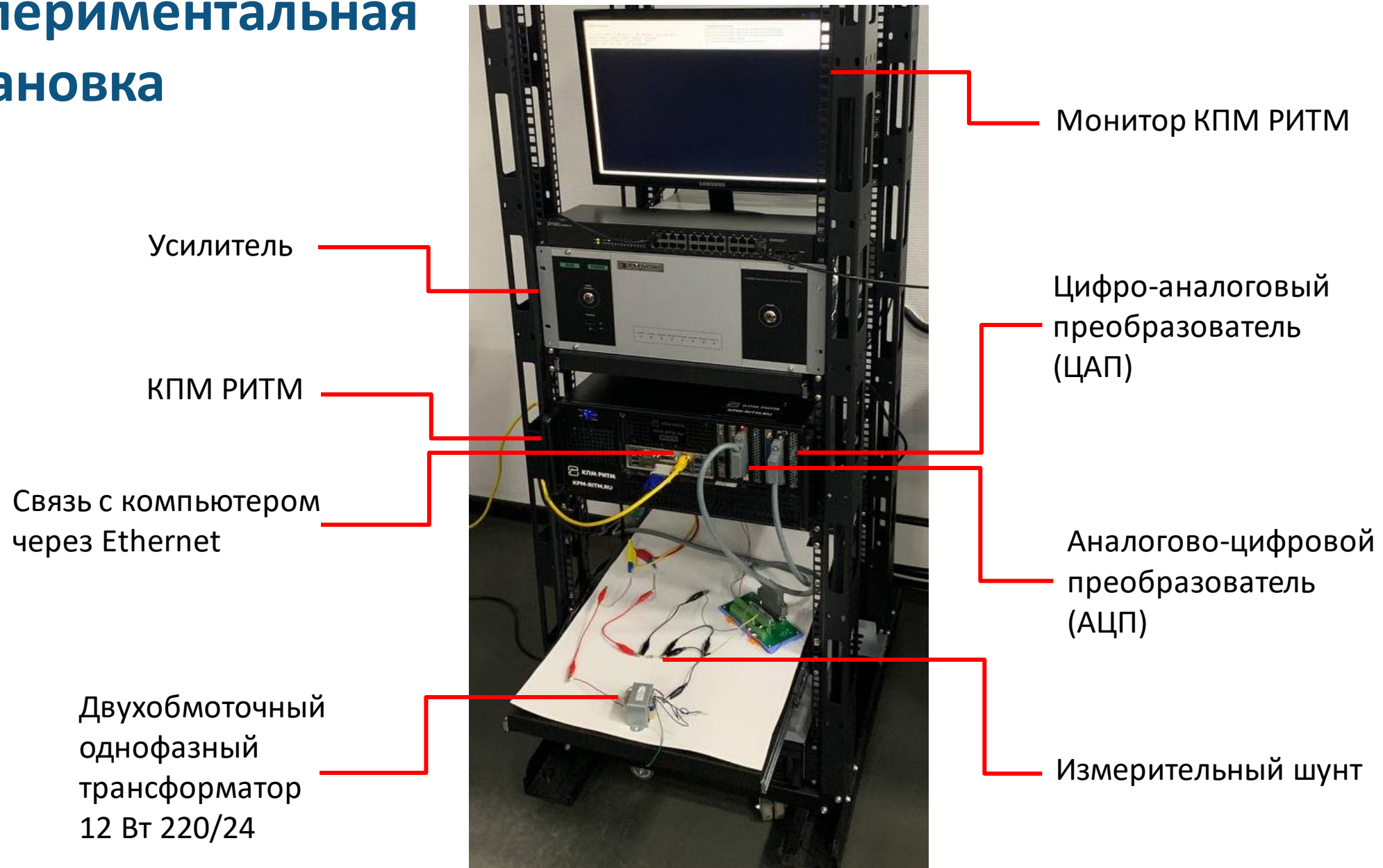


Осциллограммы токов и напряжений
в режиме online

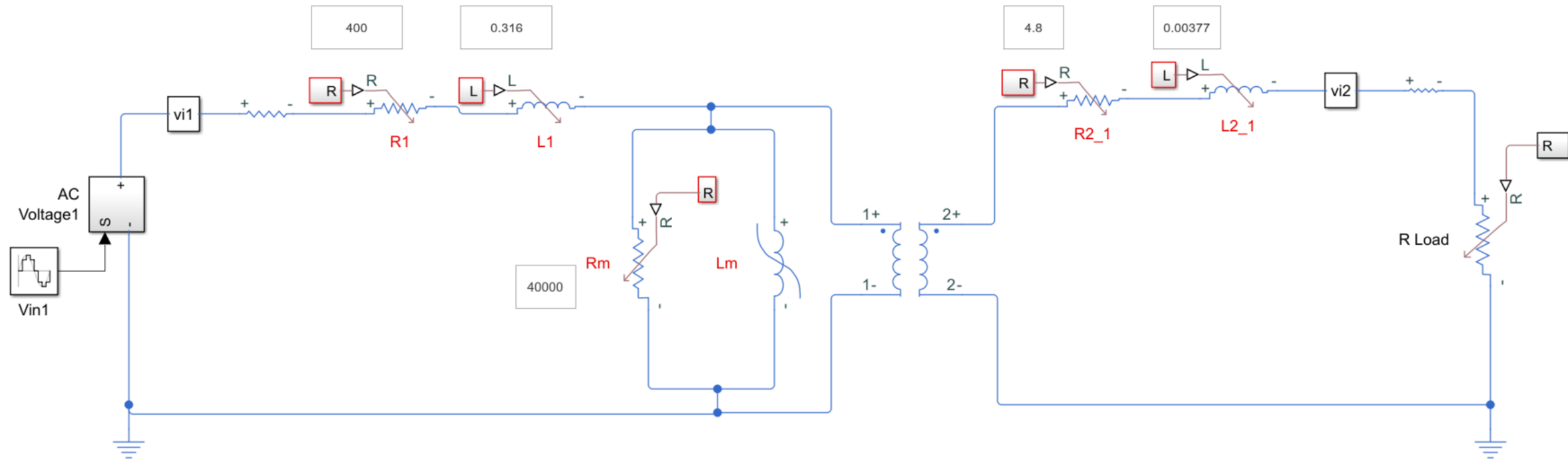
Принципиальная схема



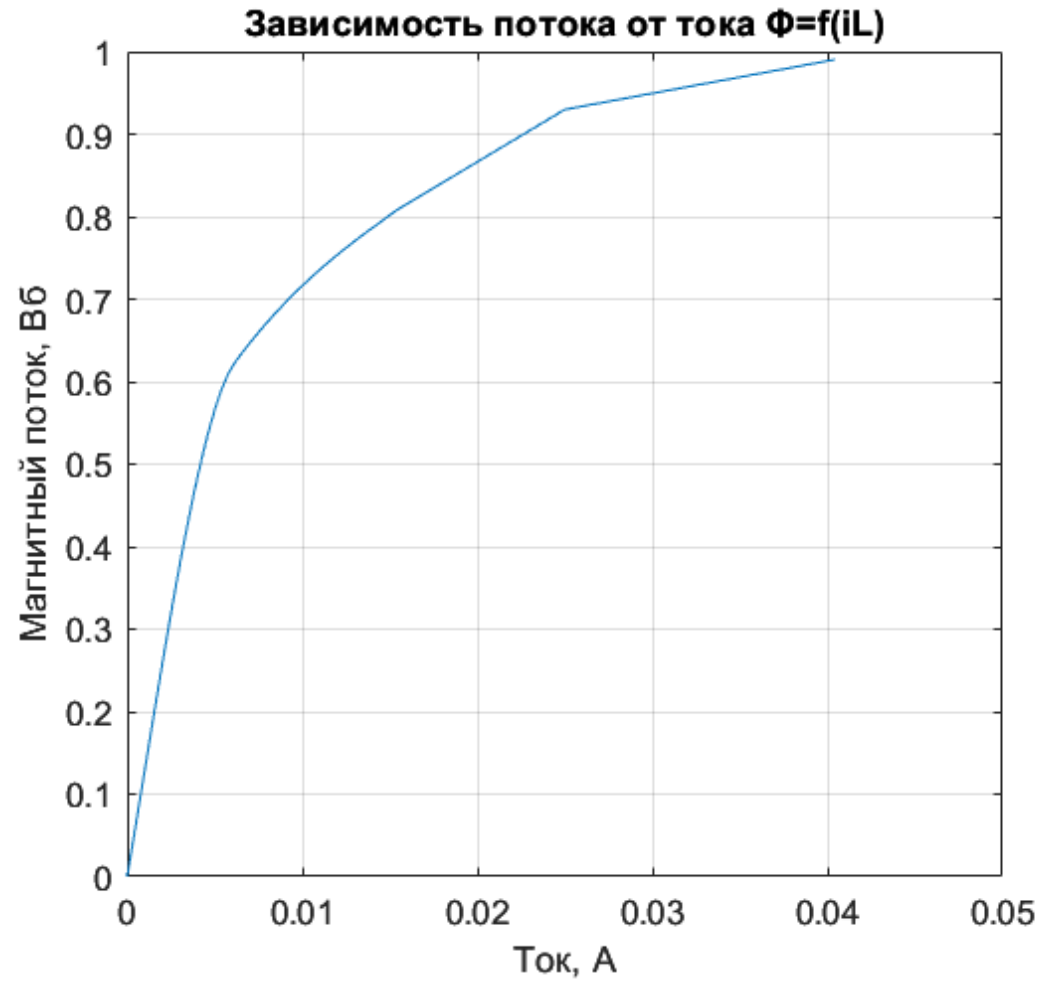
Экспериментальная установка



Модель трансформатора

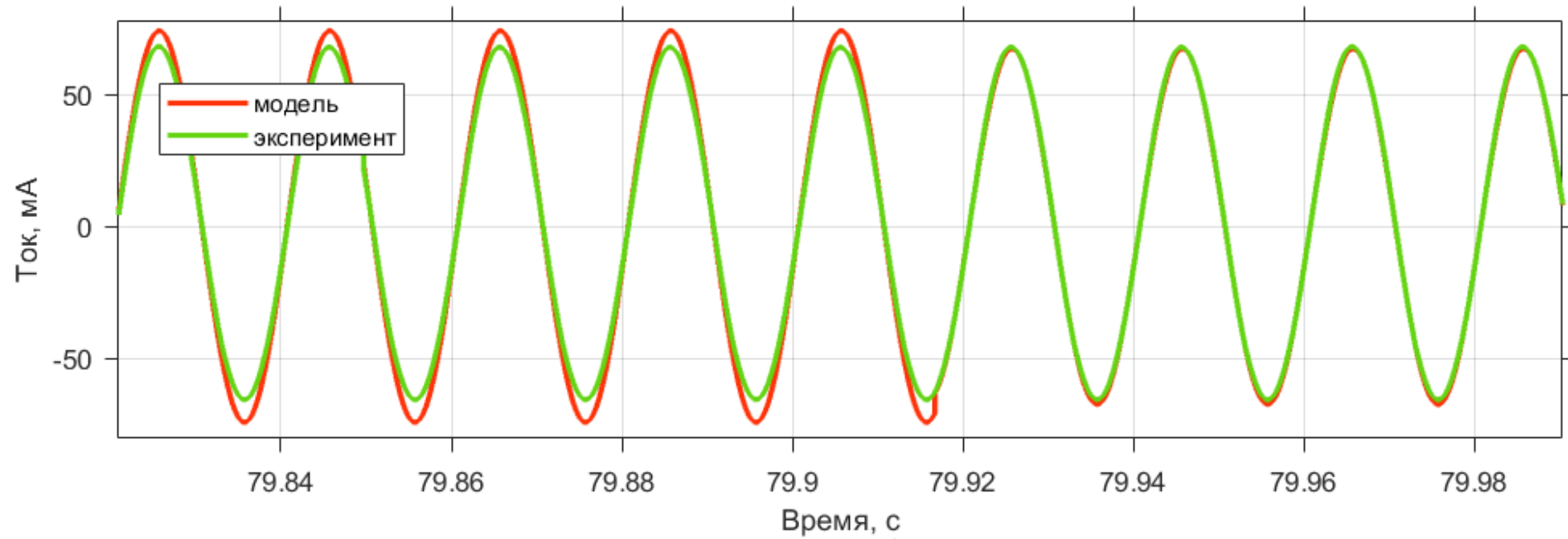


Основная кривая намагничивания



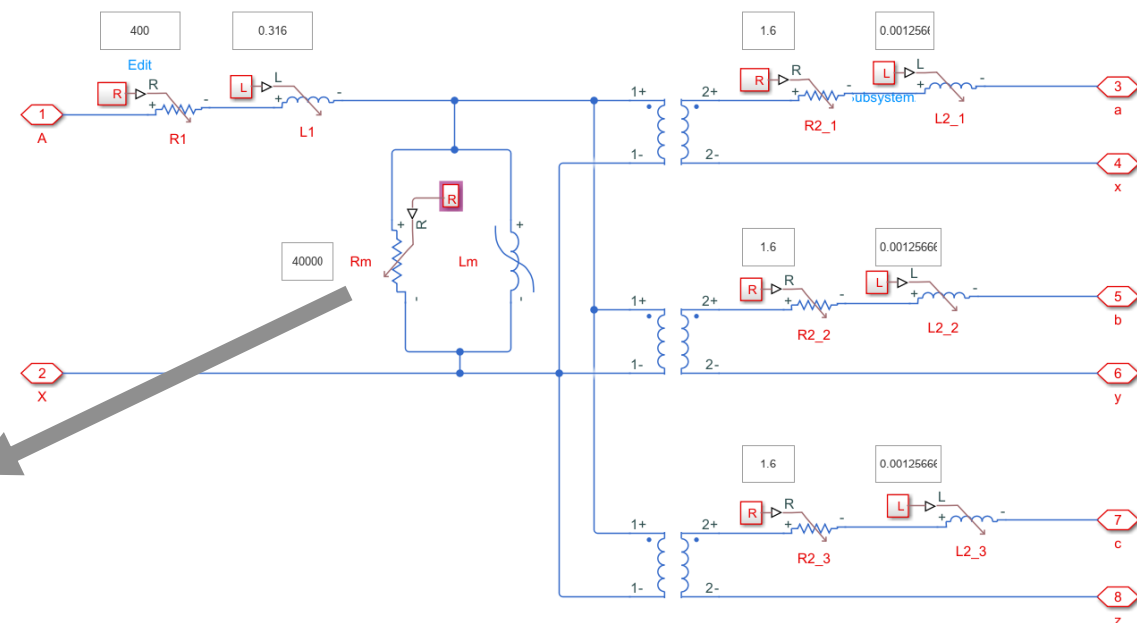
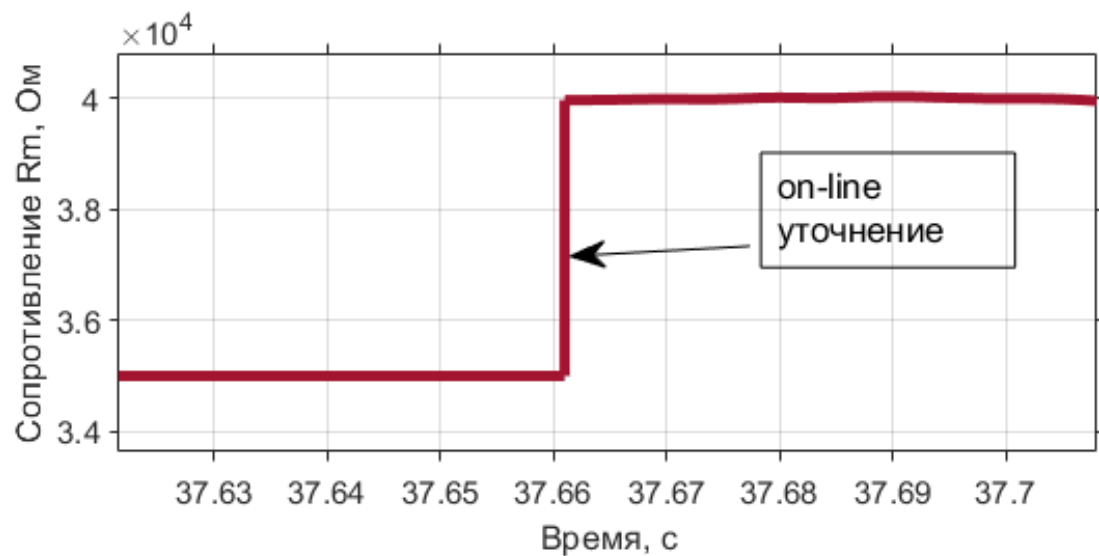
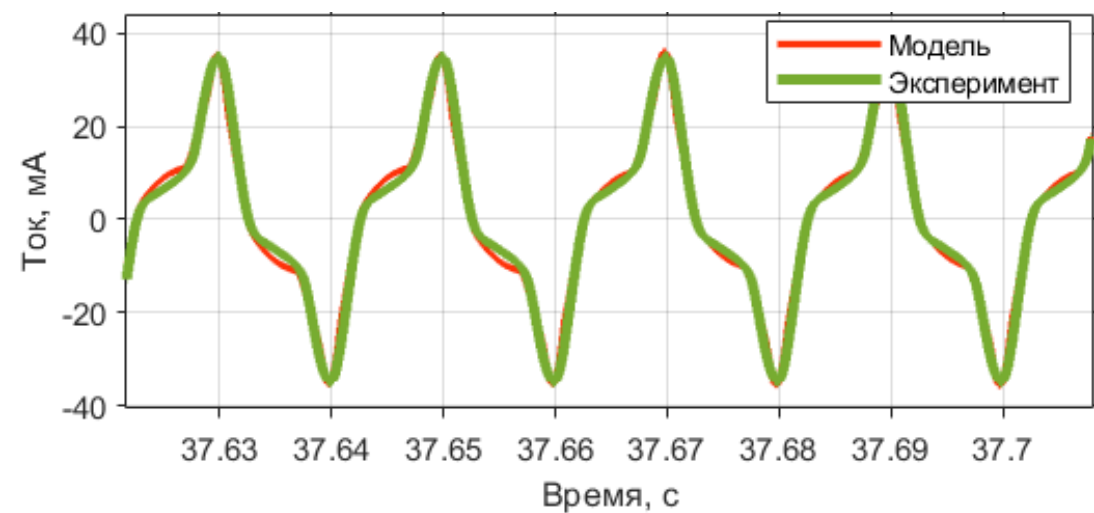
Для подбора координат использовался инструмент **Parameter Estimator**

Уточнение R1,R2,L1,L2 в опыте К3

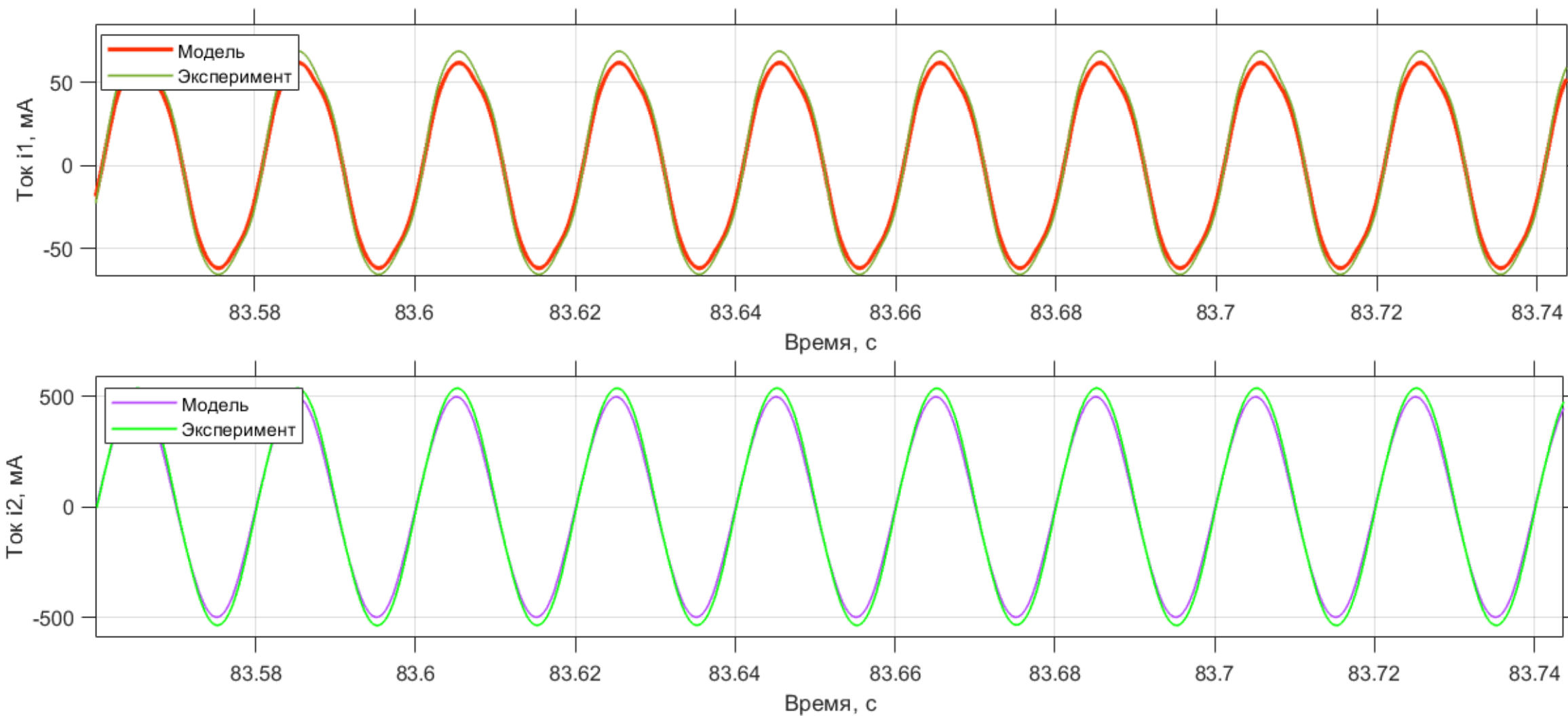


Момент включение режима уточнения

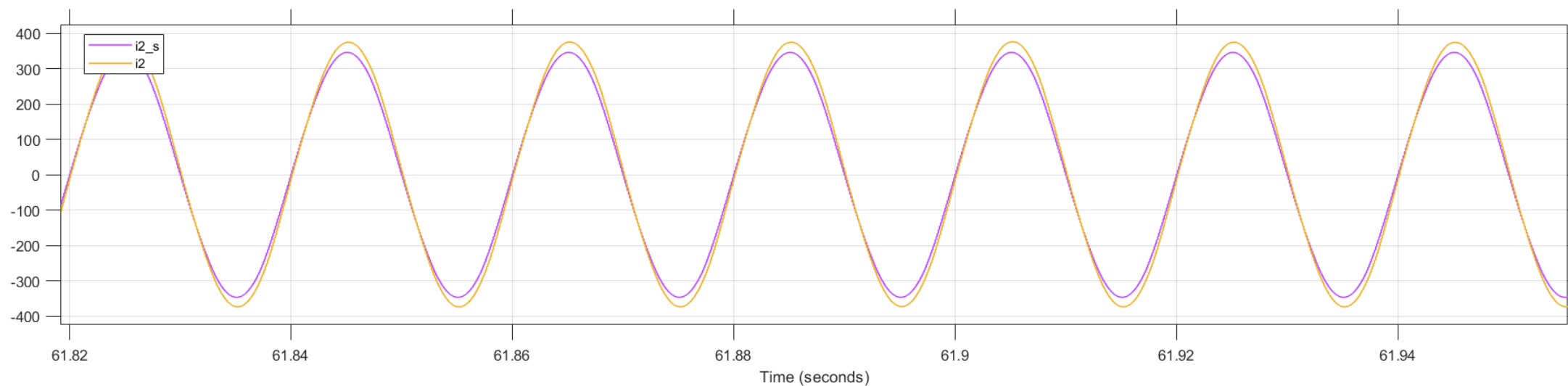
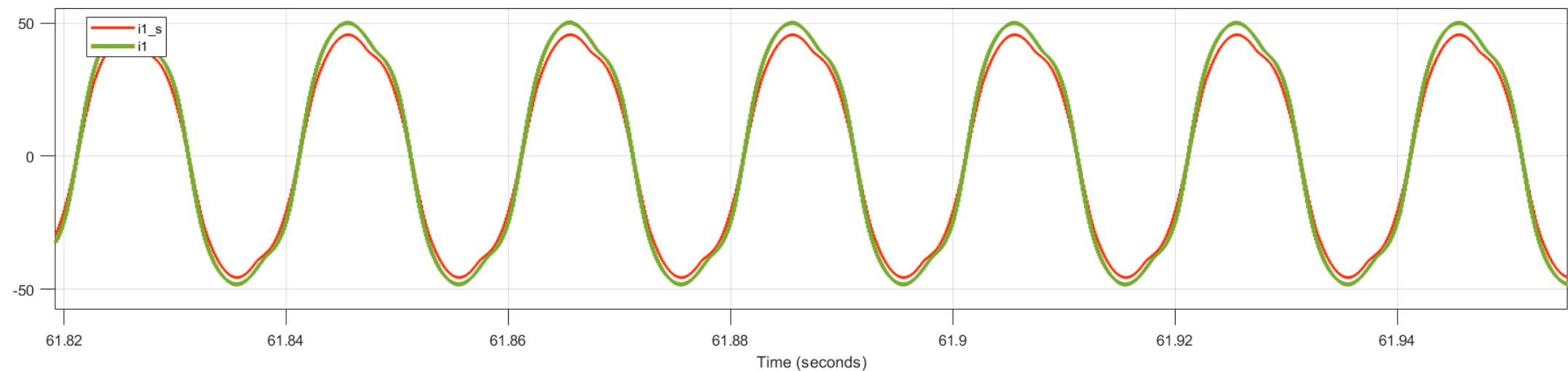
Уточнение R_m в опыте XX



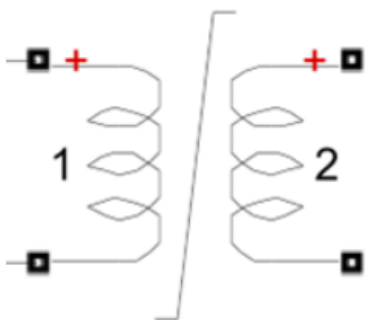
Нагрузочный режим 54 Ом



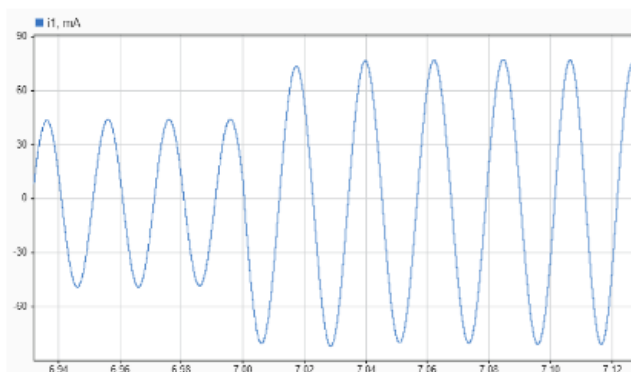
Нагрузочный режим 81 Ом



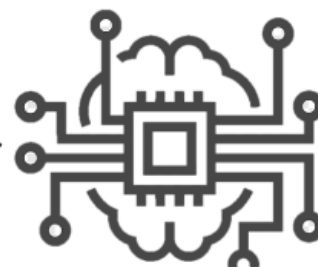
ЦД генерирует данные



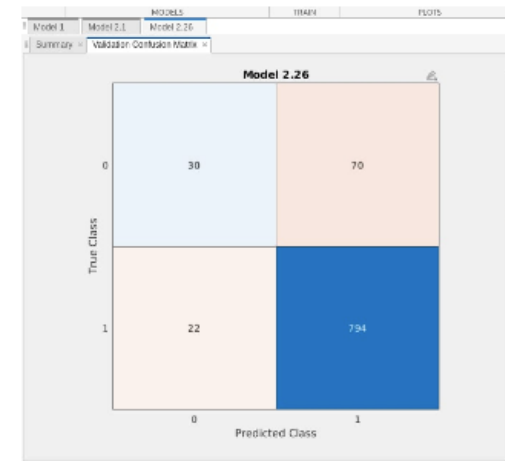
Цифровой
двойник



Данные



Машинное
обучение
на нормальном и
аварийном датасете



Валидация
полученного
алгоритма

Межвитковые замыкания



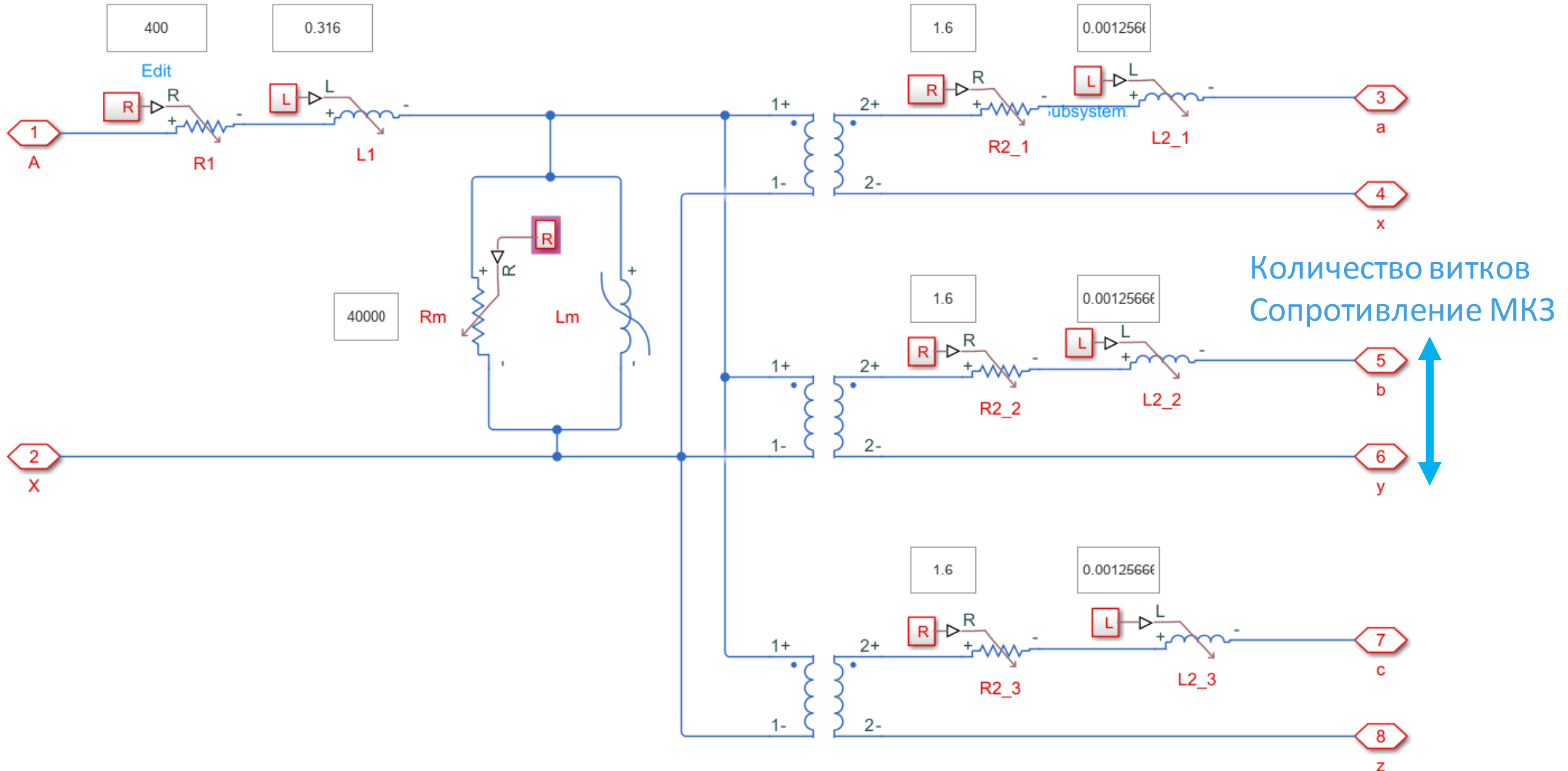
Причины:

Старение изоляции (механическое, тепловое, электрическое, механическое, химическое)

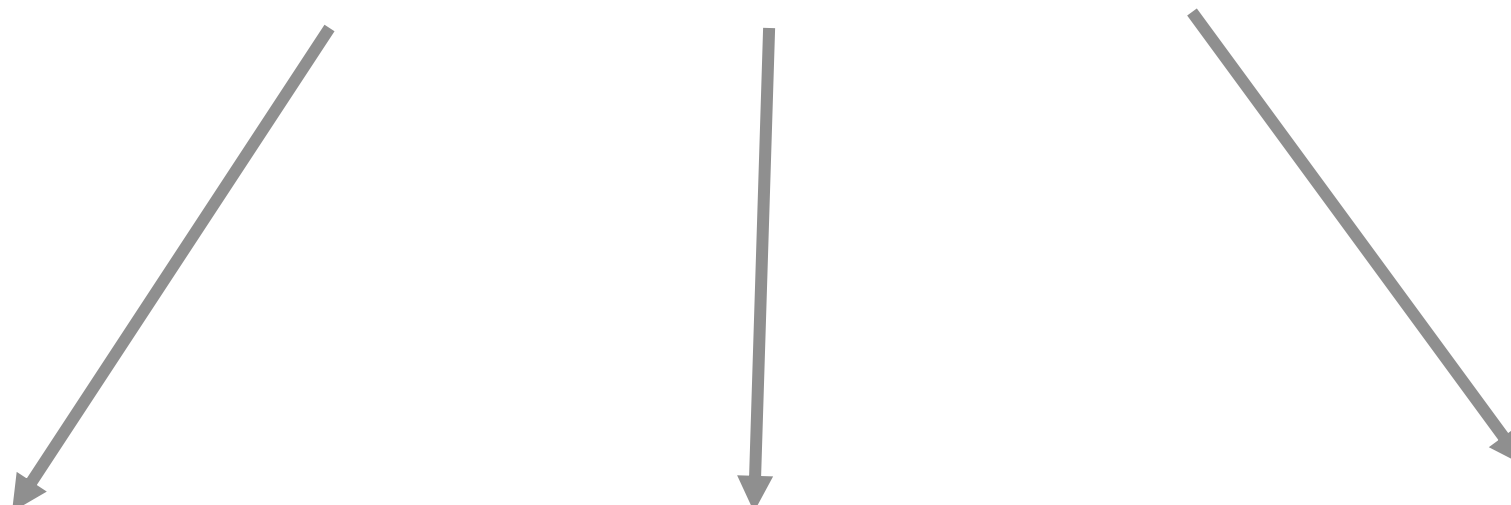
Перенапряжения (атмосферные, внутренние, дуговые)

Производство и эксплуатация (заводские дефекты, эксплуатационные дефекты, дефекты при капитальном ремонте)

Моделирование межвитковых замыканий



Данные для машинного обучения



Нормальный режим
+
стохастическая нагрузка

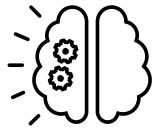
Внутреннее межвитковое замыкания
(случайное место, количество витков и R)
+
стохастическая нагрузка

Отклонение R1, R2, L1, L2, Rm
(случайно, в +-30%)
+
стохастическая нагрузка

Выводы:



качественная модель – залог успеха



нет данных для обучения – генерируй с помощью ЦД



прототип системы мониторинга – быстро и эффективно



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цифровой двойник трансформатора : на пути к интеллектуальному мониторингу

Часть 2 : Предсказание отказов



НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ



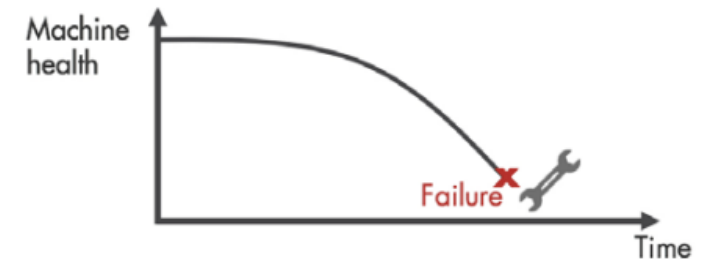
- Обеспечение бесперебойного электроснабжения
- Прогнозирование электрической нагрузки
- Беспилотные воздушные инспекции активов
- Обнаружение и классификация аварийных ситуаций в электрической сети
- Анализ состояния высоковольтных трансформаторов тока
- Прогнозирование выработки ветровых и солнечных электростанций и мониторинг их состояния

Эволюция организации технического обслуживания и ремонта оборудования:

1

- Реактивное техническое обслуживание

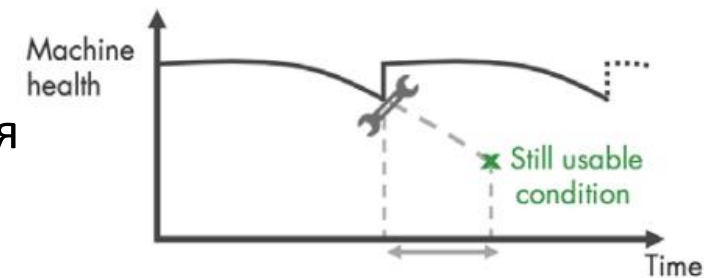
Простой оборудования



2

- Профилактическое техническое обслуживание

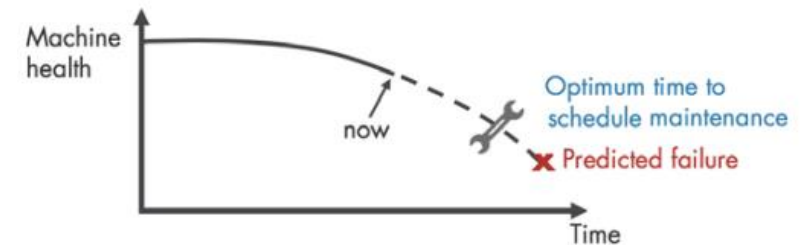
Излишние работы, преждевременная замена запасных частей



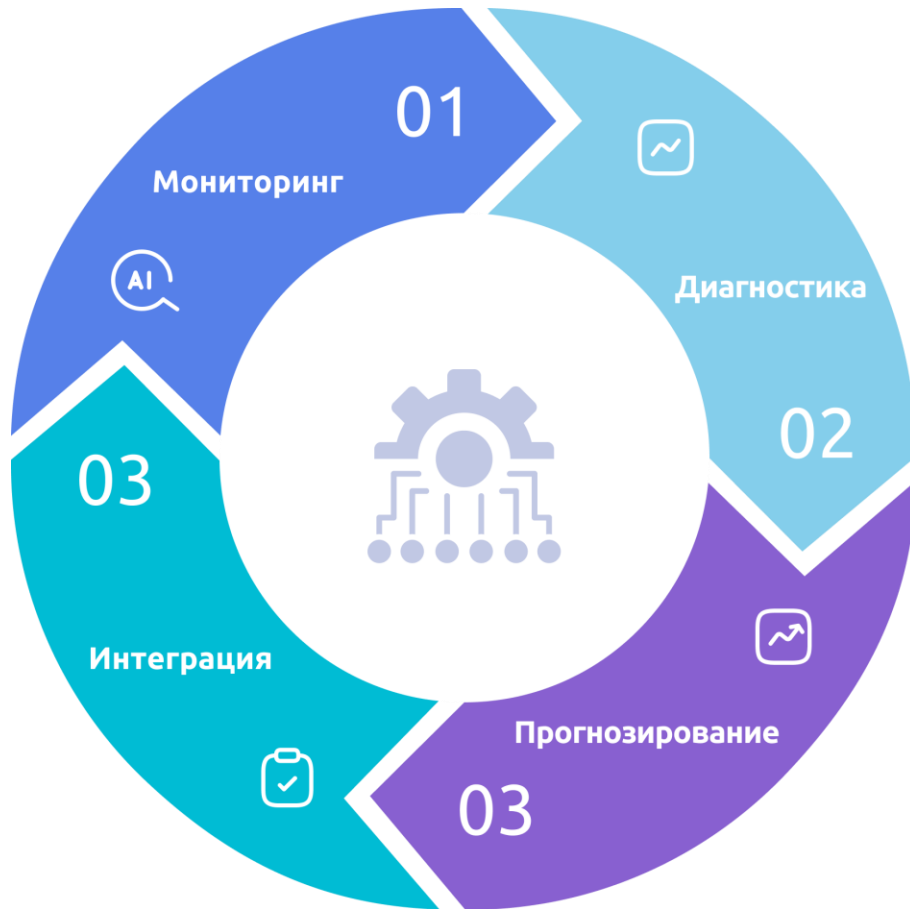
3

- Предсказательное техническое обслуживание

Организация обслуживания и замена деталей при необходимости

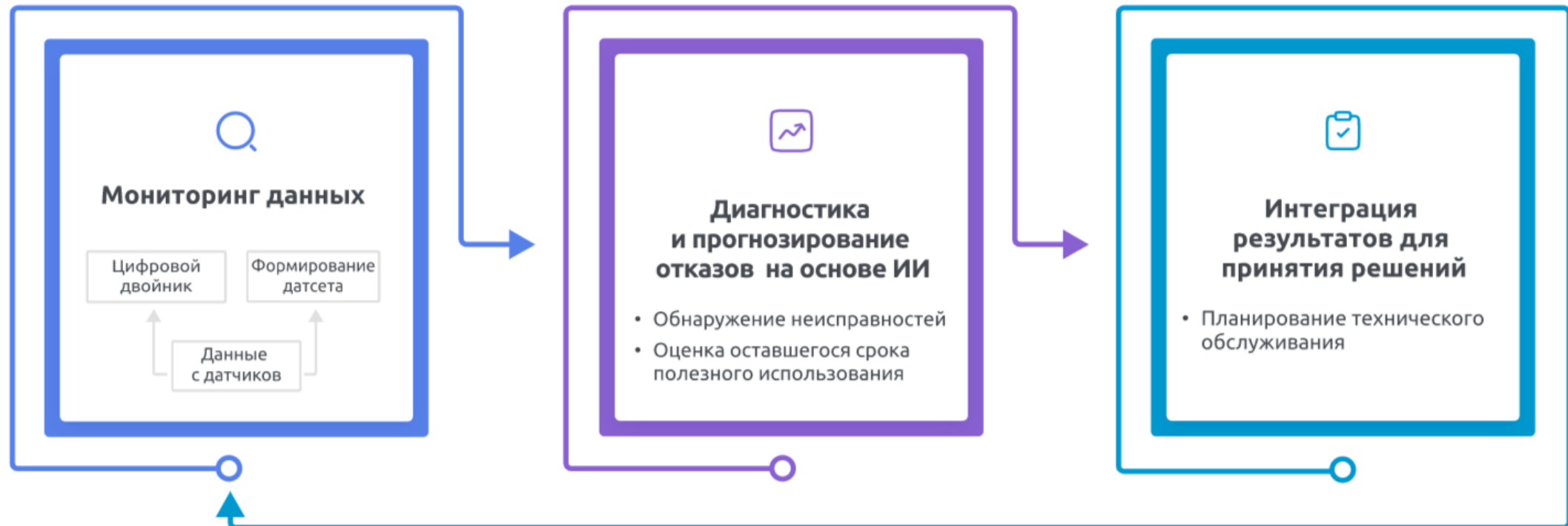


ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

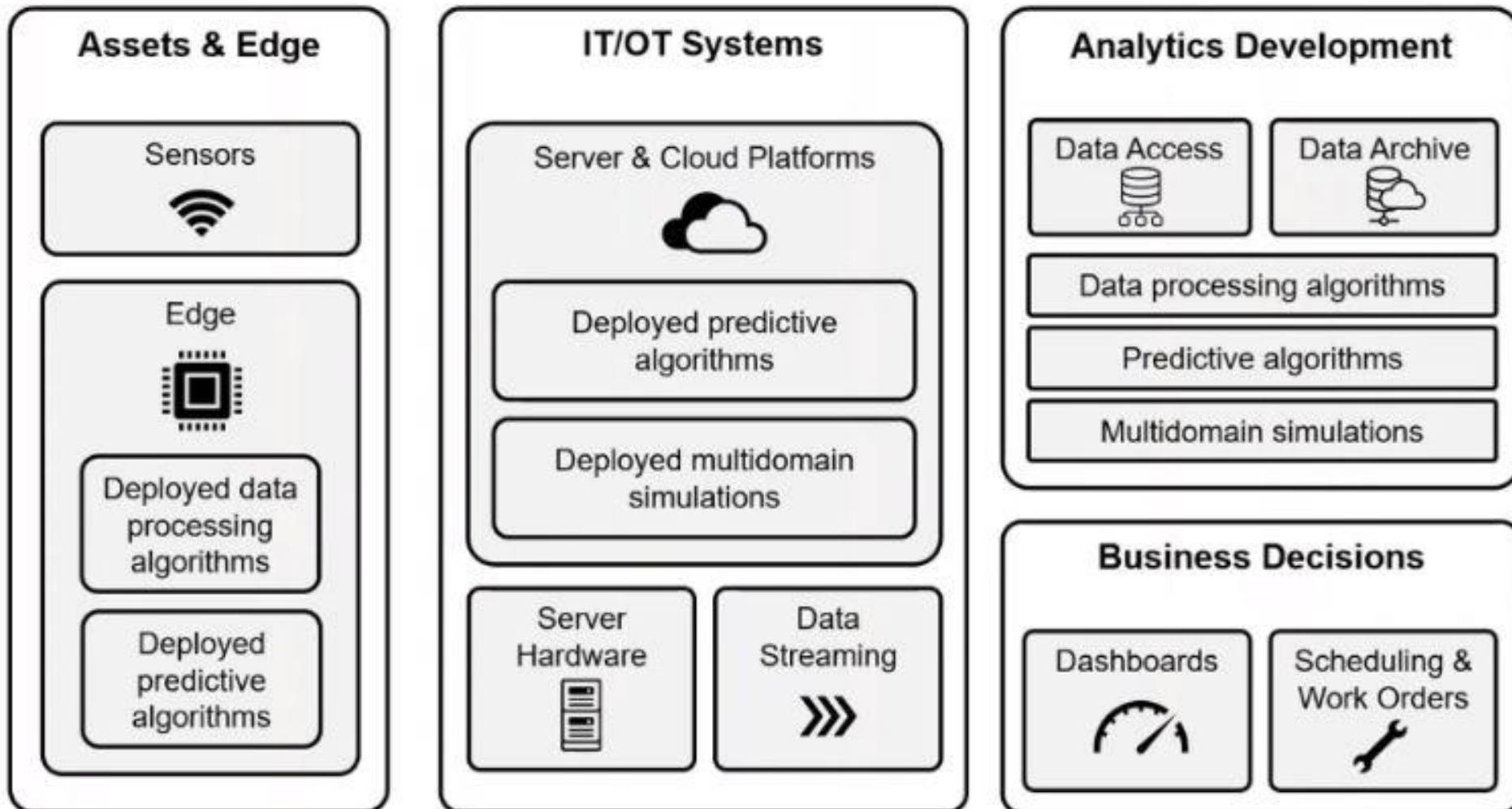


- ✓ Диагностика состояния оборудования в режиме онлайн
- ✓ Предсказание неисправностей до их возникновения
- ✓ Прогнозирование остаточного срока работы компонентов
- ✓ Планирование и контроль выполнения тех. обслуживания

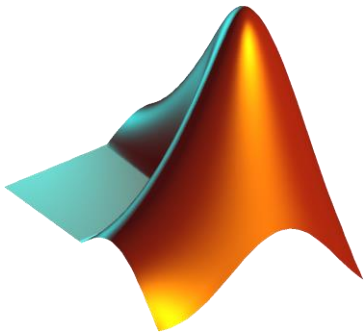
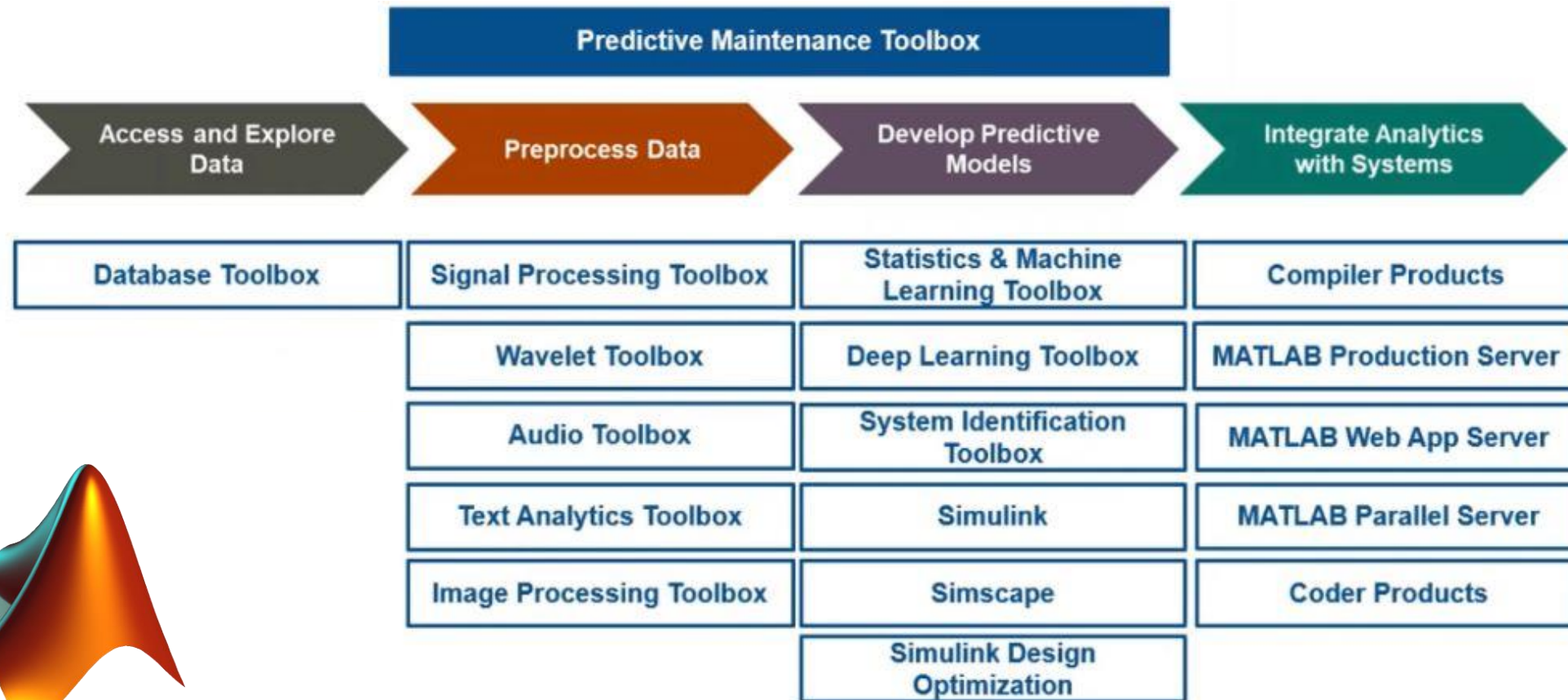
СХЕМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ



СИСТЕМА ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

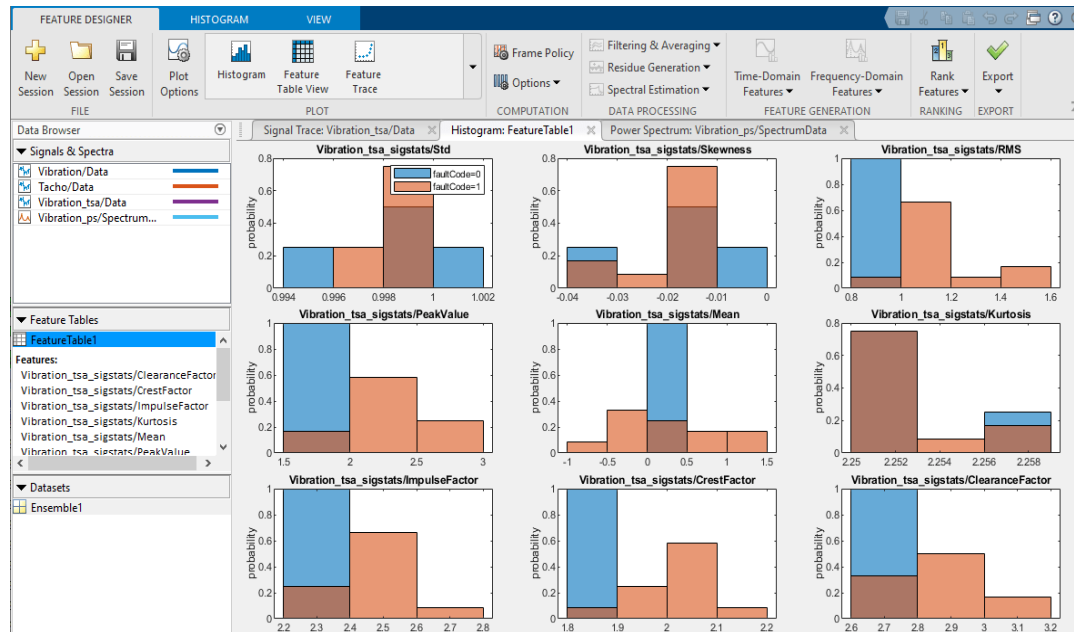


ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

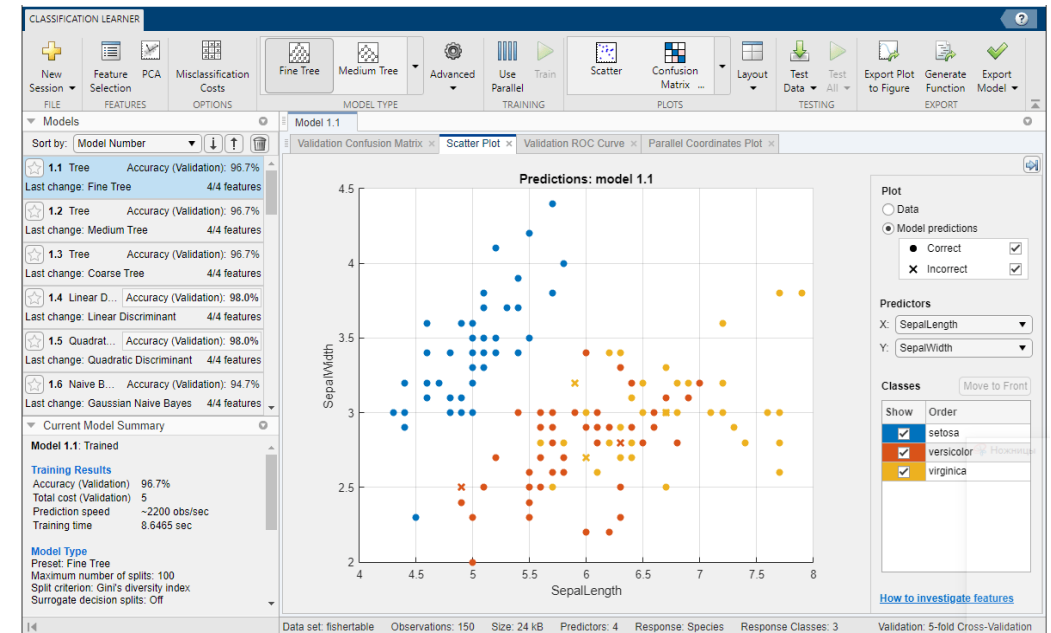


ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

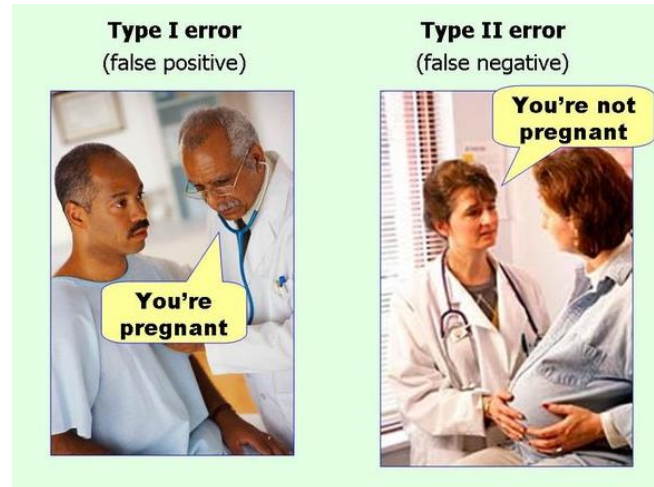
Diagnostic Feature Designer



Classification Learner



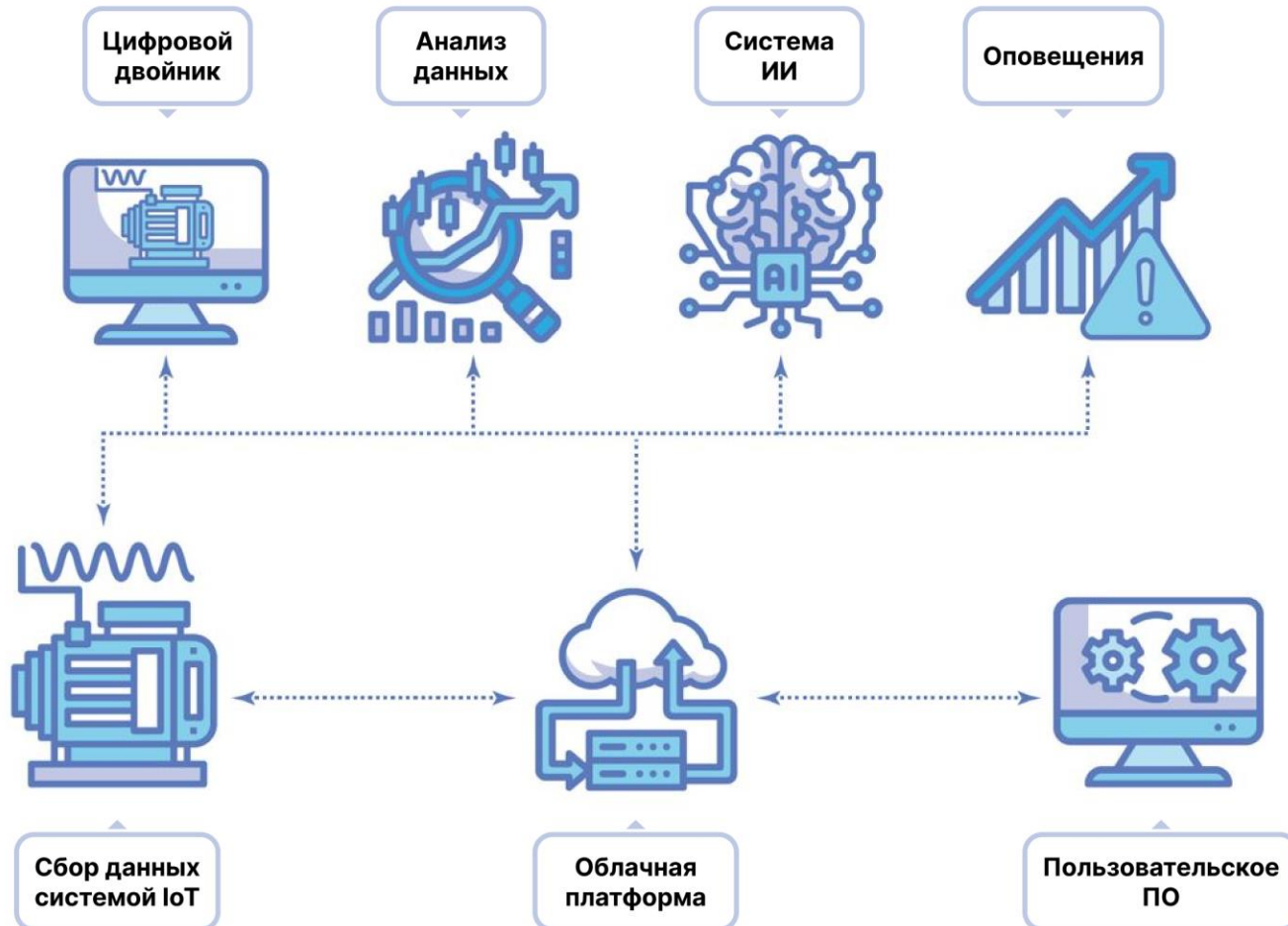
МАТРИЦА ПУТАНИЦЫ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ



Actual	Predicted		
		Negative	Positive
	Negative	True Negative	False Positive
	Positive	False Negative	True Positive

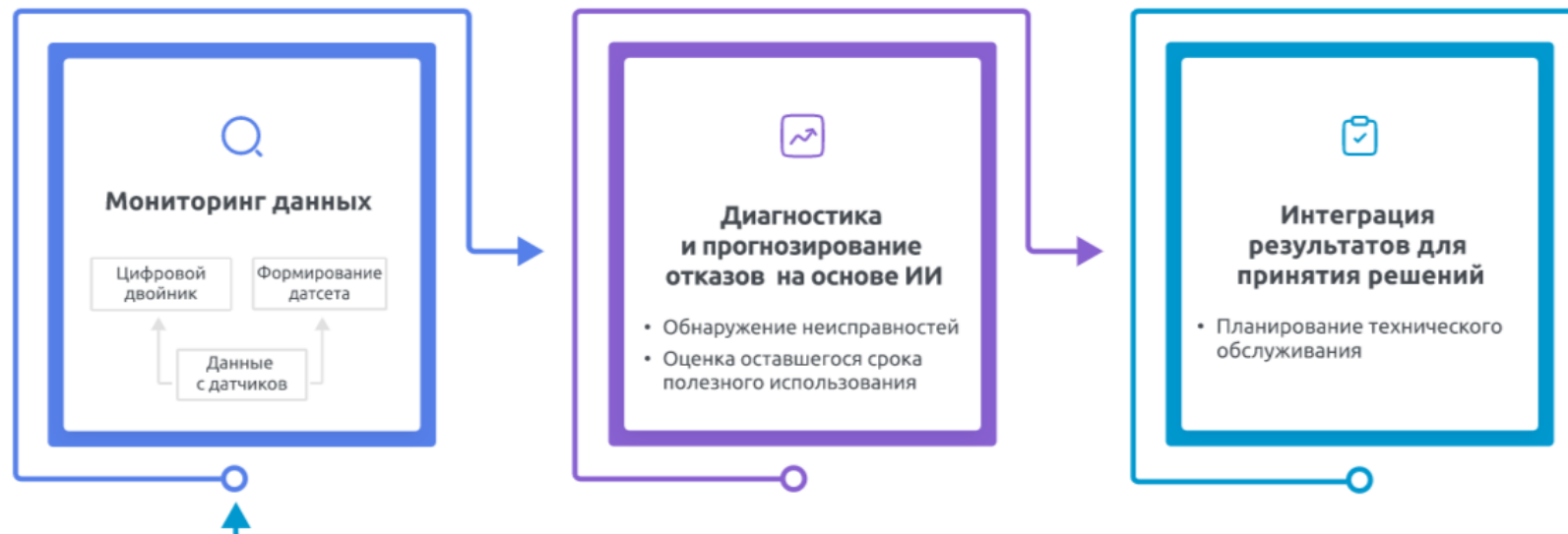
True Class	setosa	versicolor	virginica
	20		
	1	30	2
			22
	setosa	versicolor	virginica
	Predicted Class		

СИСТЕМА ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ: ДИАГНОСТИКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ



Планирование и контроль выполнения технического обслуживания

Система Экспонента.Предсказательное обслуживание использует данные для интеллектуального мониторинга поведения ценного промышленного и высокотехнологичного оборудования, чтобы снизить затраты на преждевременное обслуживание и избежать возникновения отказов. Интервалы обслуживания могут быть оптимизированы путем получения информации о состоянии оборудования из данных датчиков, что позволит вовремя произвести ремонт, не допустив аварии и простоев оборудования. Результатом является более разумная эксплуатация — увеличение времени безотказной работы оборудования и оптимизация общих затрат



Полезные материалы из нашего опыта

Цифровой двойник трансформатора

Запись вебинара

ИИ в промышленности 2022

Материалы семинара

Классификация отказов электродвигателей

Запись вебинара

Обнаружение аномалий в данных

Видео

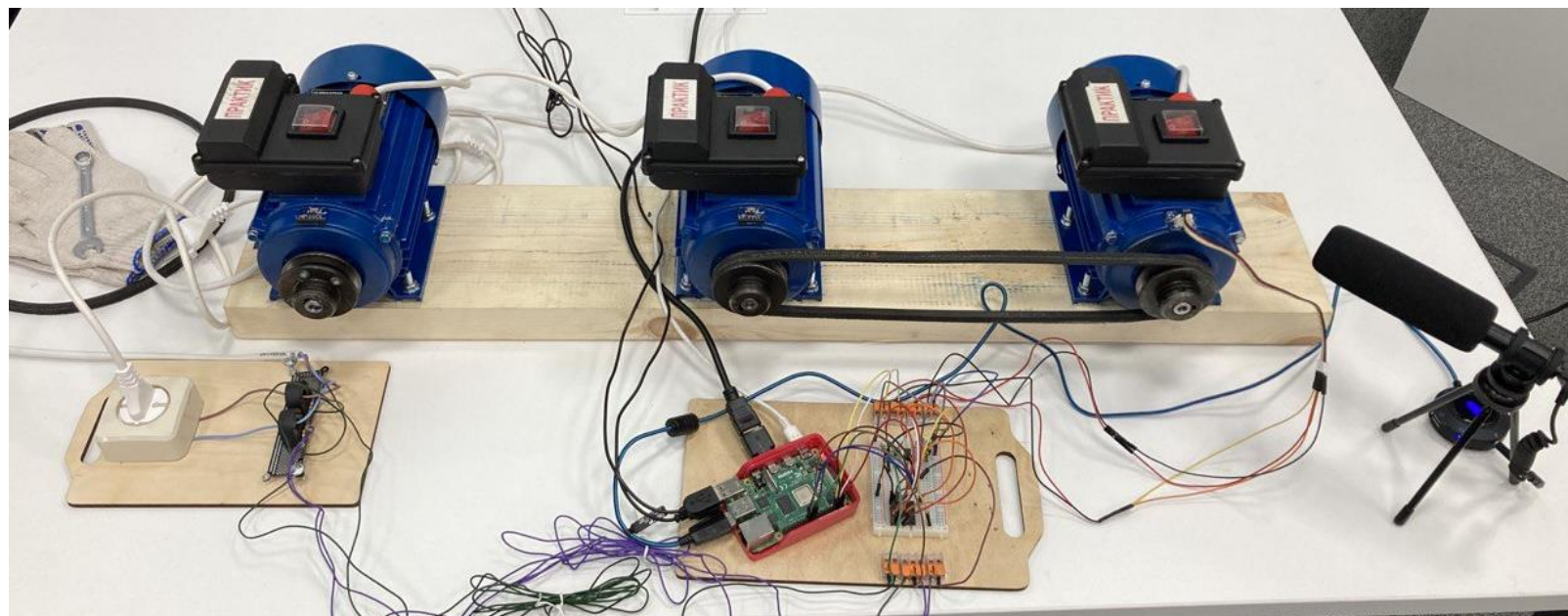
Методы обнаружения аномалий

Запись вебинара

Проект: система мониторинга и диагностики



Асинхронный двигатель

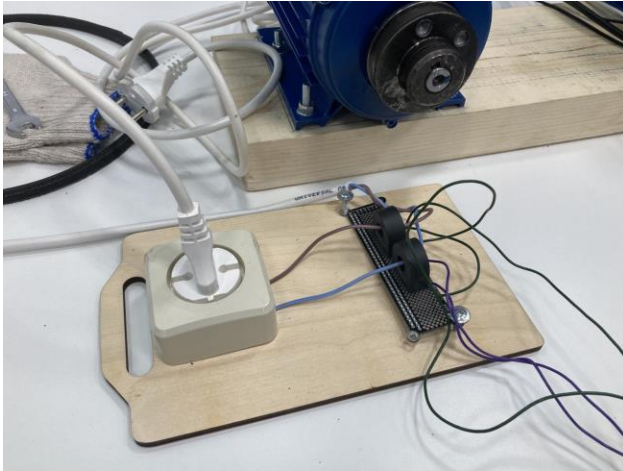


Электрические и механические неисправности

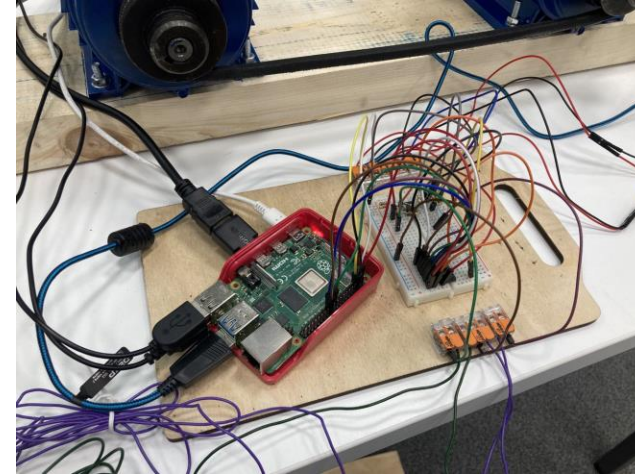
№	Название дефекта	
1	Ослабление крепления основания	S
2	Задевание крыльчаткой защитного кожуха	K
3	Повреждение обмотки статора	I
4	Дефект подшипника	B
5	Дисбаланс, вызванный повреждением шкива	P
6	Ослабленная ременная передача	D



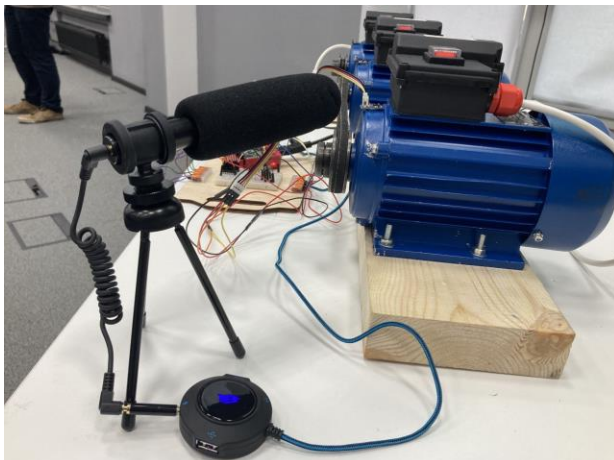
Мониторинг вибрационных, электрических и акустических сигналов



Датчик тока



Сбор данных

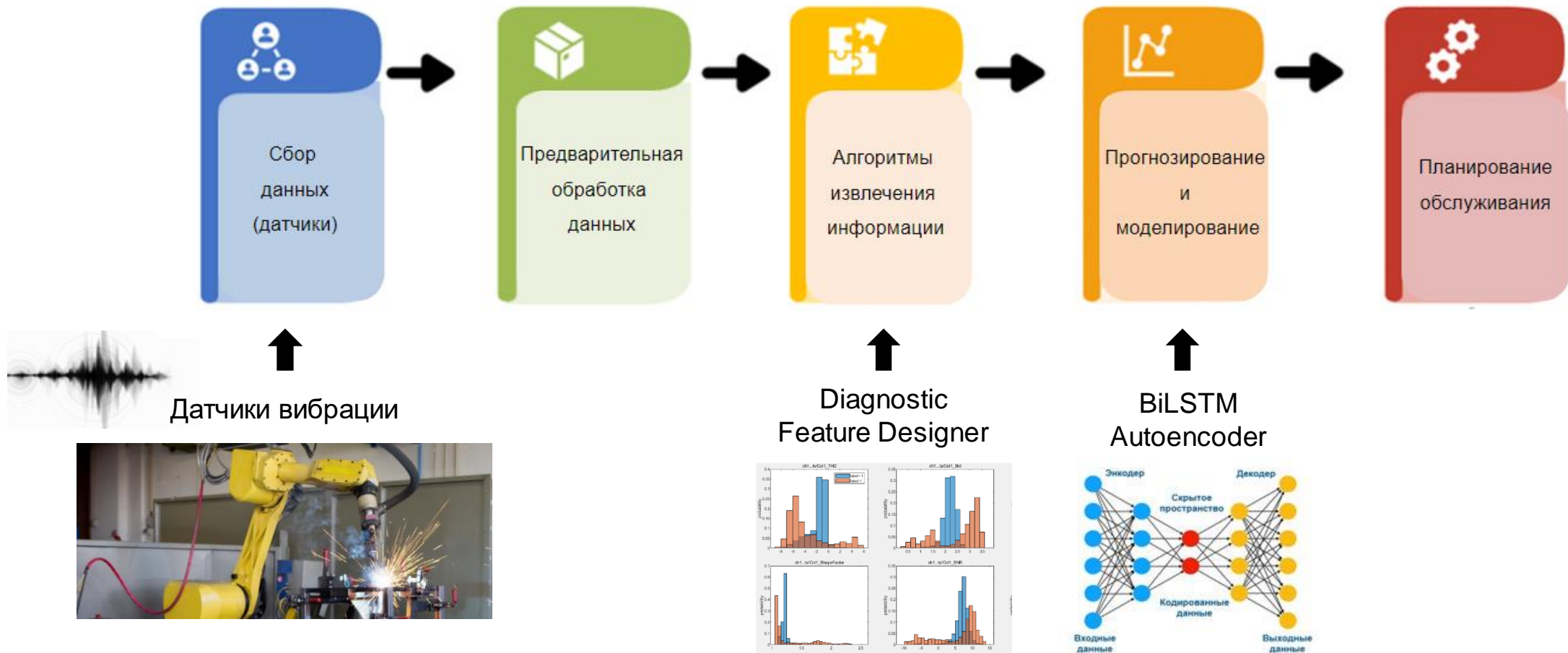


Микрофон



Акселерометр

Этапы реализации системы предсказательного обслуживания



Полезные материалы из нашего опыта

<https://ai.exponenta.ru/predictiv>

Цифровой двойник трансформатора

Запись вебинара

ИИ в промышленности 2022

Материалы семинара



@EXPONENTA_AI

Классификация отказов электродвигателей

Запись вебинара

Обнаружение аномалий в данных

Видео

Методы обнаружения аномалий

Запись вебинара



ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

exponenta.ru

tech@exponenta.ru

- **Технический консалтинг**
- **Настройка рабочих процессов**
- **Обучение инженеров**
- **Разработка на заказ**