

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

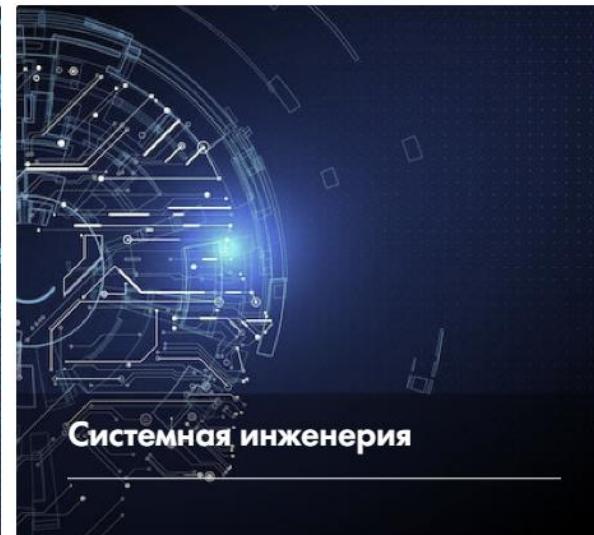
- проблемы эксплуатации трансформаторов
 - построение модели трансформатора в Simulink
 - двухсторонняя связь трансформатора с его моделью
 - генерация данных с помощью цифрового двойника трансформатора
-

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



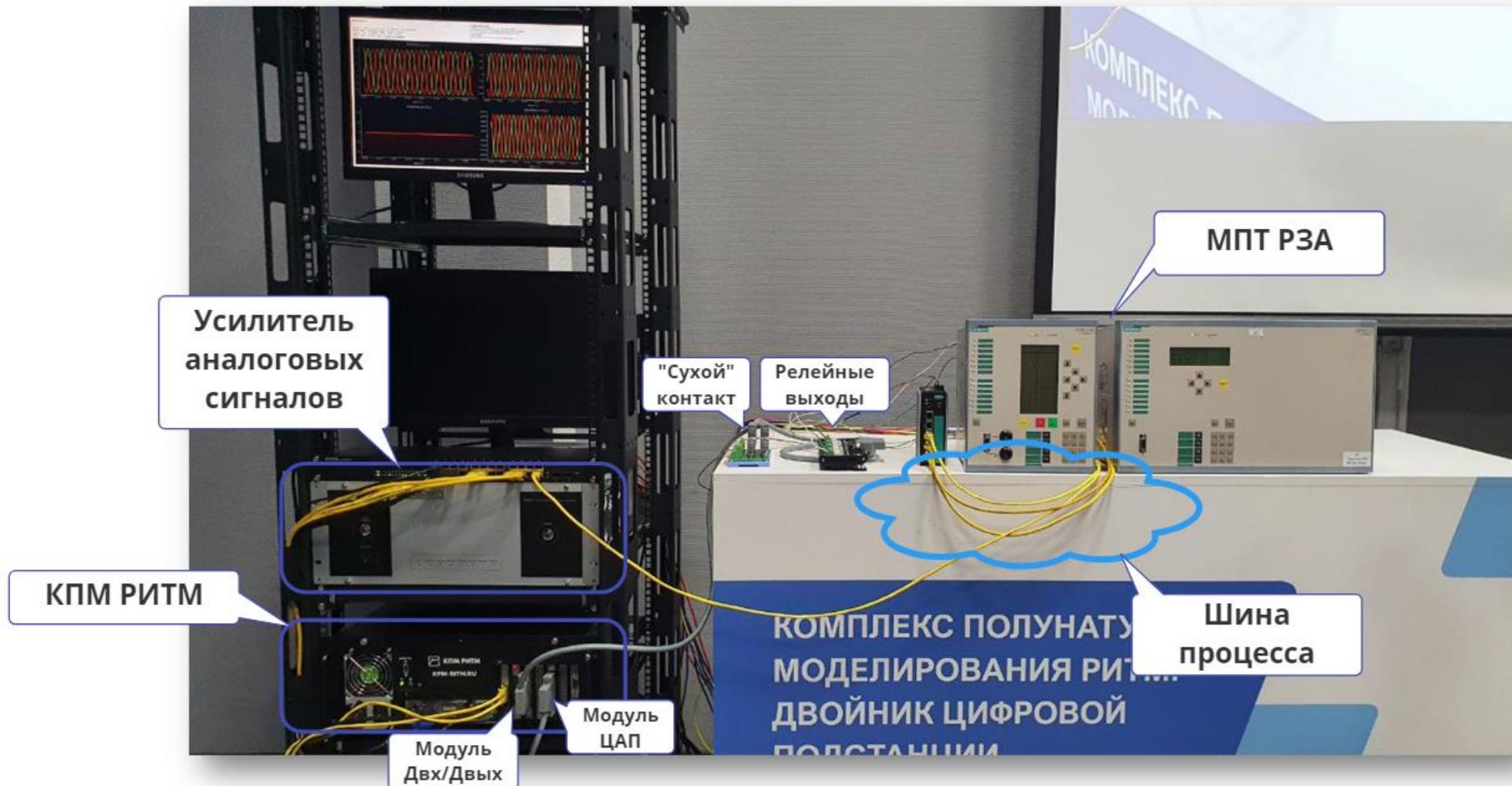
Комплекс полуавтоматического моделирования РИТМ

Сценарии применения в электроэнергетике:

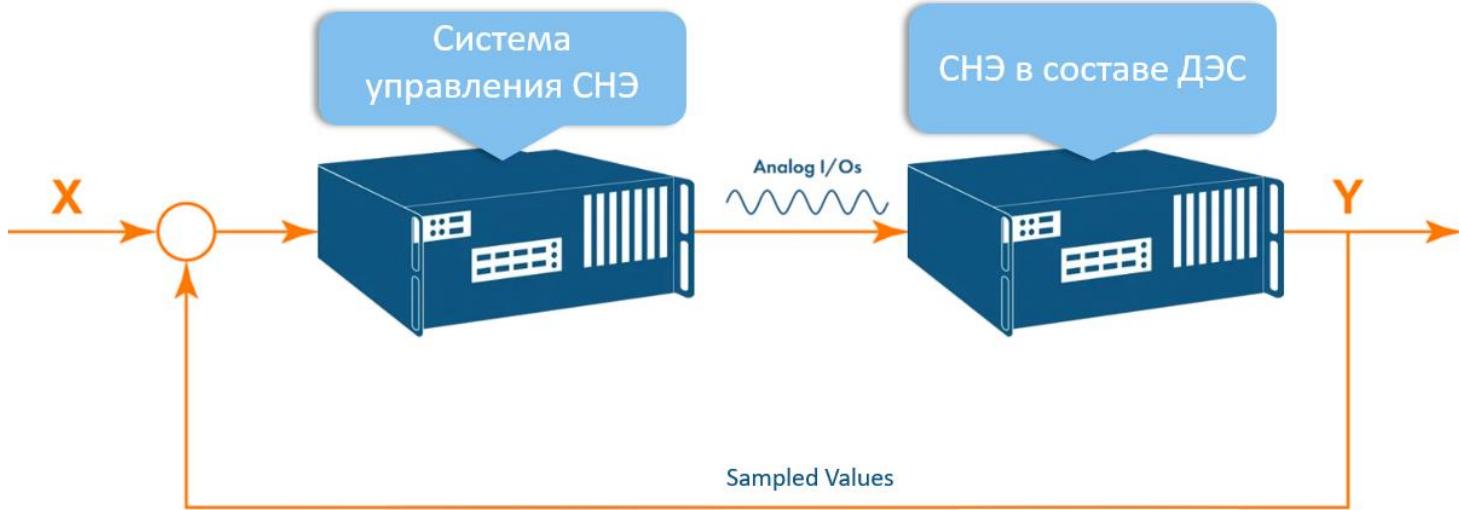
- Полуавтоматическое моделирование
- Быстрое прототипирование
- Гибридное тестирование



Полунатурное моделирование



Быстрое прототипирование

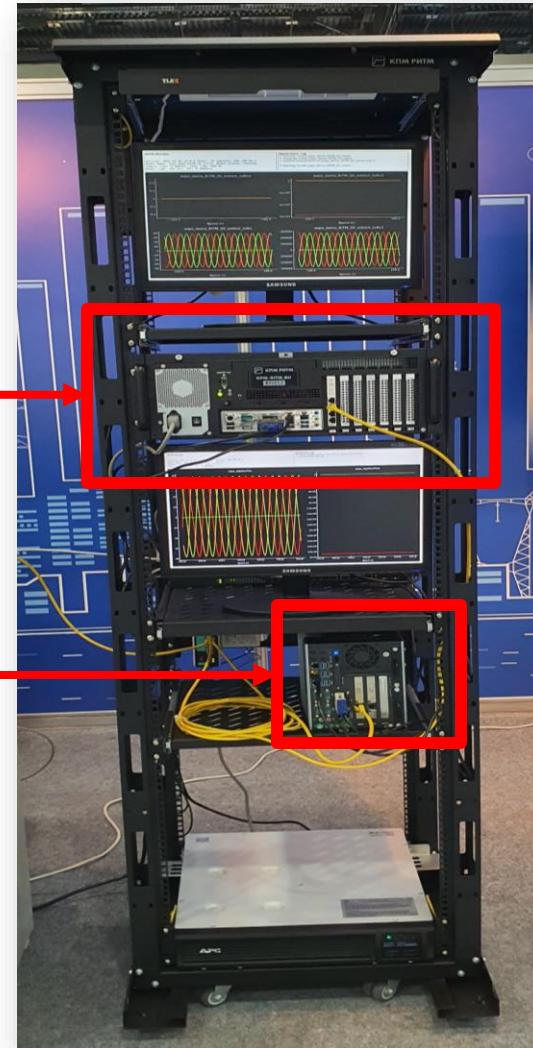
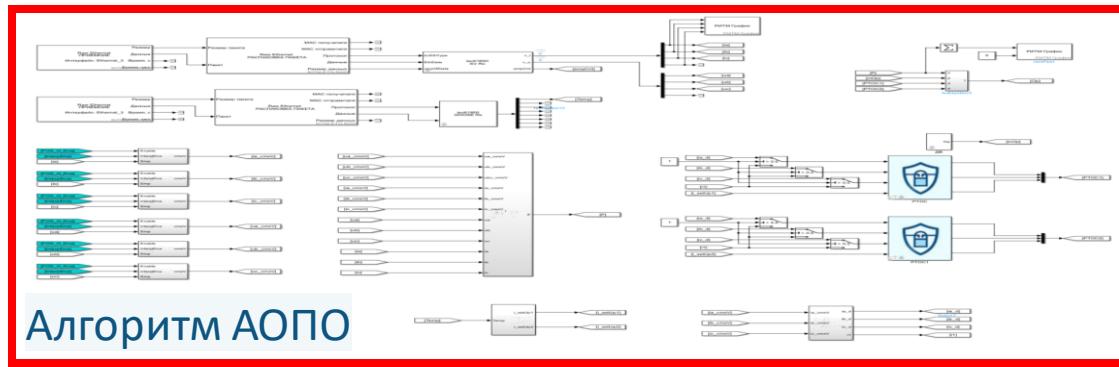
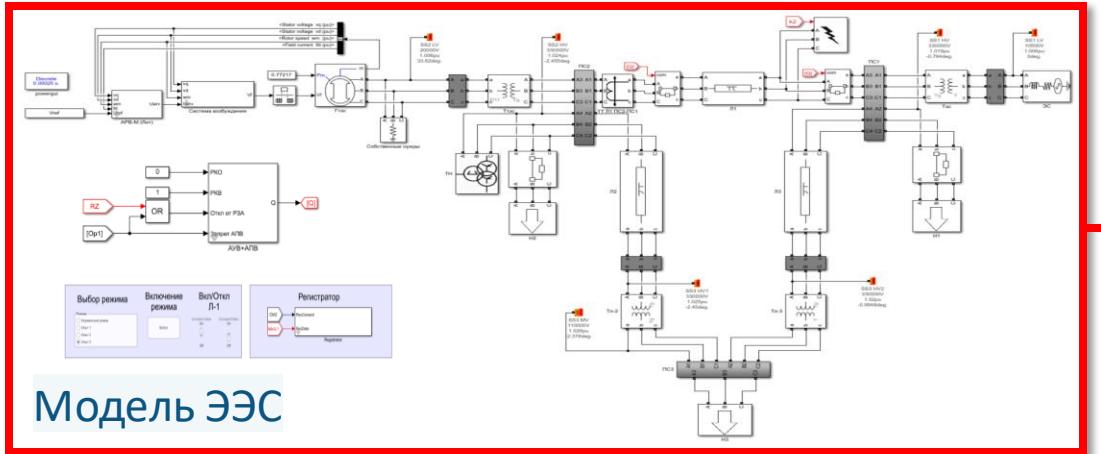


СНЭ в составе ДЭС

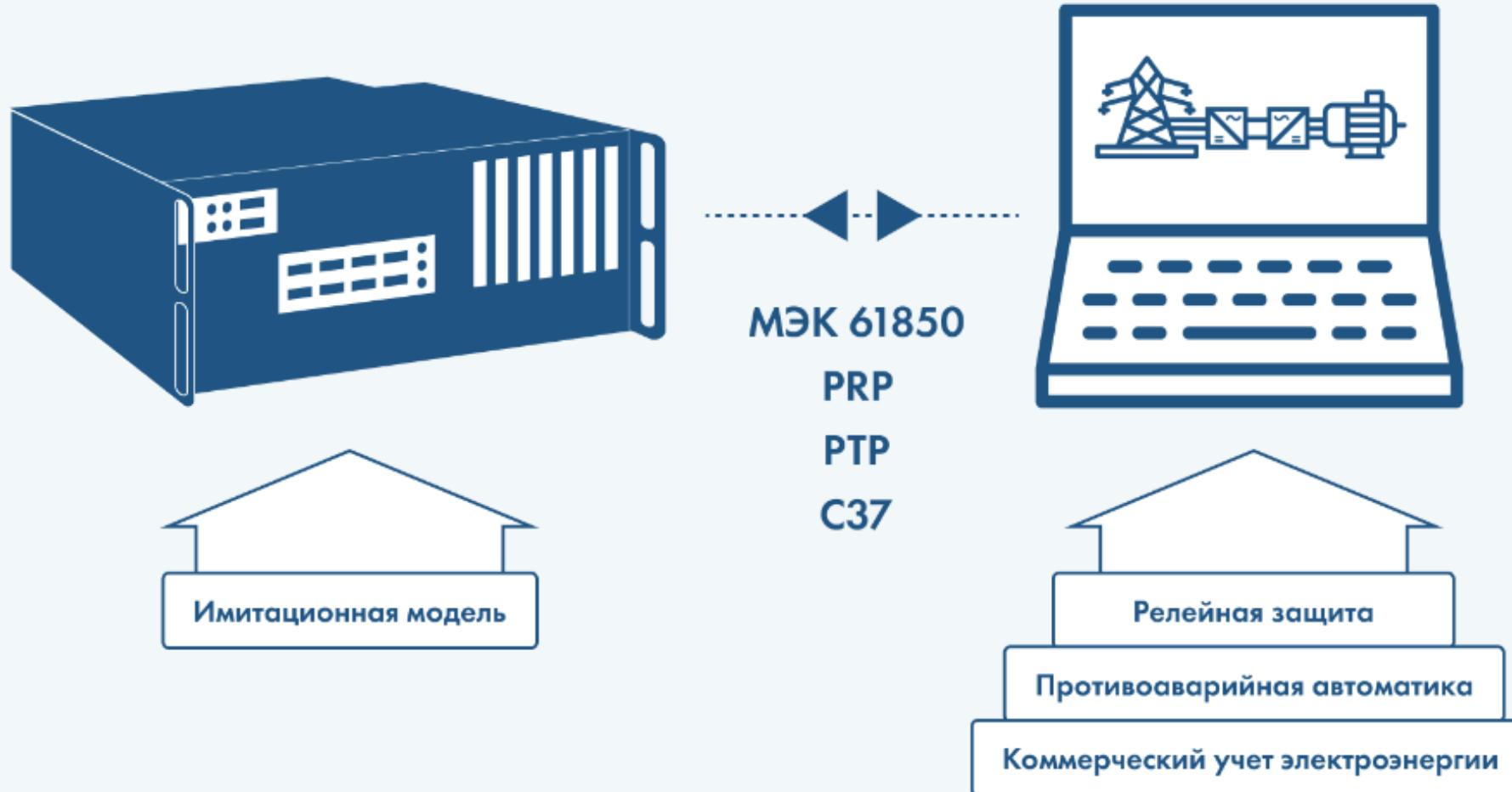
Система
управления СНЭ



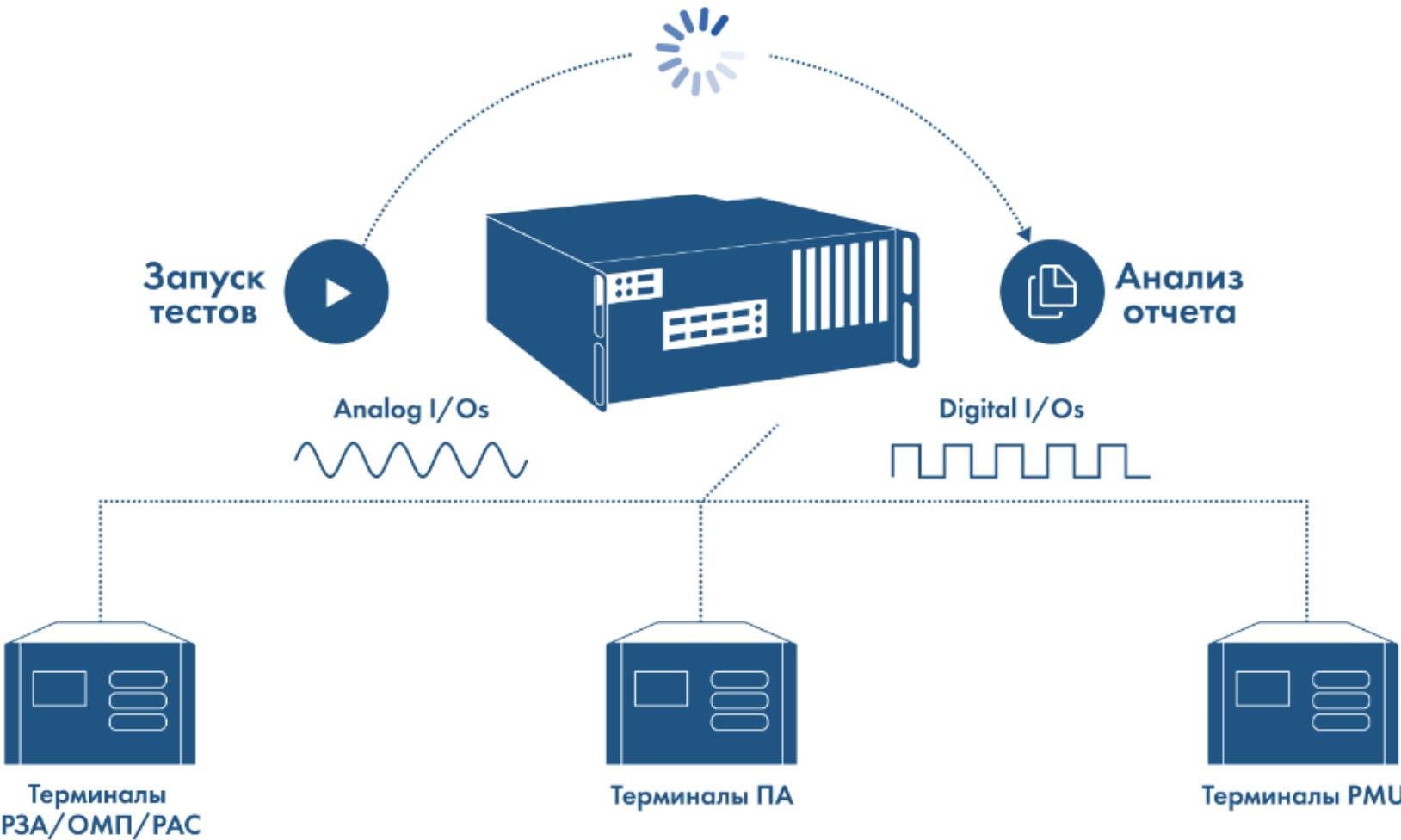
Гибридное тестирование



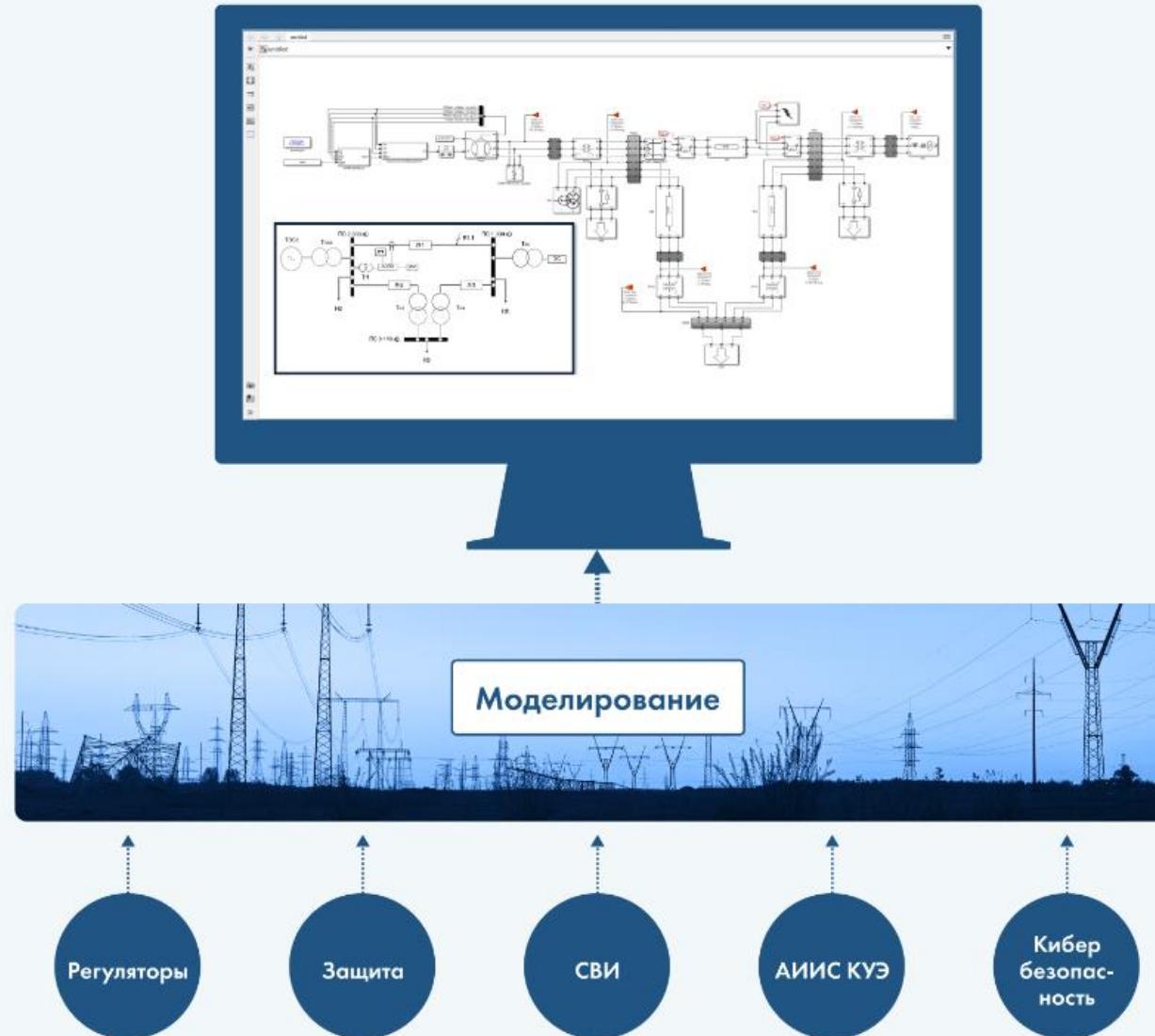
Разработка алгоритмов



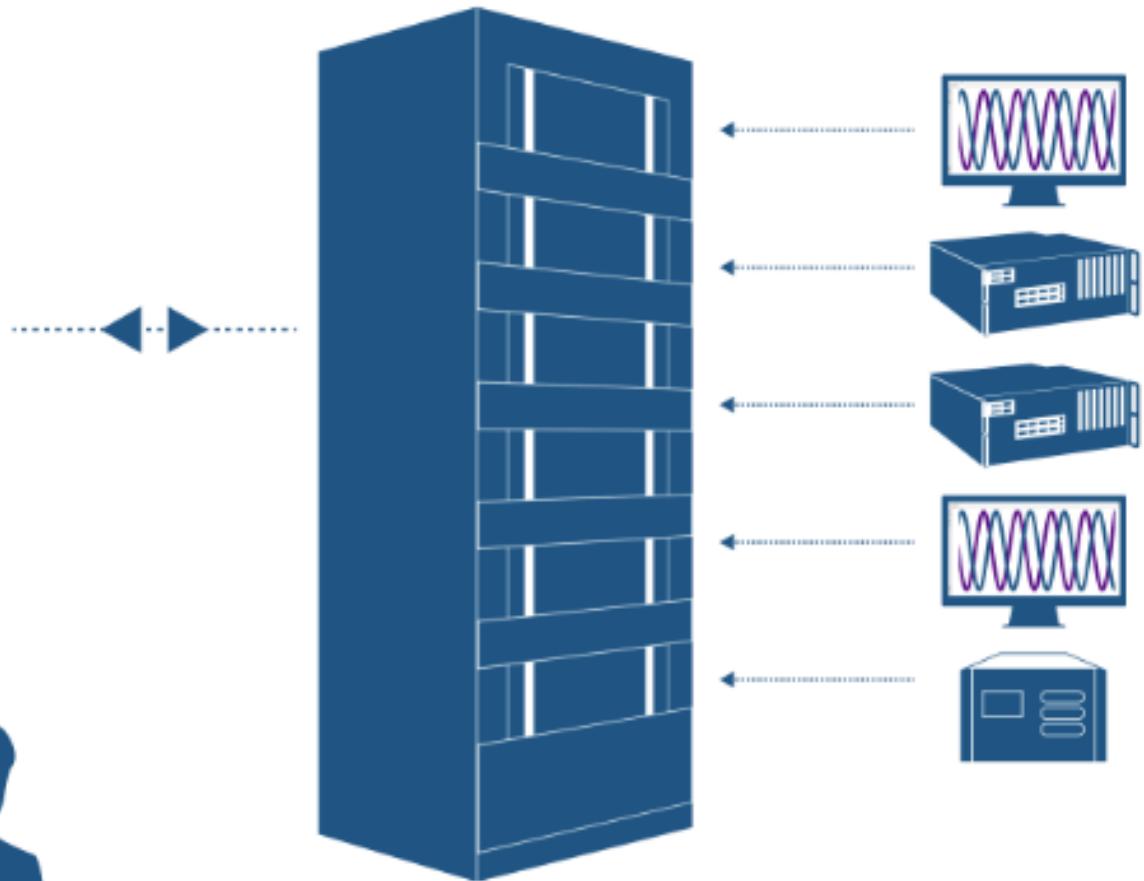
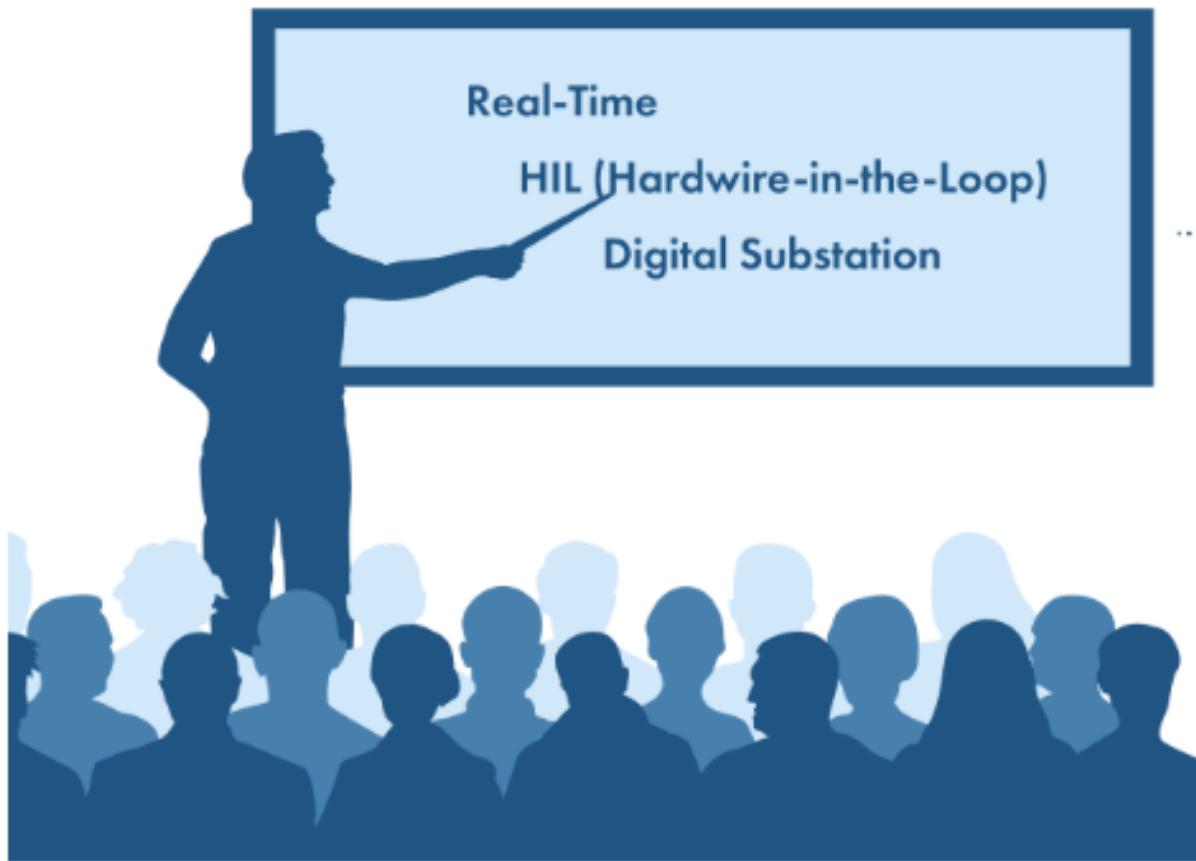
Отладка и тестирование



Имитационное моделирование



Лабораторные стенды





ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



REAL TIME



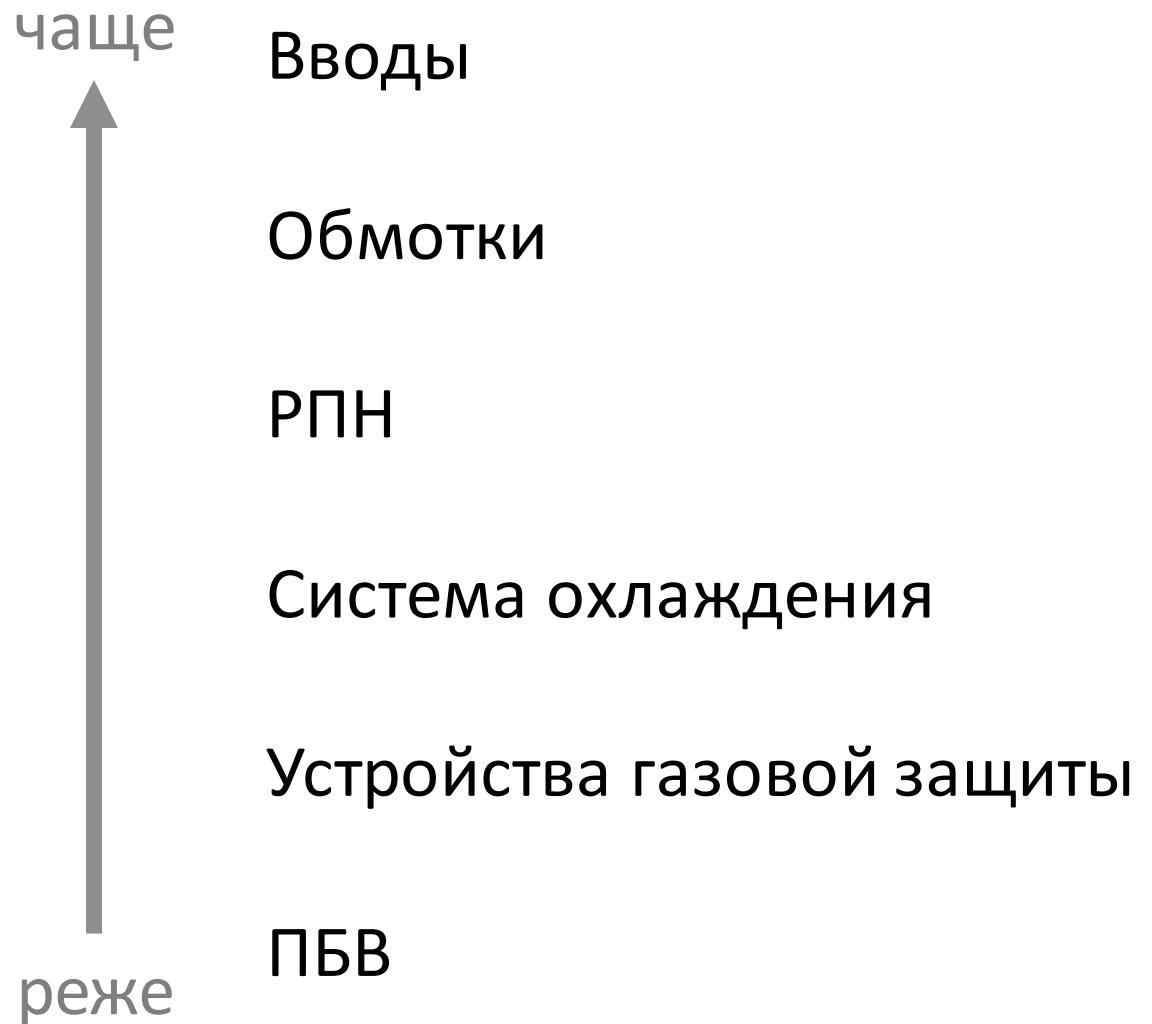
@EXPONENTA_ENERGY

Электроэнергетик?
Подписывайся!

Силовой трансформатор



Что чаще всего выходит из строя?

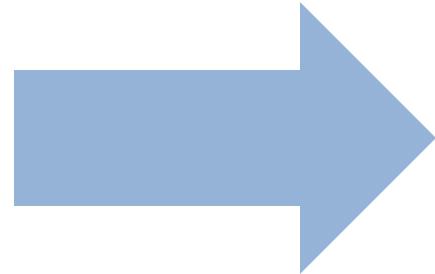


Источник: Левин В.М. Диагностика и эксплуатация оборудования электрических сетей. Новосибирск, НГТУ.

Причины отказов



?



Причины отказов в процентах



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

Эксплуатация трансформатора



Длительный срок службы



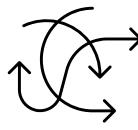
Дорого обслуживать



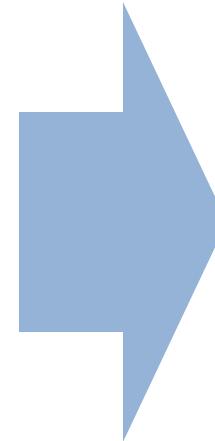
Долго восстанавливать



Ущерб от отказов



Сложно выявить дефект

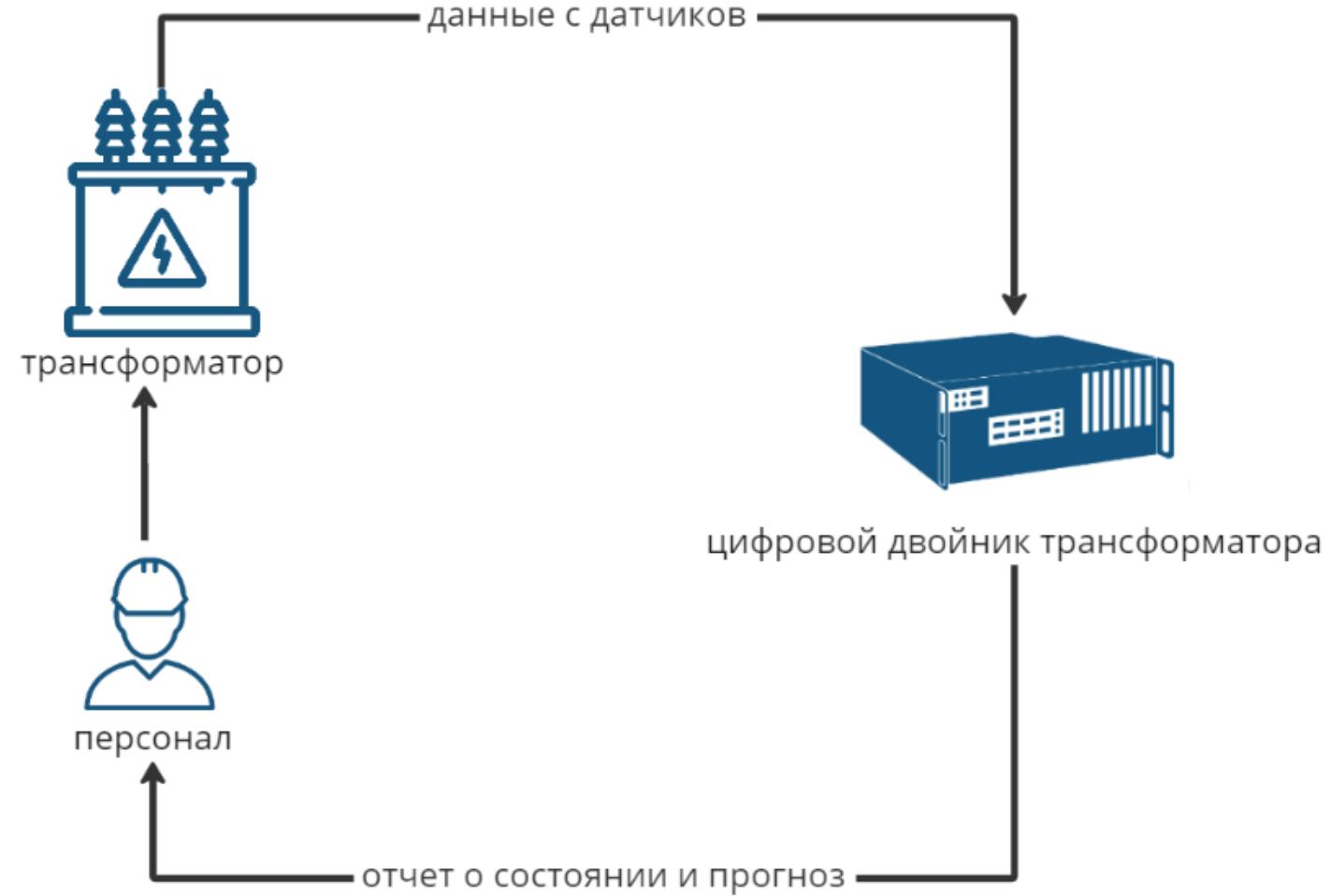


Требуется «умная»
система мониторинга и
диагностики

Индустрія 4.0: цифровые двойники



Цифровой двойник трансформатора

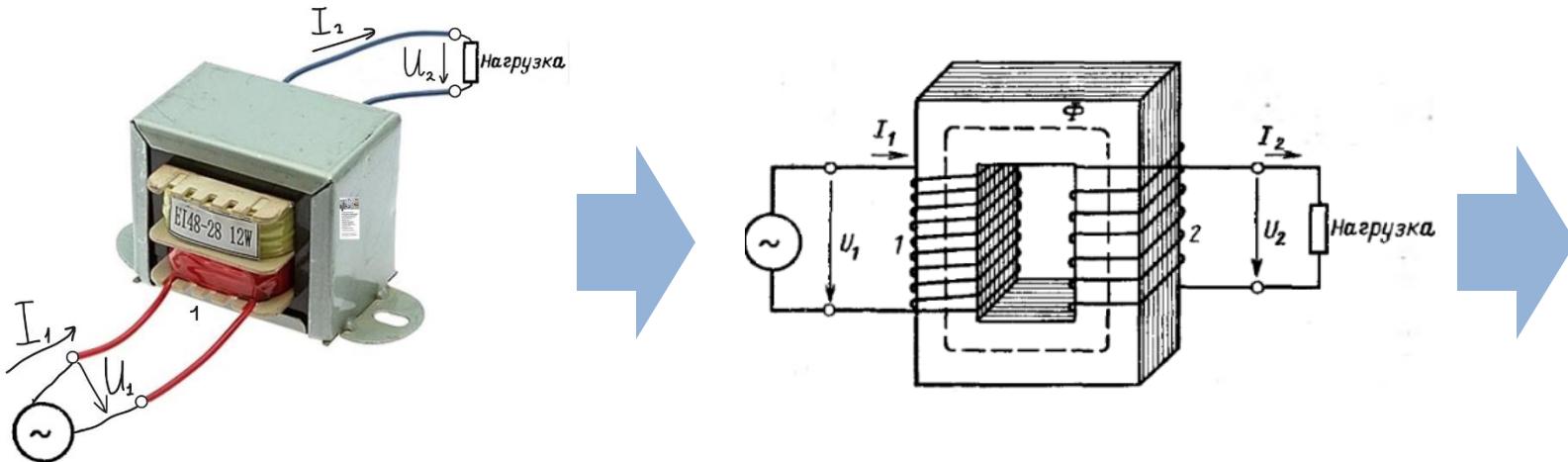


Модель + двухсторонняя связь = Цифровой двойник

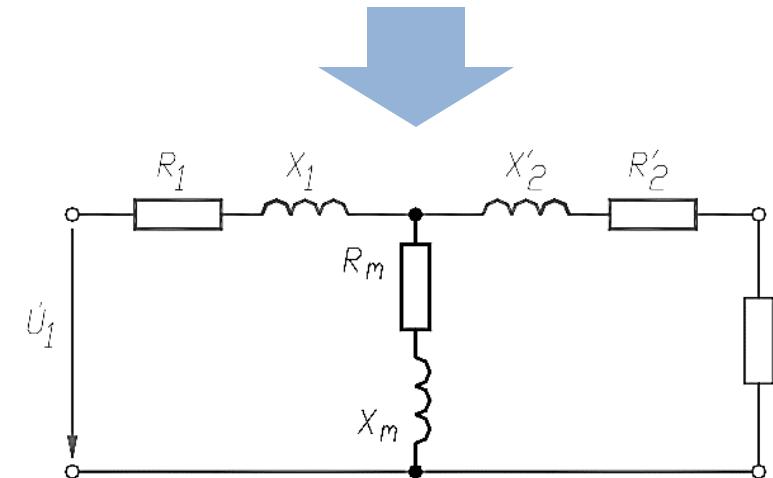
Основные принципы построения ЦД

- **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.

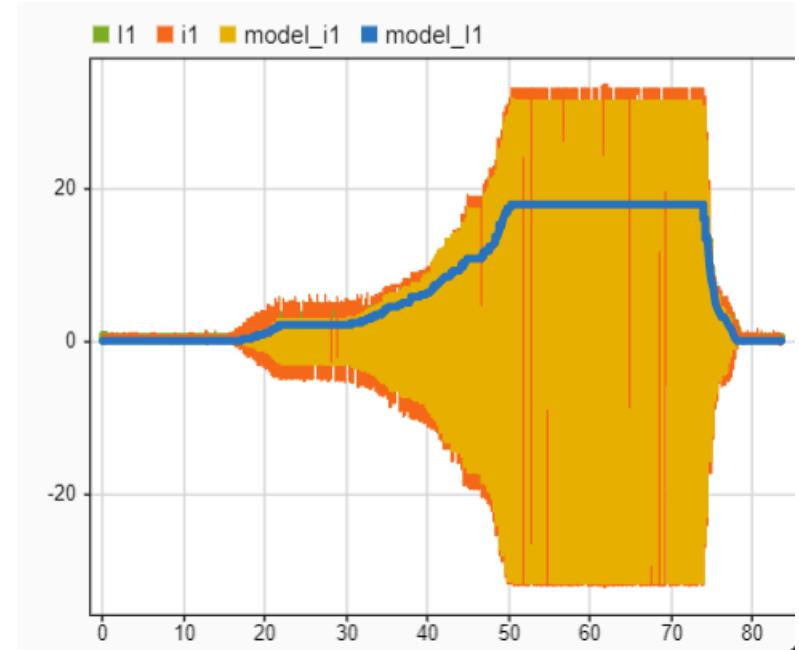
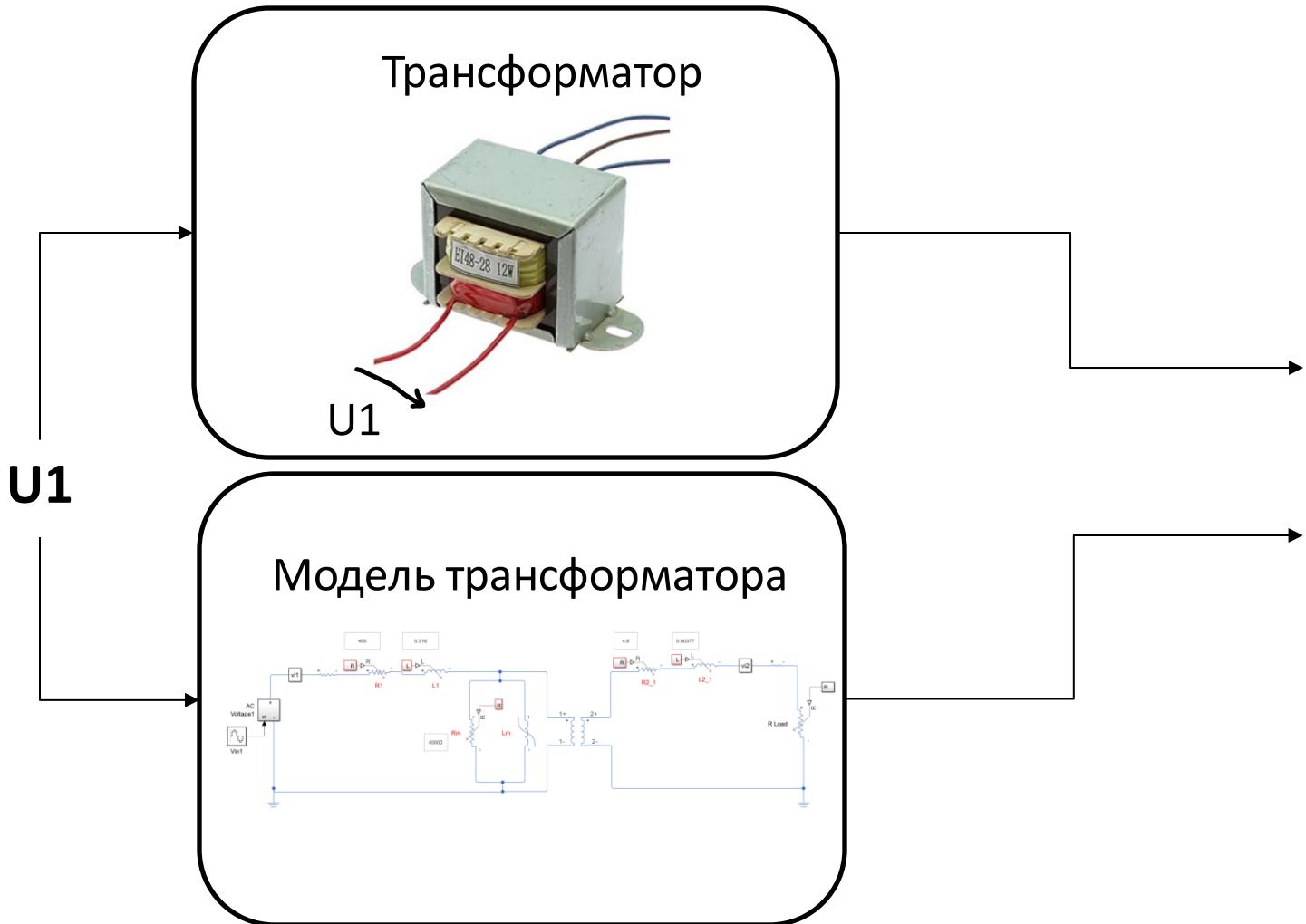
Построение модели трансформатора



Сопротивления из
опытов ХХ и КЗ

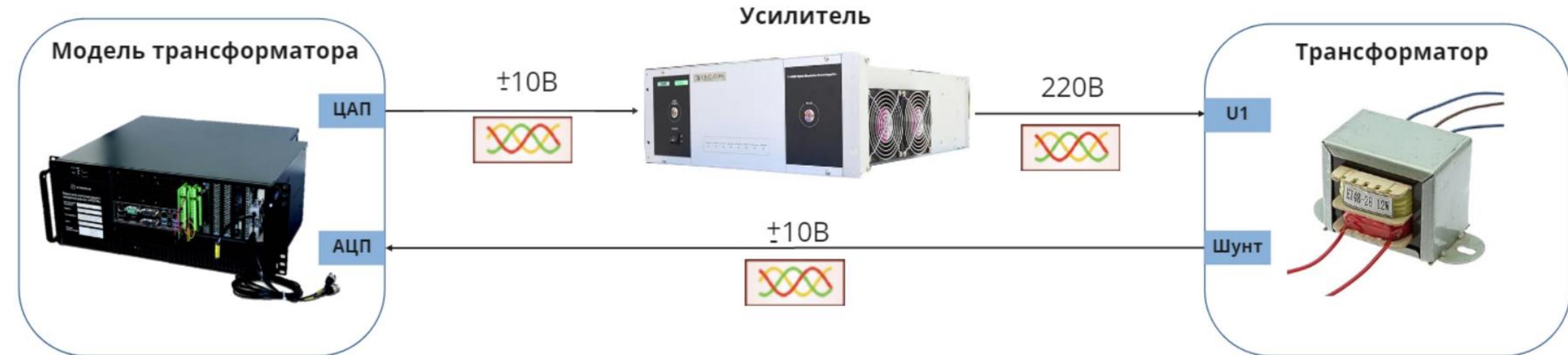


Результаты эксперимента и моделирования

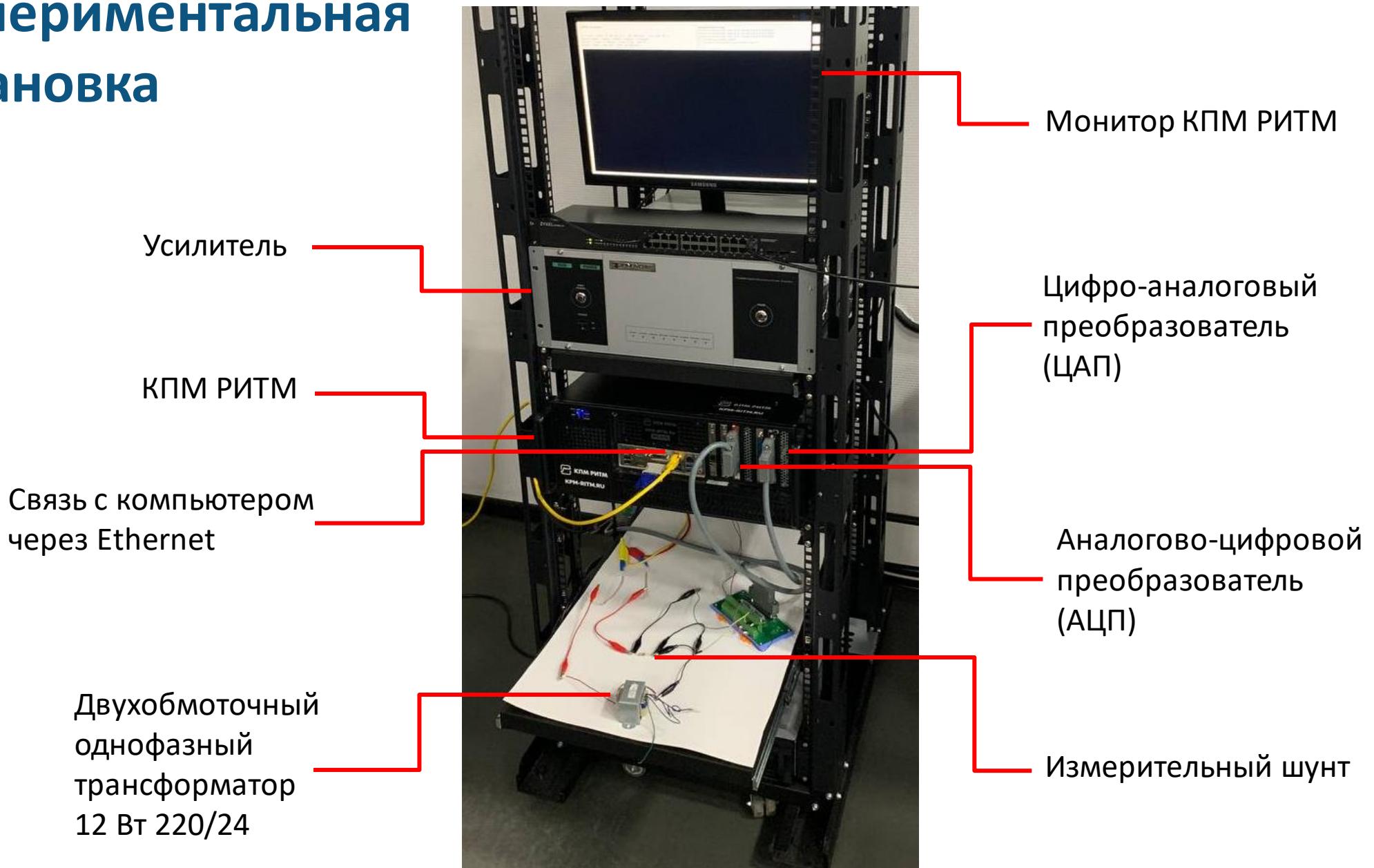


Осциллограммы токов и напряжений
в режиме online

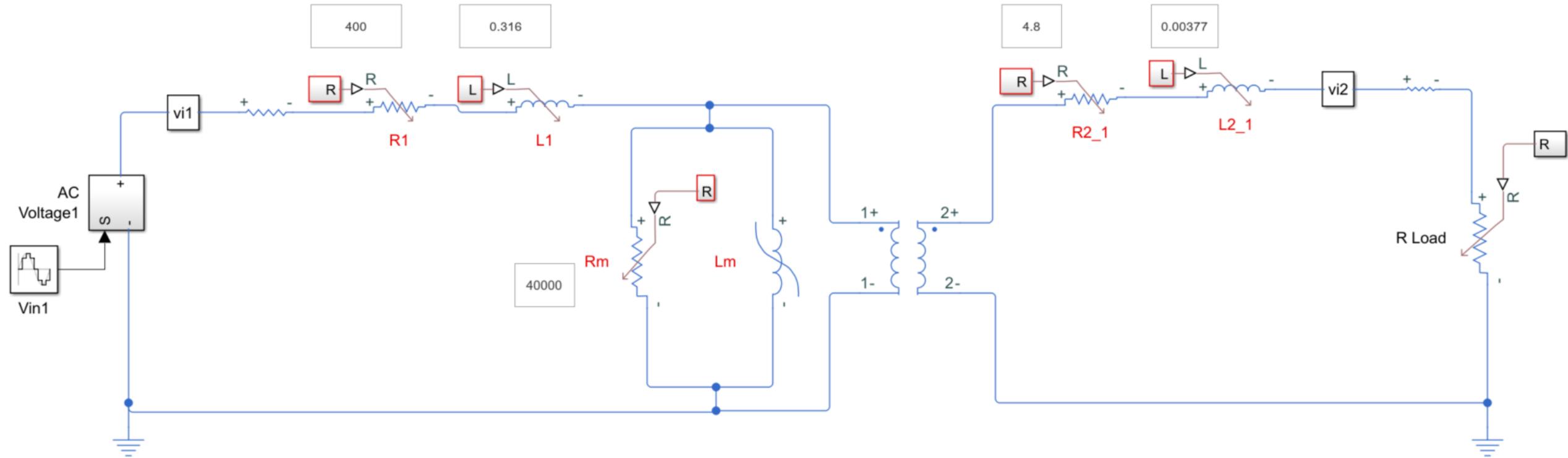
Принципиальная схема



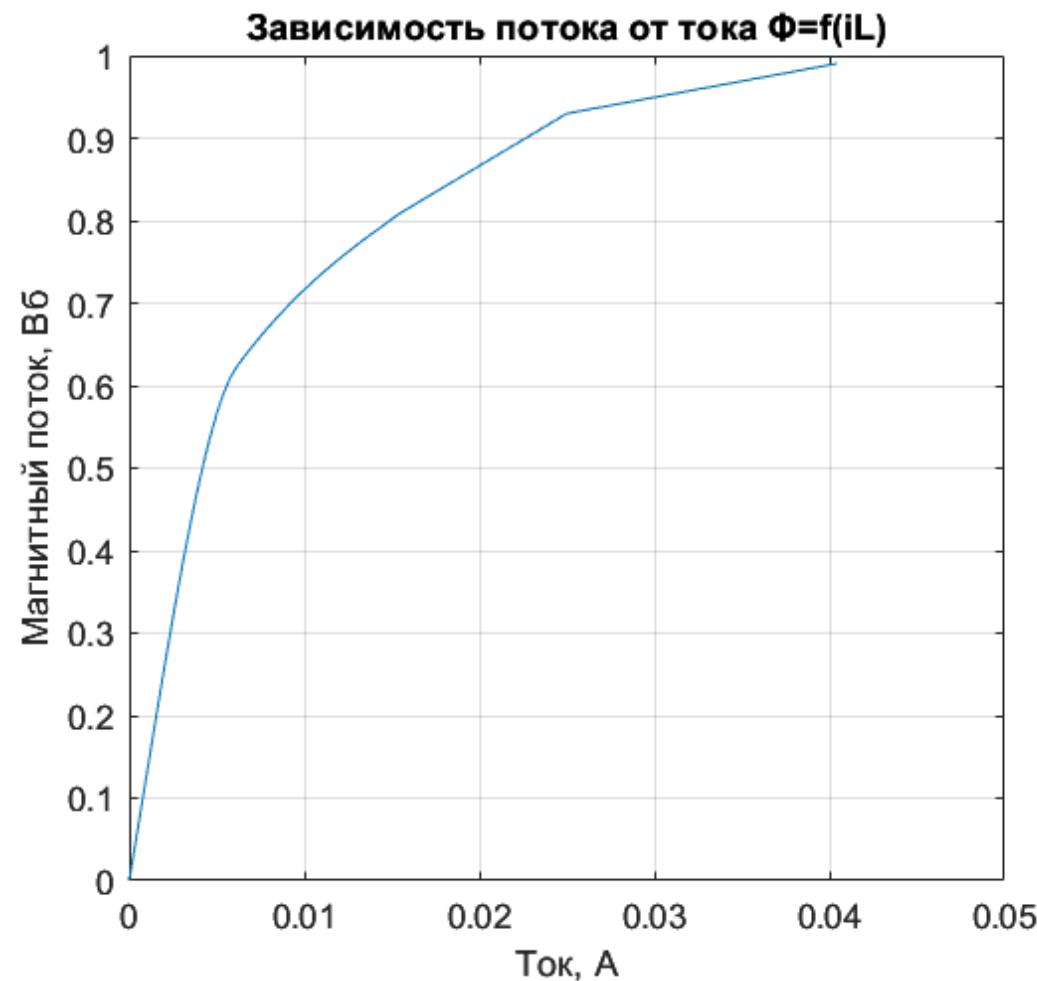
Экспериментальная установка



Модель трансформатора

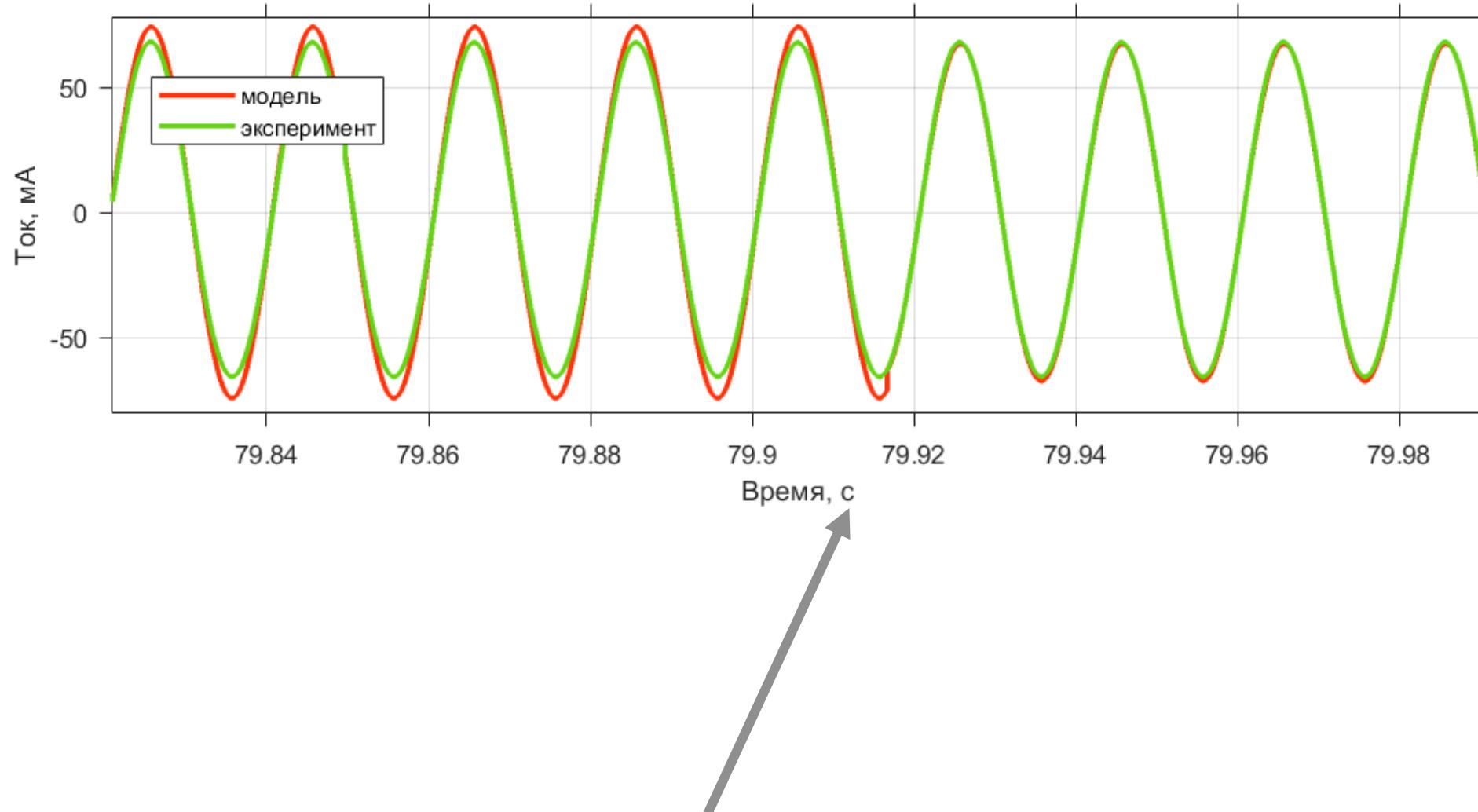


Основная кривая намагничивания

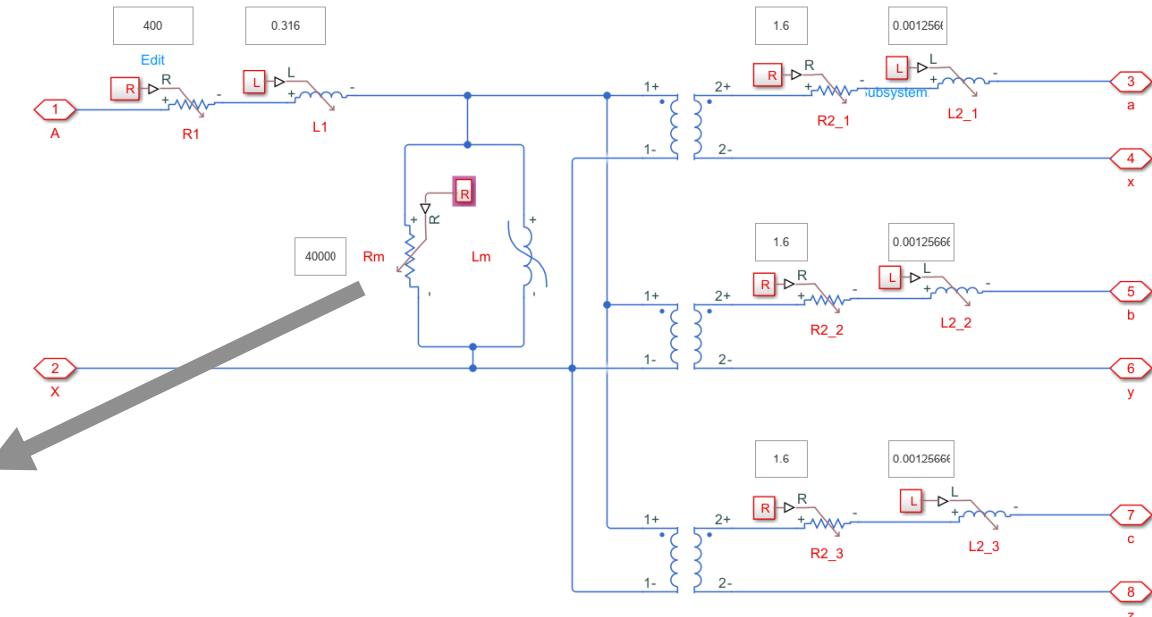
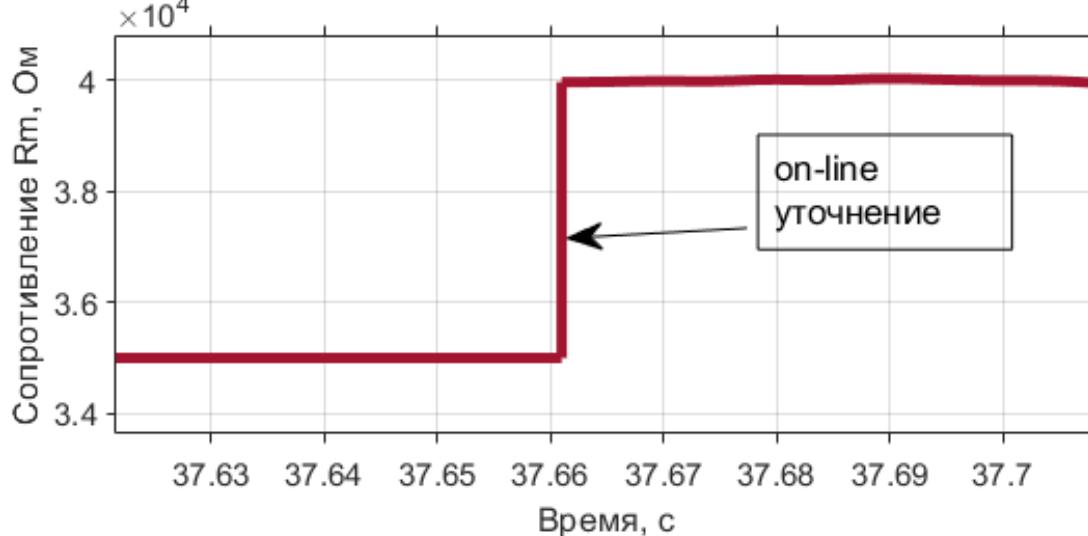
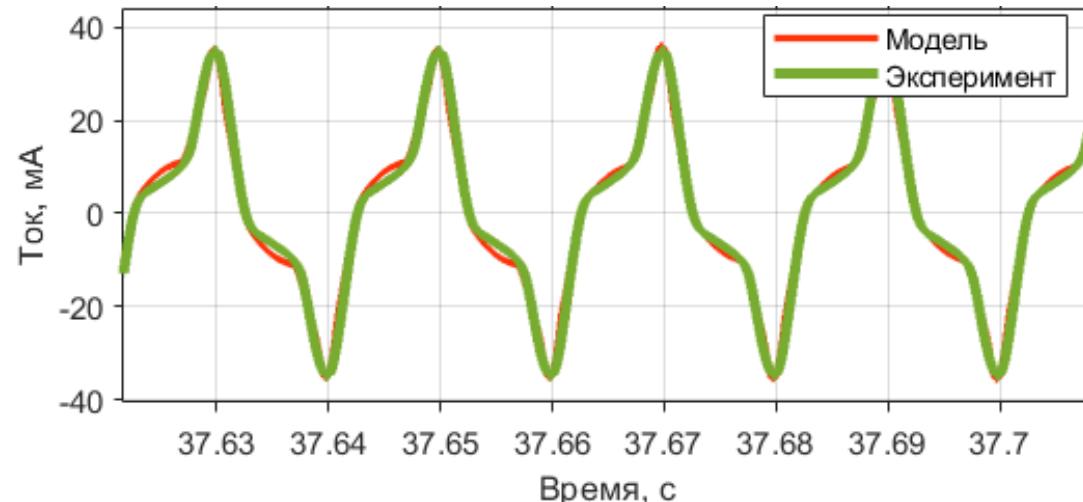


Для подбора координат использовался инструмент **Parameter Estimator**

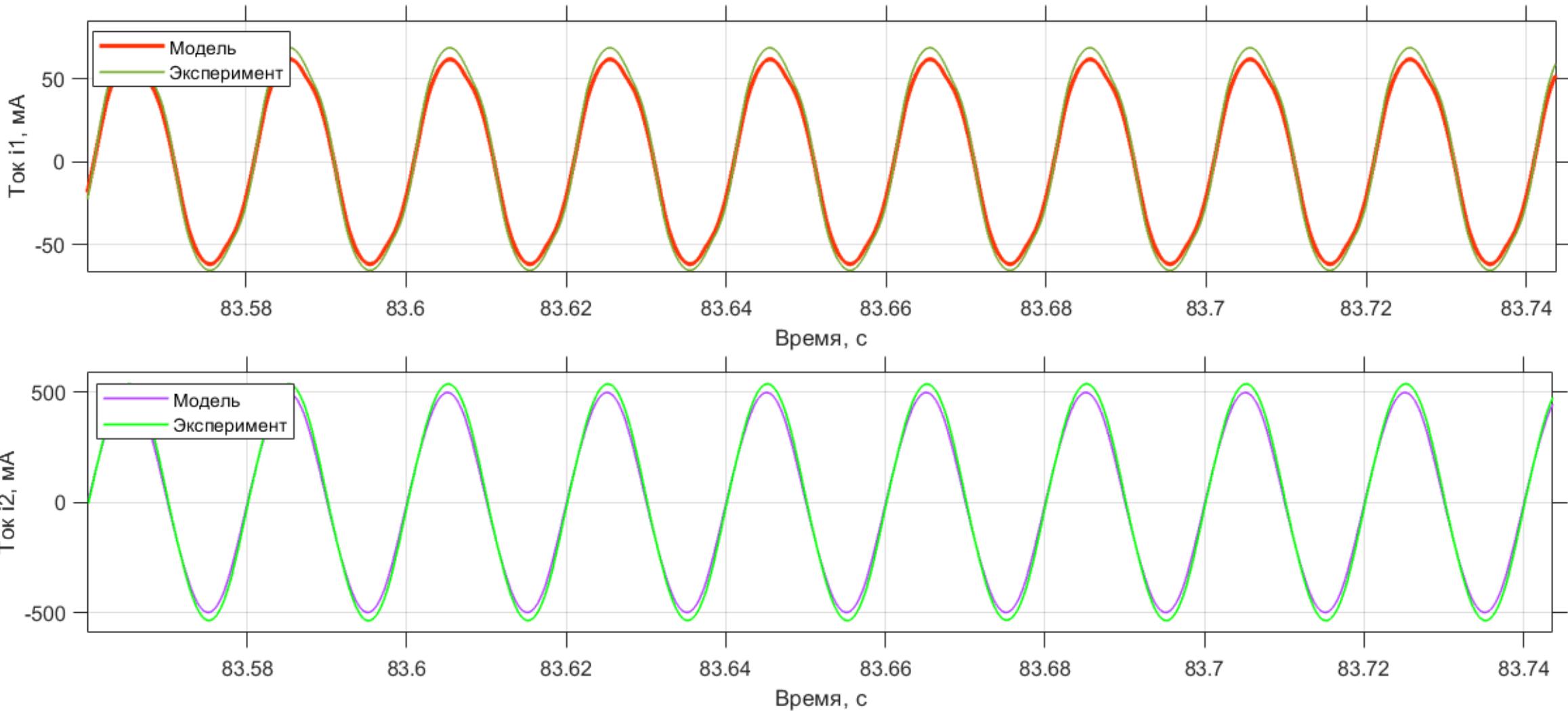
Уточнение R1,R2,L1,L2 в опыте КЗ



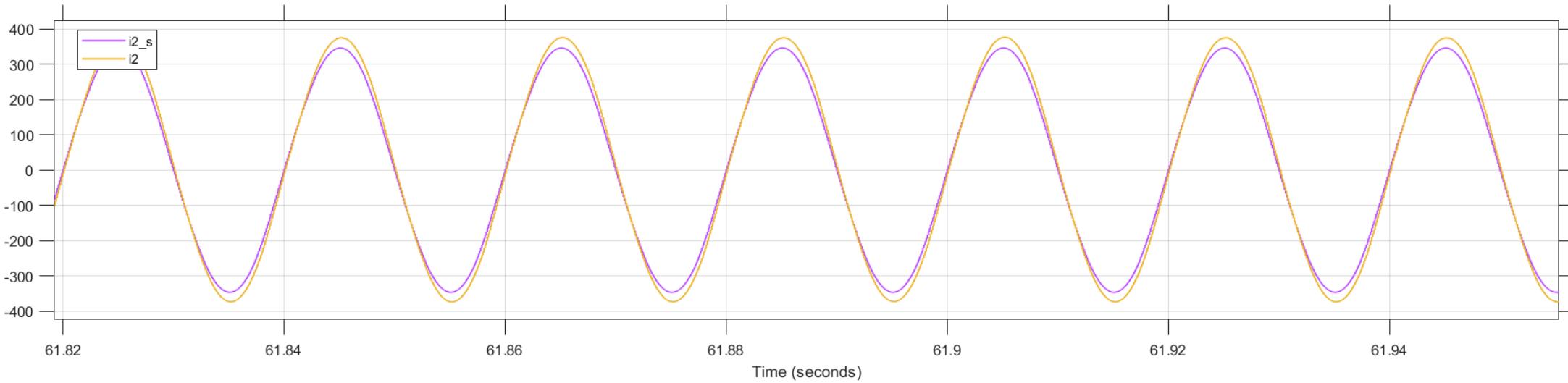
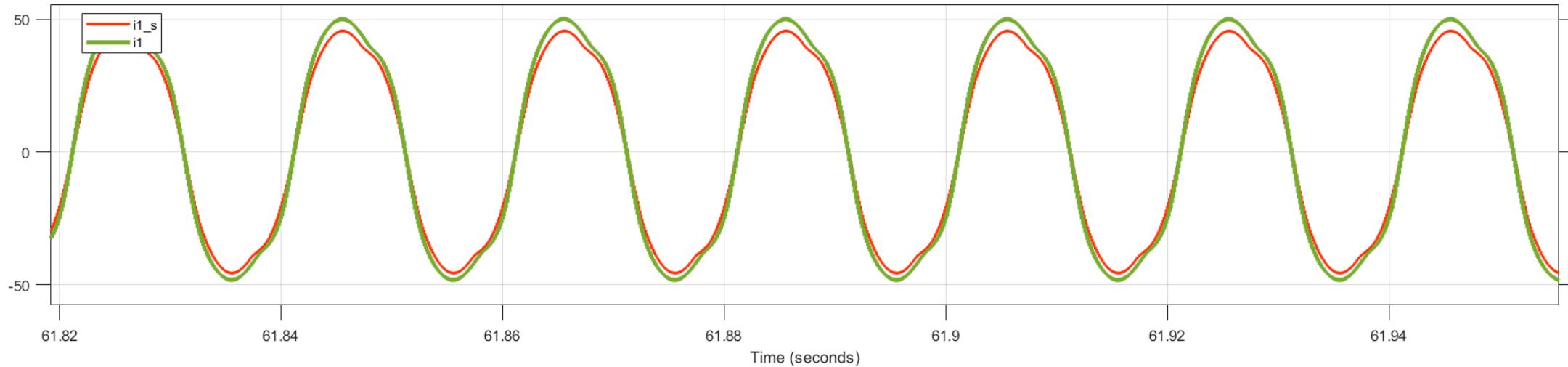
Уточнение R_m в опыте XX



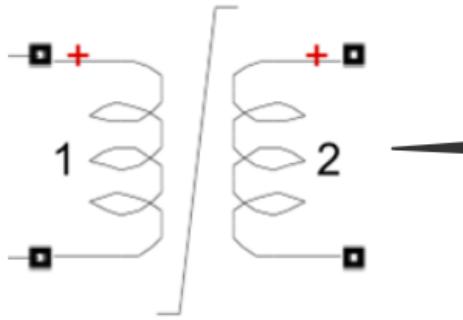
Нагрузочный режим 54 Ом



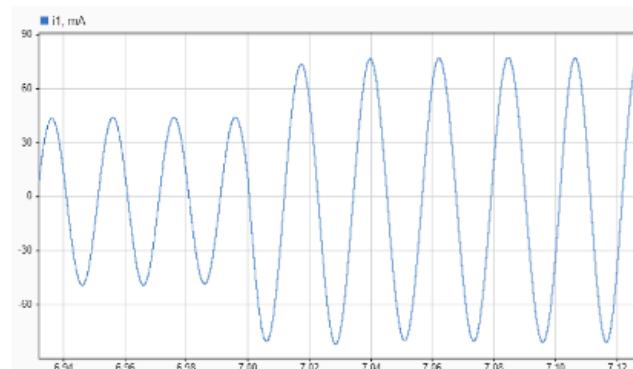
Нагрузочный режим 81 Ом



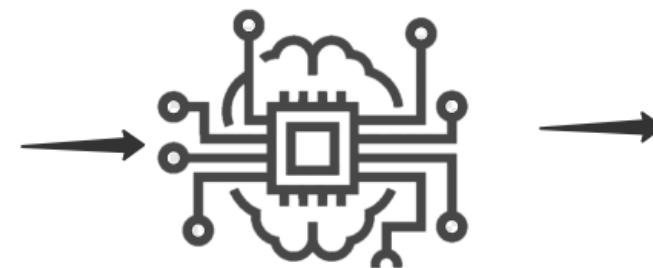
ЦД генерирует данные



Цифровой
двойник



Данные

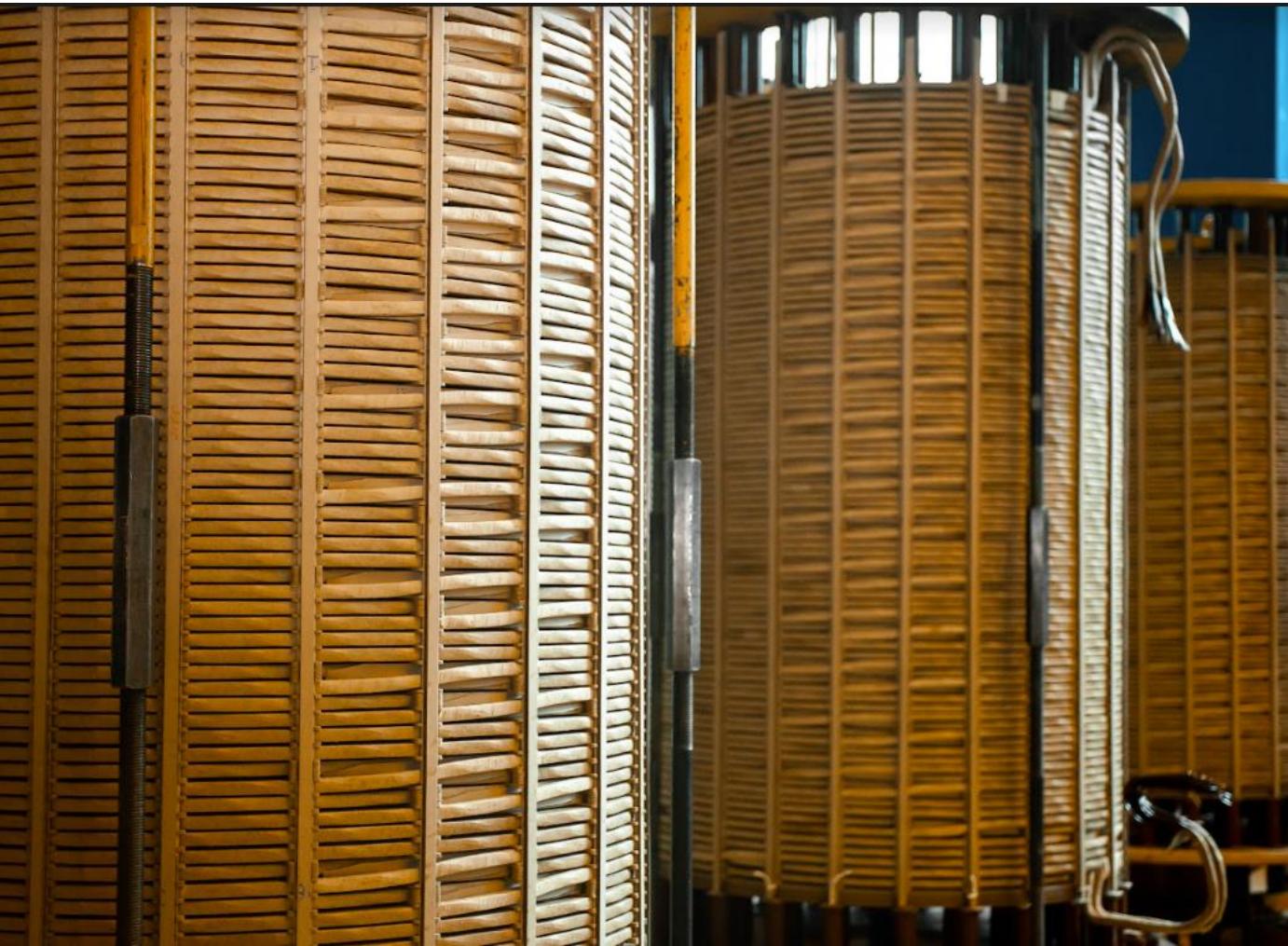


Машинное
обучение
на нормальном и
аварийном датасете



Валидация
полученного
алгоритма

Межвитковые замыкания



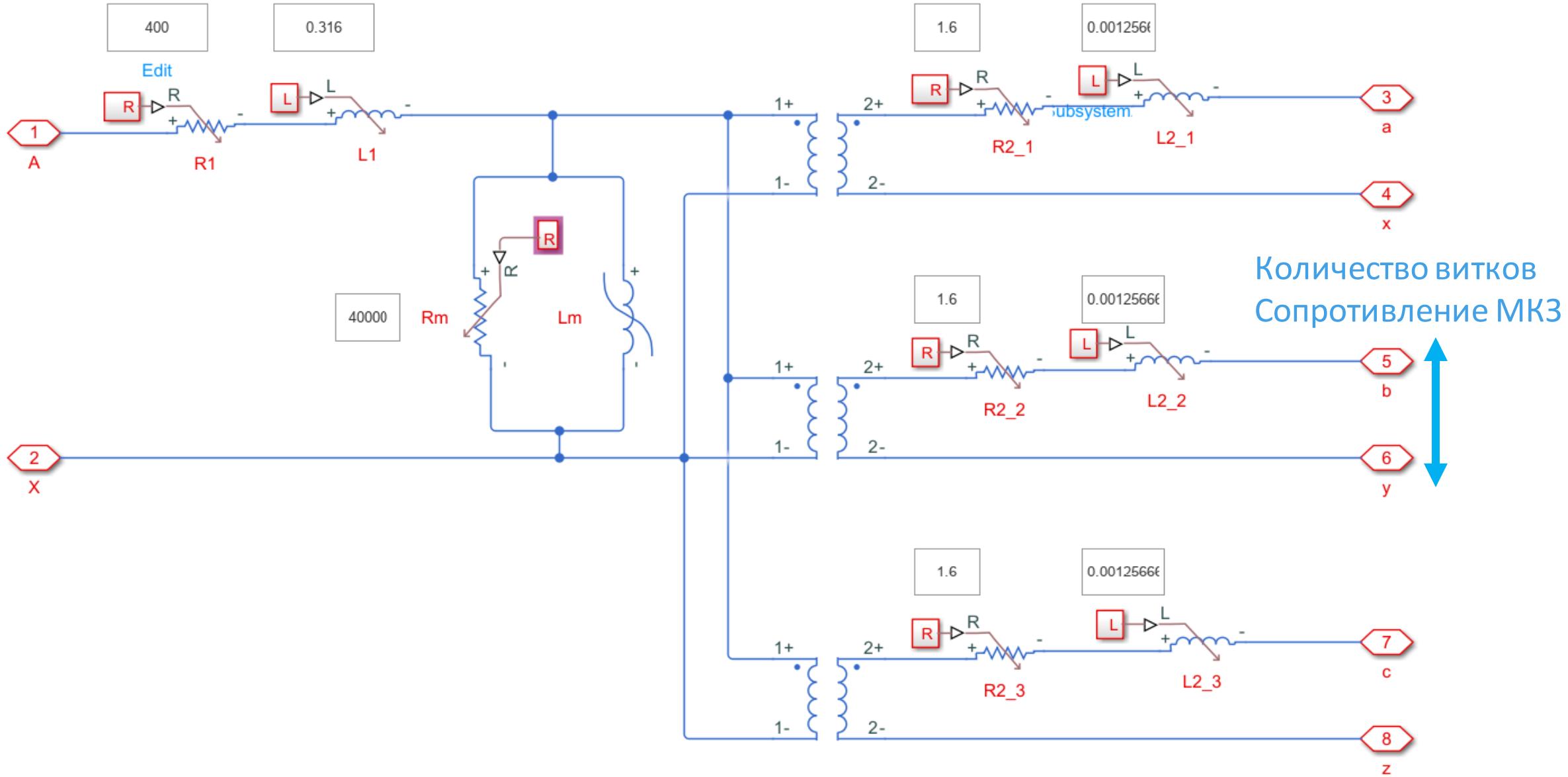
Причины:

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



Выводы:



качественная модель – залог успеха



нет данных для обучения – генерируй с помощью ЦД



прототип системы мониторинга – быстро и эффективно

Цифровой двойник трансформатора : на пути к интеллектуальному мониторингу

Часть 2 : Предсказание отказов

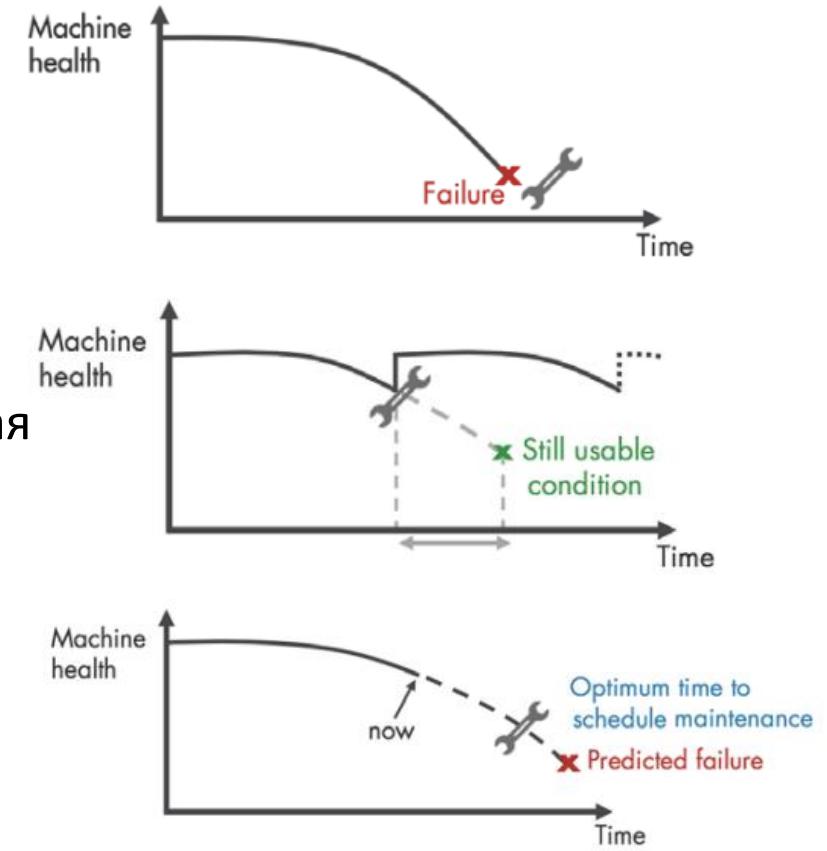


НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

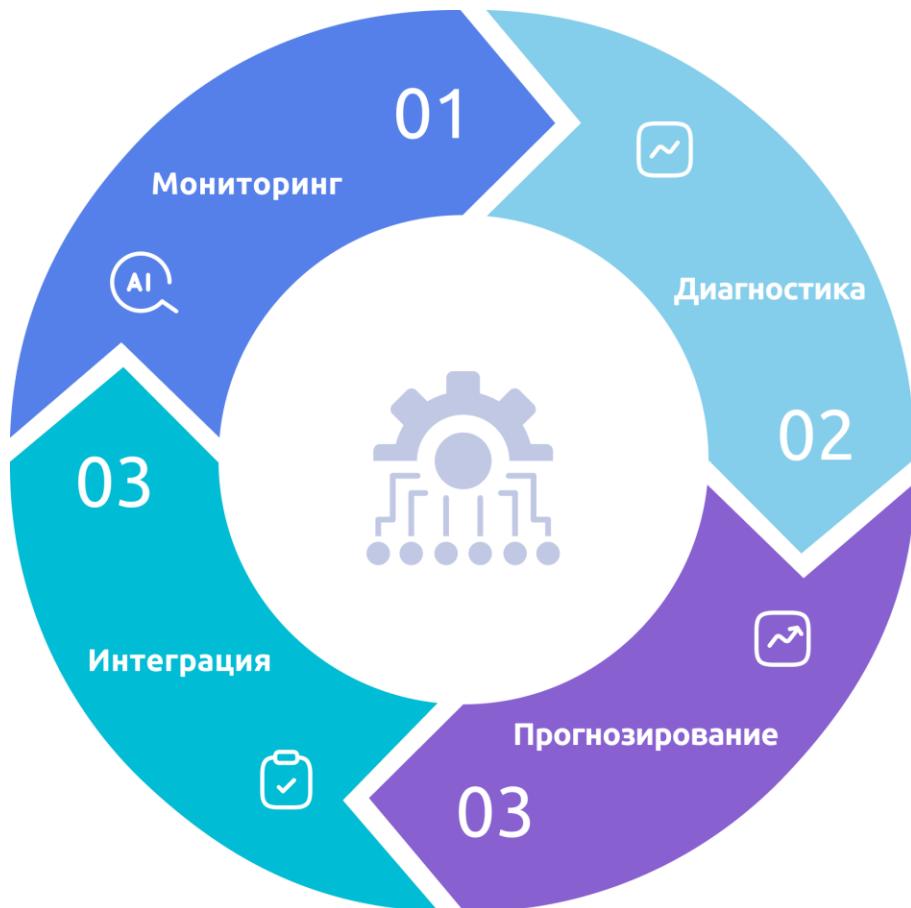


- Обеспечение бесперебойного электроснабжения
- Прогнозирование электрической нагрузки
- Беспилотные воздушные инспекции активов
- Обнаружение и классификация аварийных ситуаций в электрической сети
- Анализ состояния высоковольтных трансформаторов тока
- Прогнозирование выработки ветровых и солнечных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

Эволюция организации технического обслуживания и ремонта оборудования:

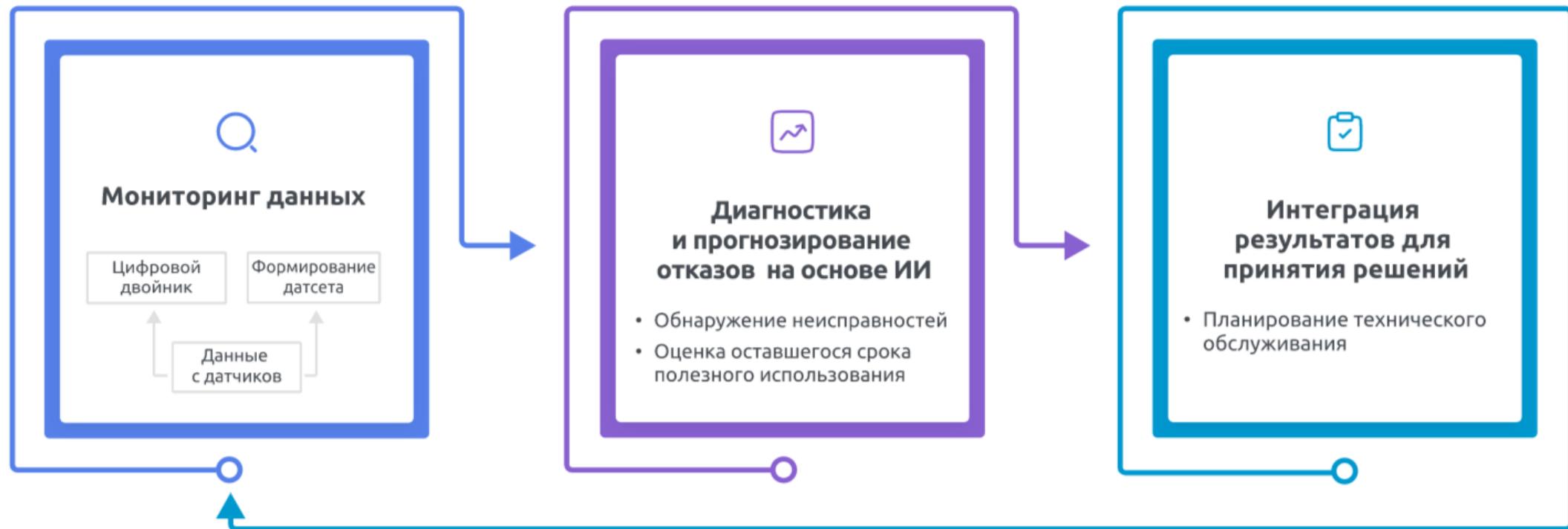


ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

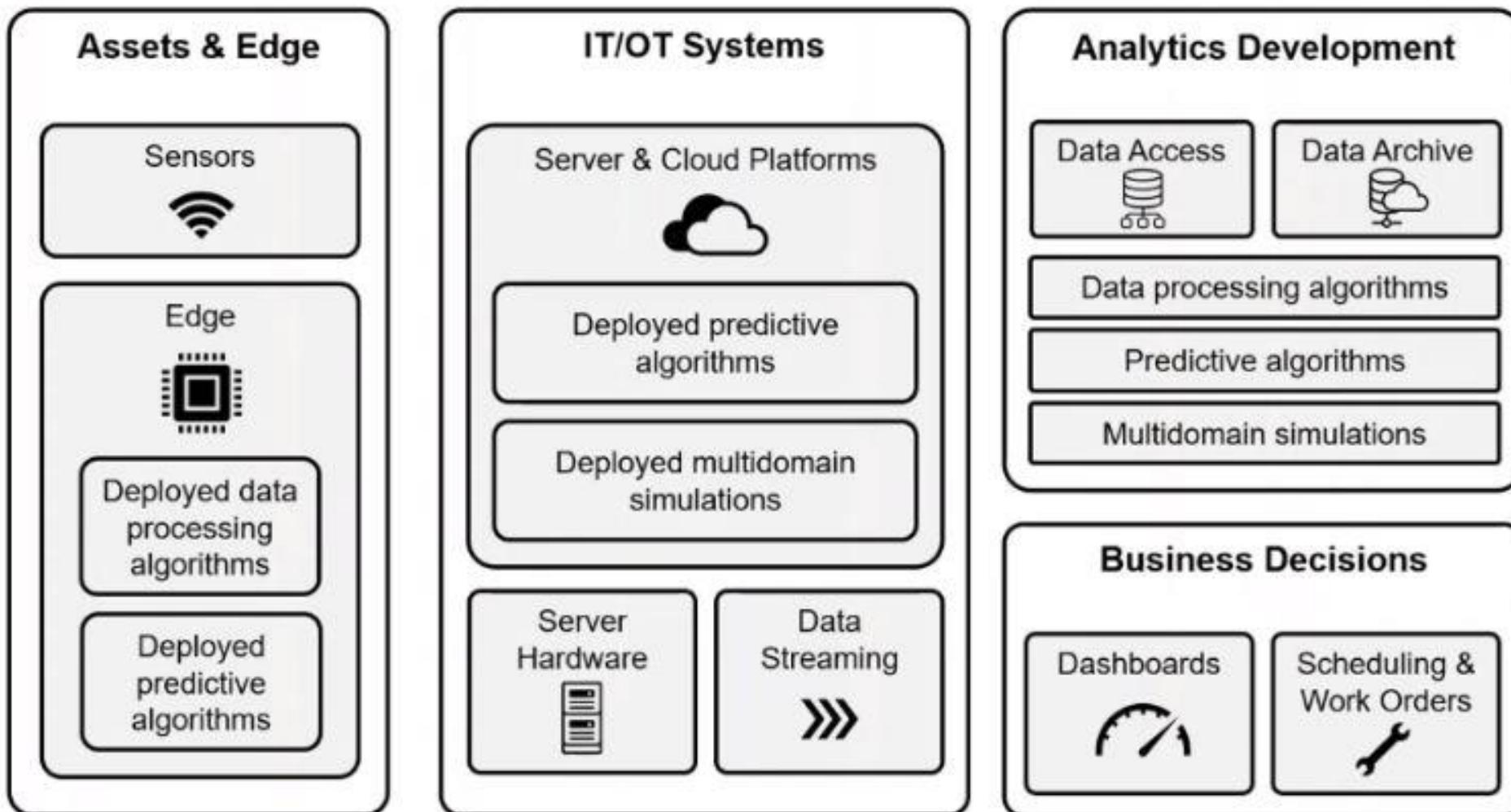


- ✓ Диагностика состояния оборудования в режиме онлайн
- ✓ Предсказание неисправностей до их возникновения
- ✓ Прогнозирование остаточного срока работы компонентов
- ✓ Планирование и контроль выполнения тех. обслуживания

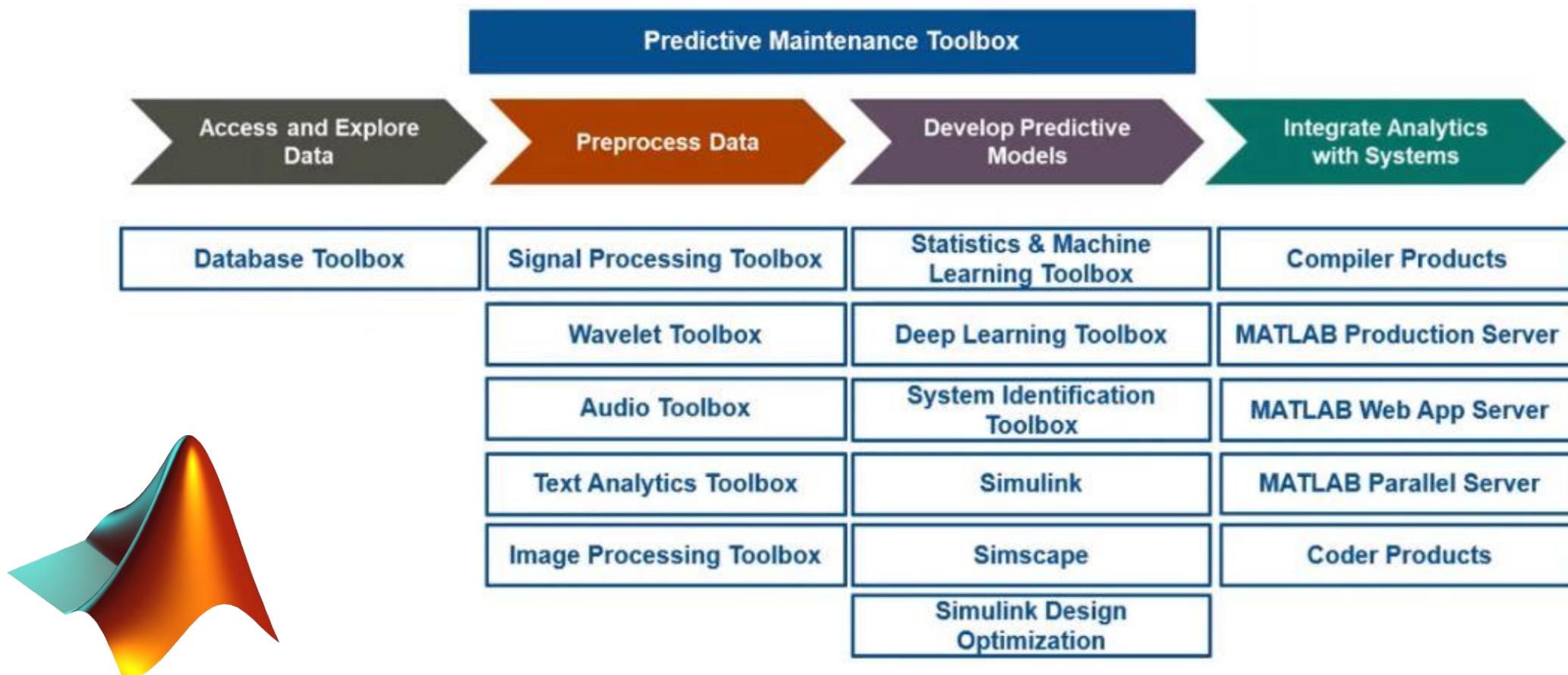
СХЕМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ



СИСТЕМА ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

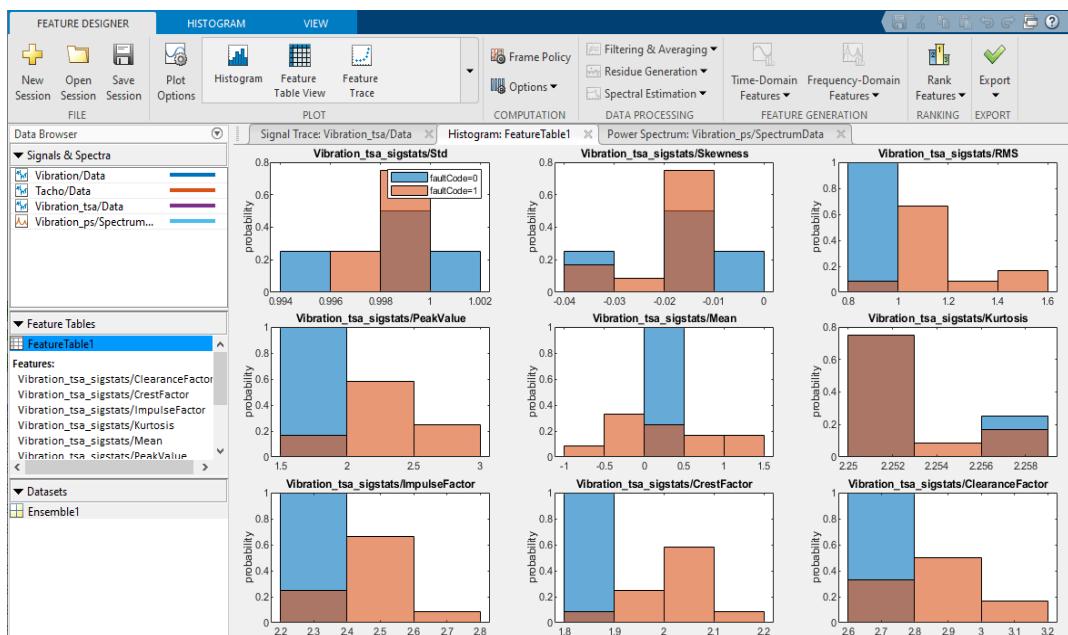


ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

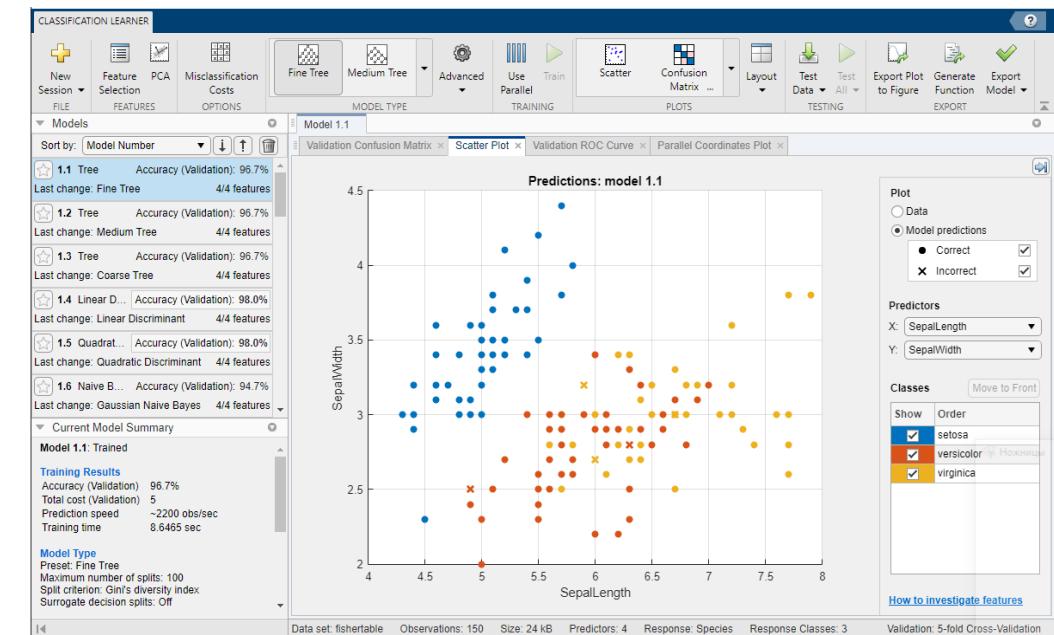


ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ

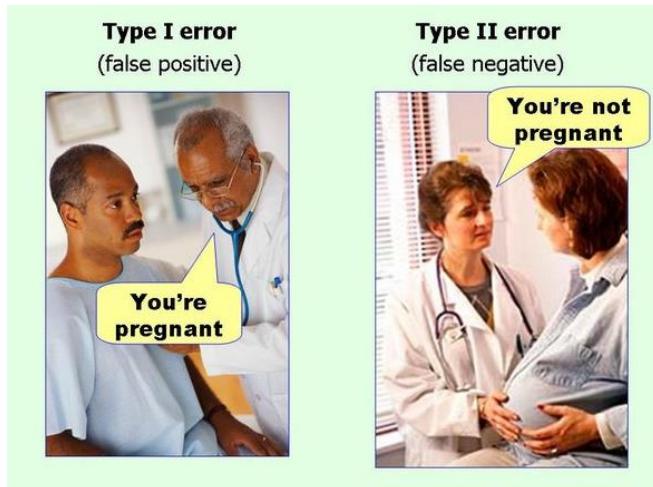
Diagnostic Feature Designer



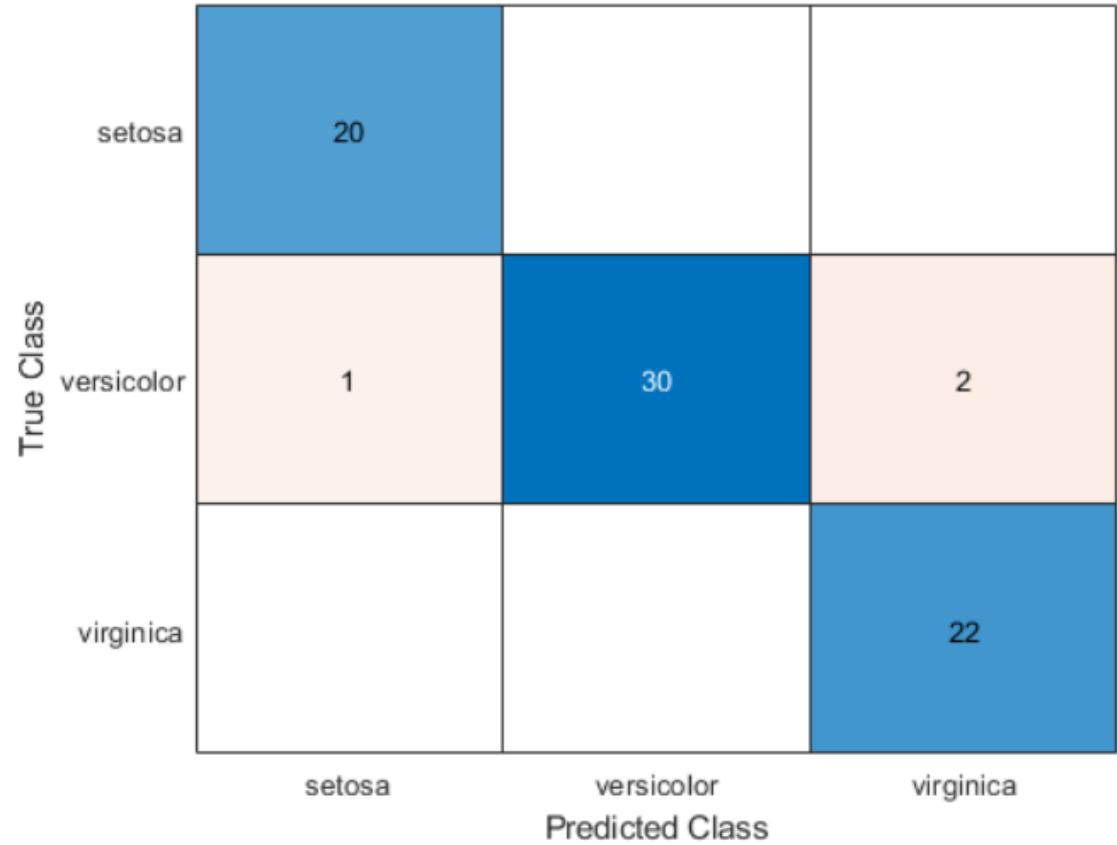
Classification Learner



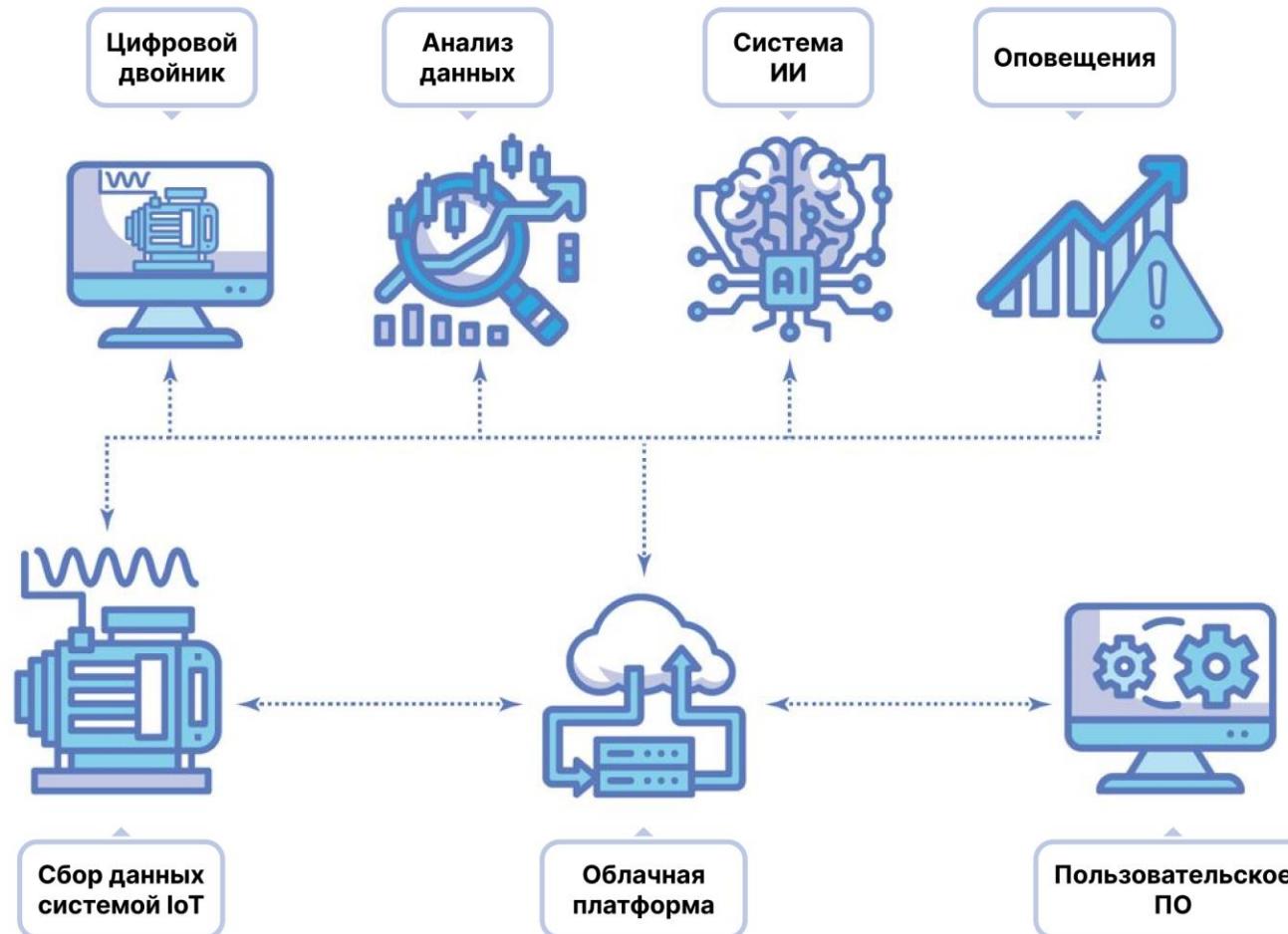
МАТРИЦА ПУТАНИЦЫ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ



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

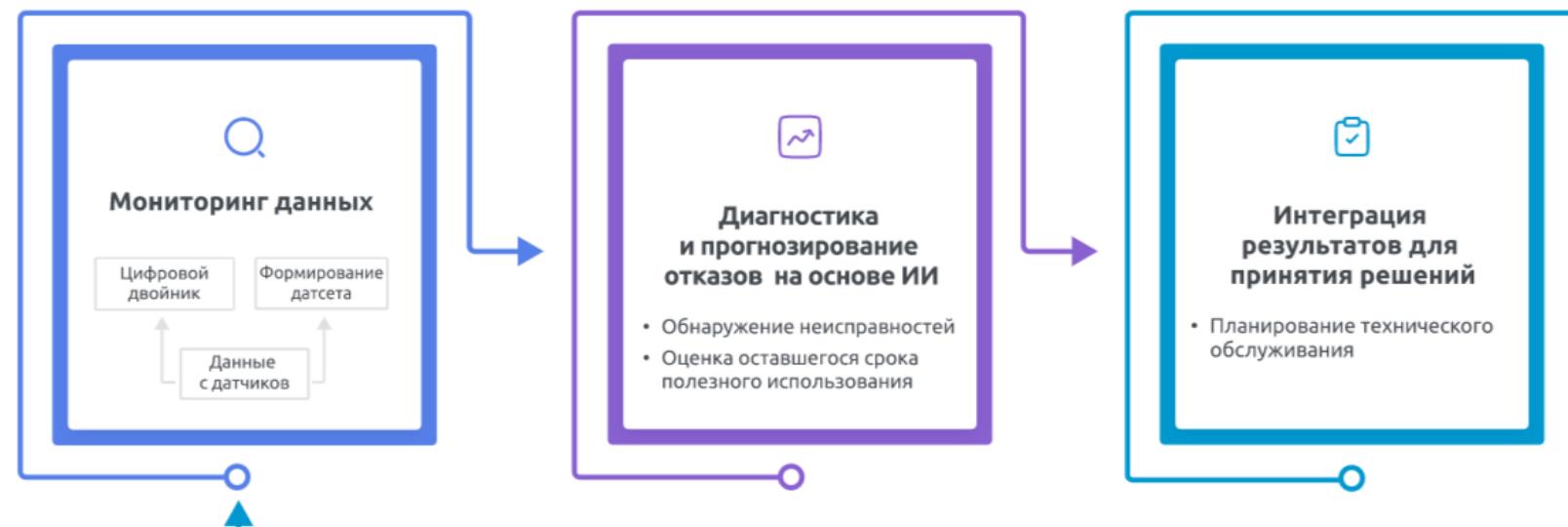


СИСТЕМА ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ: ДИАГНОСТИКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

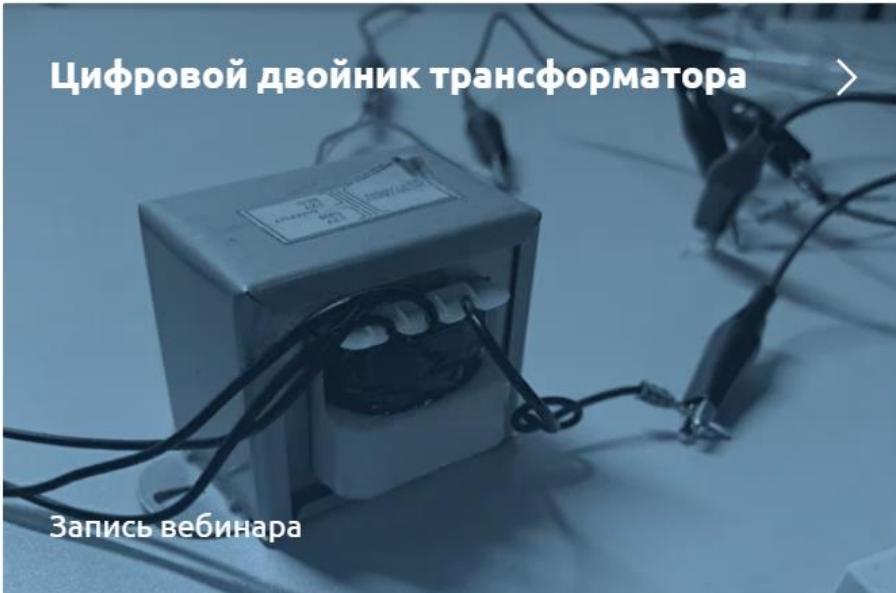


Планирование и контроль выполнения технического обслуживания

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



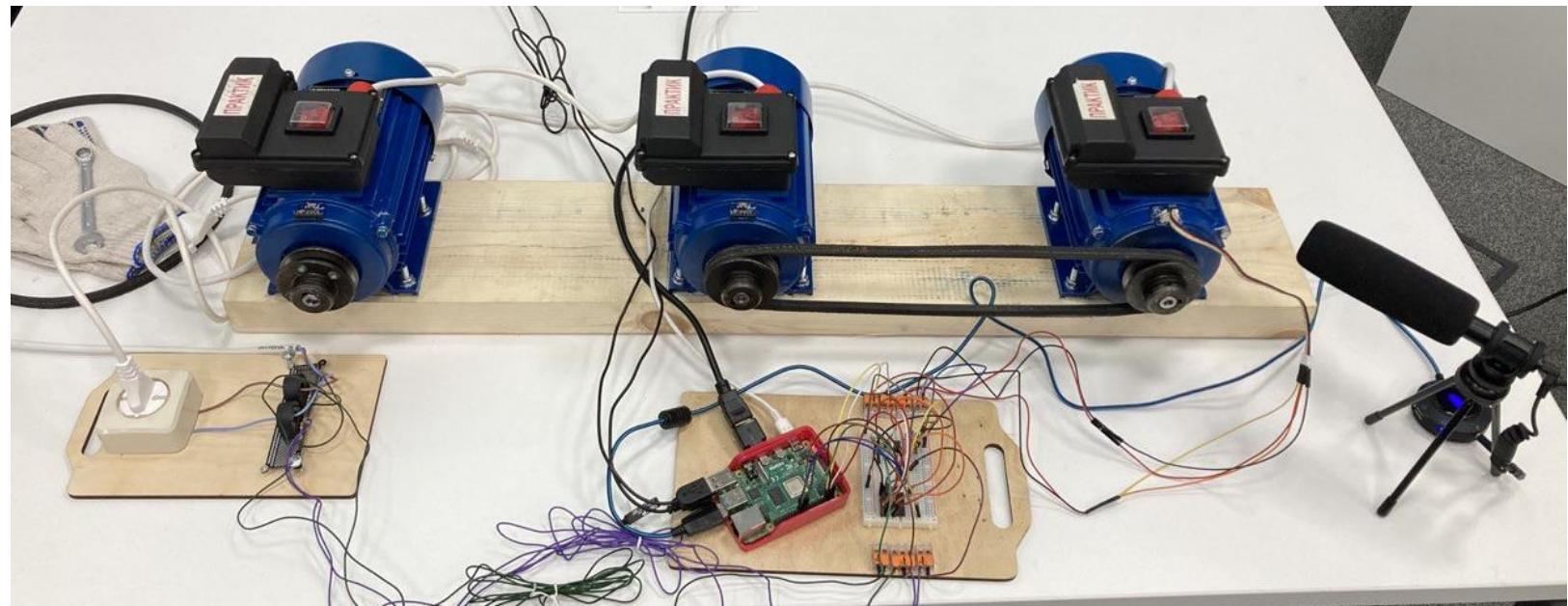
Полезные материалы из нашего опыта



Проект: система мониторинга и диагностики



Асинхронный двигатель

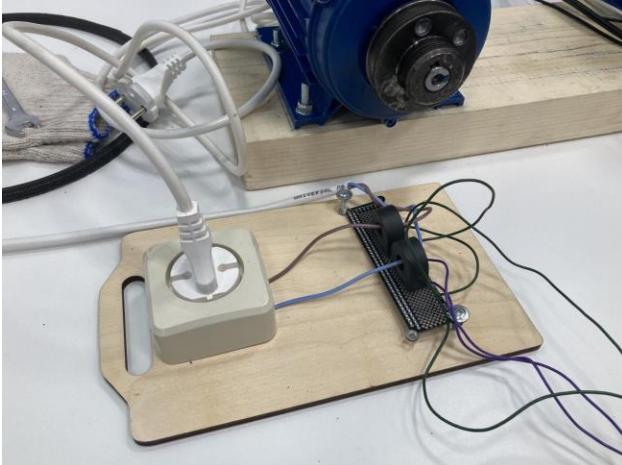


Электрические и механические неисправности

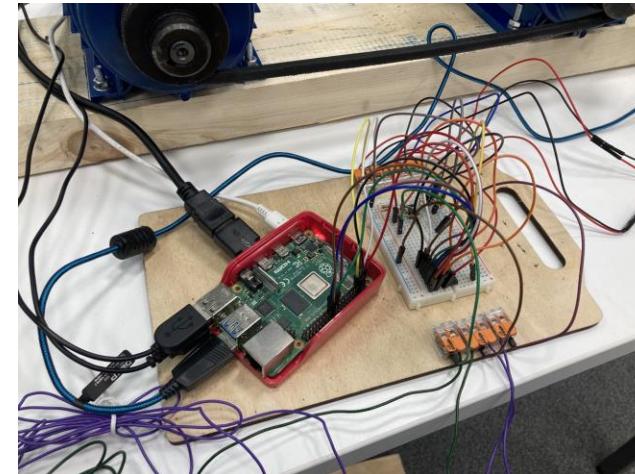
№	Название дефекта	
1	Ослабление крепления основания	S
2	Задевание крыльчаткой защитного кожуха	K
3	Повреждение обмотки статора	I
4	Дефект подшипника	B
5	Дисбаланс, вызванный повреждением шкива	P
6	Ослабленная ременная передача	D



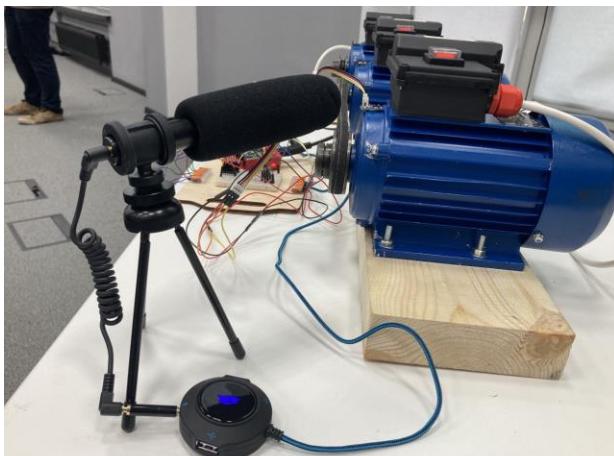
Мониторинг вибрационных, электрических и акустических сигналов



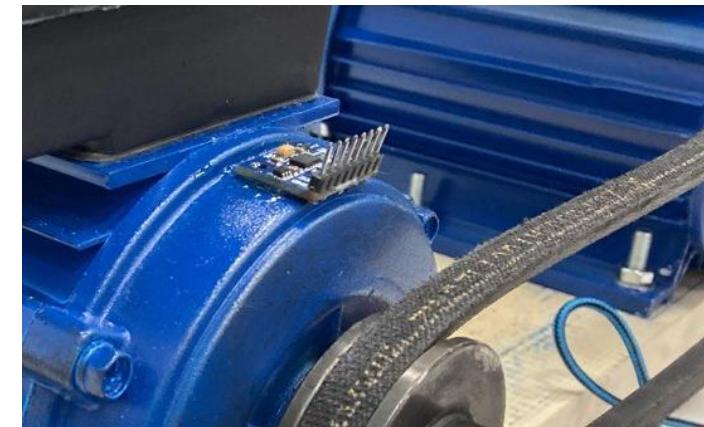
Датчик тока



Сбор данных



Микрофон

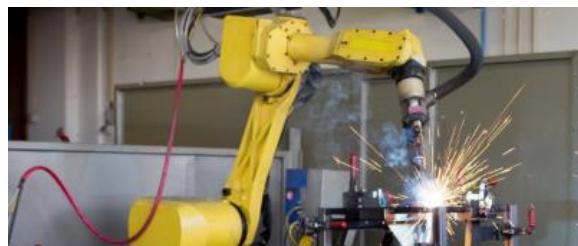


Акселерометр

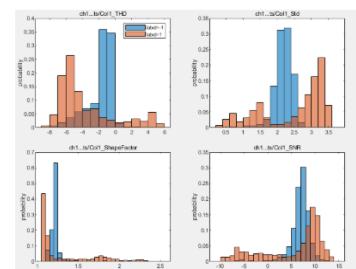
Этапы реализации системы предсказательного обслуживания



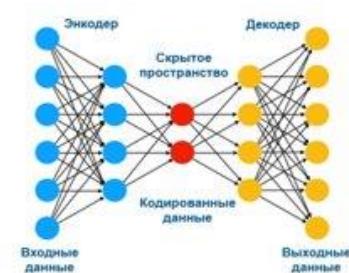
Датчики вибрации



Diagnostic Feature Designer



BiLSTM Autoencoder



Полезные материалы из нашего опыта

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



@EXPONENTA_AI





ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

exponenta.ru
tech@exponenta.ru

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