



## **ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ на базе НИУ «МЭИ»**

ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

**О применении программно-  
аппаратного комплекса «Цифровой  
двойник энергосистемы» для  
подготовки кадров для современной  
электроэнергетики**

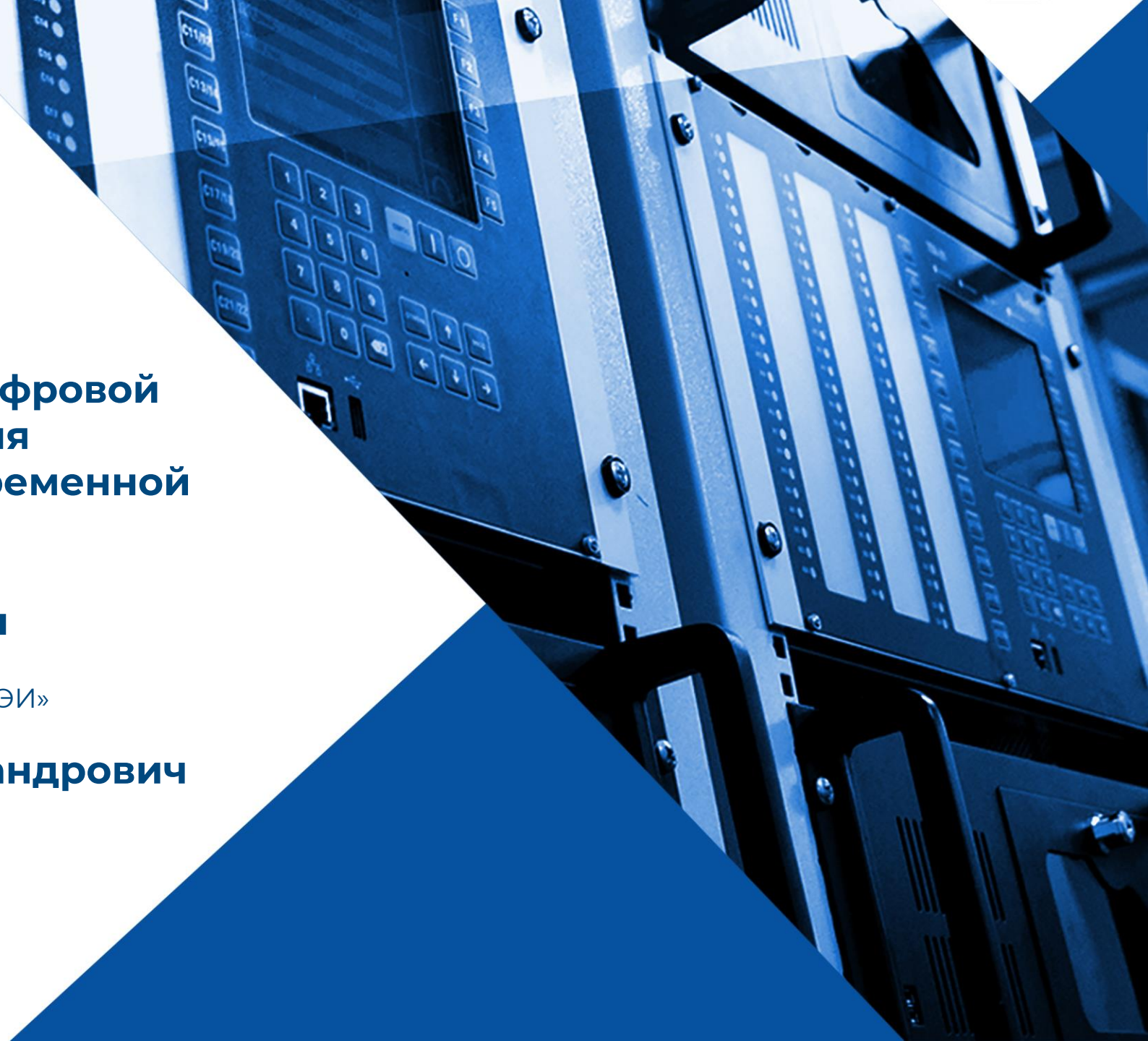
### **Малютин Михаил Сергеевич**

Инженер Центра НТИ МЭИ,  
ассистент каф. РЭиАЭ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

### **Волошин Александр Александрович**

Директор Центра НТИ МЭИ, к.т.н., доцент,  
зав. каф. РЭиАЭ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

**[WWW.NTI.MPEI.RU](http://WWW.NTI.MPEI.RU)**



# Что из себя представляет ПАК ЦДЭС?

## Особенности ПАК ЦДЭС:

- Моделирование электроэнергетических и электротехнических систем, в том числе в реальном времени
- Поддержка наиболее востребованных протоколов и файлов передачи информации
- Моделирование алгоритмов автоматических устройств
- Поддержка работы в облаке
- Открытая платформа приложений и сервисов



# Применение ЦДЭС для моделирования алгоритмов РЗА

- Шаг расчета логики в реальном времени 50 мкс
- Создание пользовательских элементов и библиотек
- Возможность реализации логики с разным шагом расчета
- Моделирование в контейнерах виртуальных устройств
- Библиотека логических элементов соответствует **МЭК 61131** с расширениями
- Библиотека логических узлов для виртуальных УРЗА соответствует **МЭК 61850**

## Библиотека элементов >>

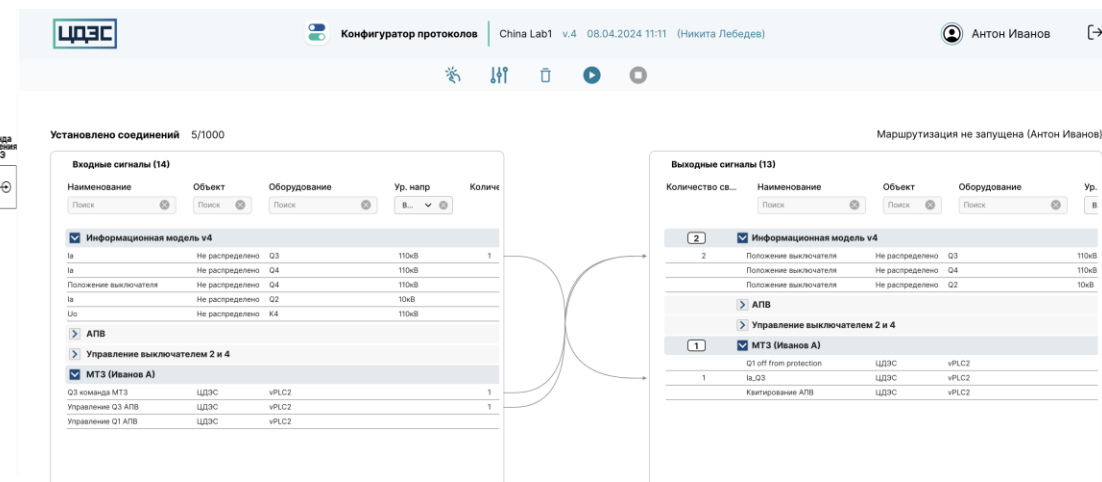
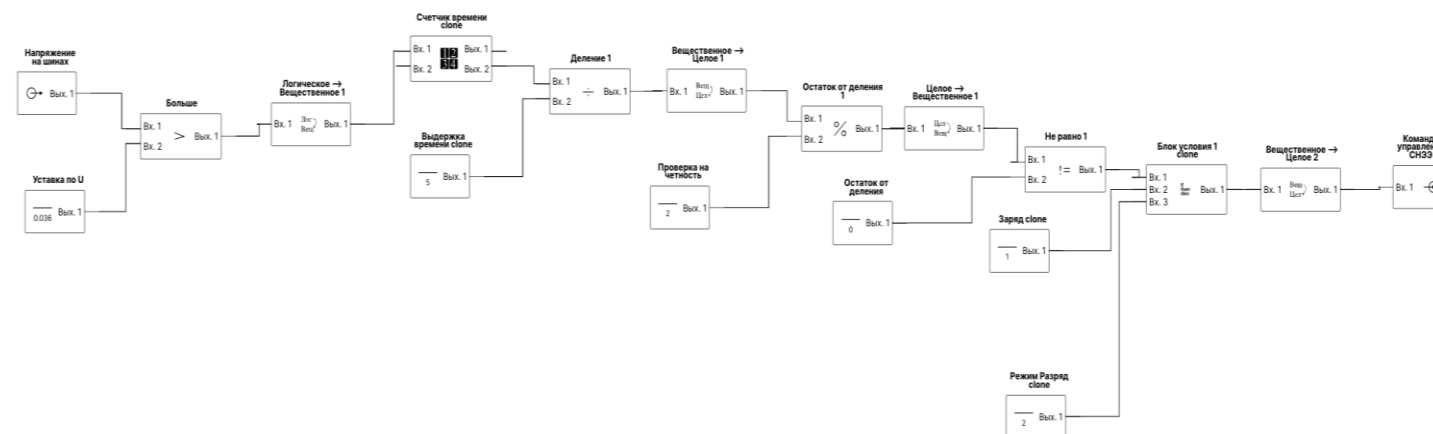
### Функциональные блоки ^

	Релейная функция
$e^{-ts}$	Запаздывание
Фурье	Преобразование Фурье
	D-триггер
	RS-триггер
	Наклонная с ограничениями
	Ограничитель
	Наклонная
	Детектор фронтов
	Мертвая зона

# Проведение лабораторных работ с помощью ЦДЭС

Алгоритм управления СНЭЭ для поддержания напряжения на шинах в заданном диапазоне

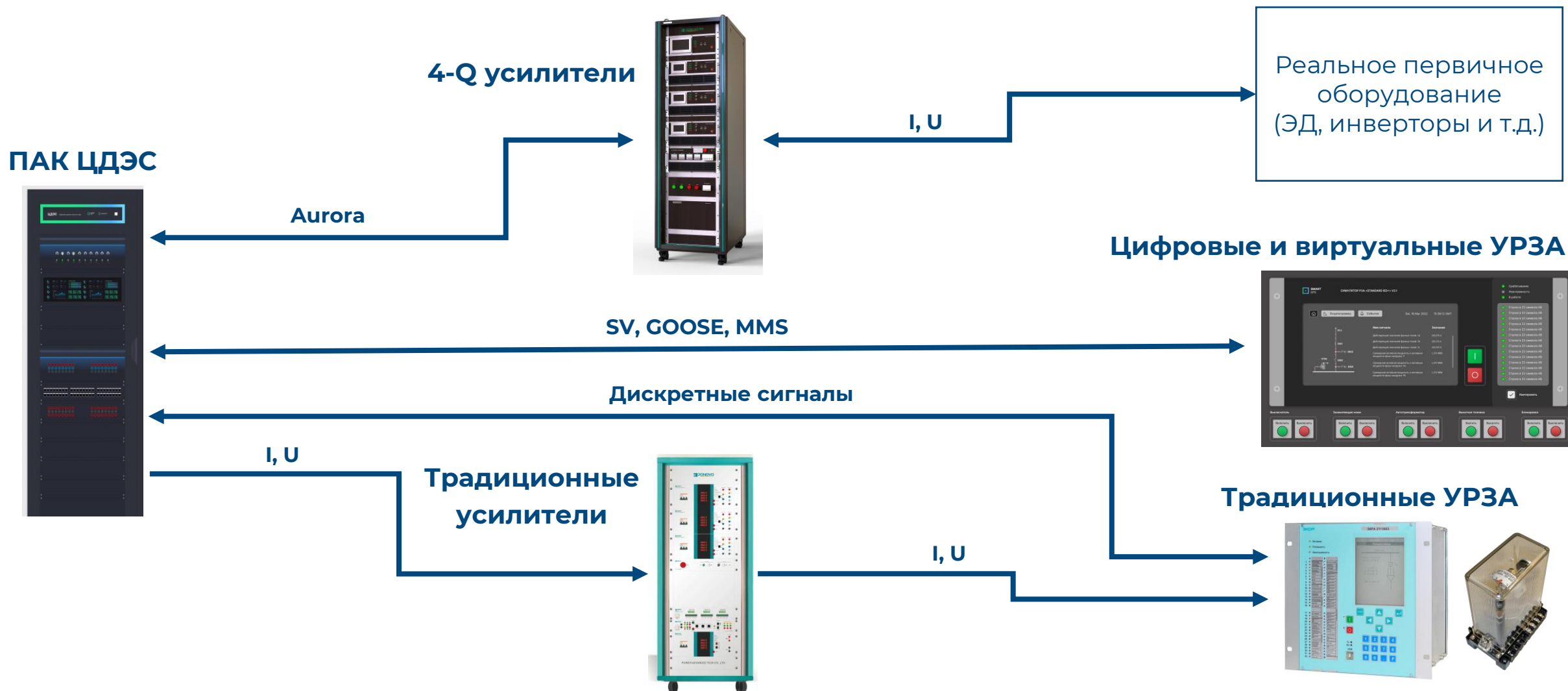
Ранжирование и привязка сигналов алгоритма



Для **автоматической** проверки правильности работы алгоритма студента использованы интерпретируемые дедуктивные **методы искусственного интеллекта – базы знаний** (на основе движка JBoss Drools).



# Взаимодействие с реальным оборудованием



# Как организован процесс при работе с цифровыми УРЗА?

## Этап 1. Самостоятельная работа студента:

- Настройка модели сети и выходных протоколов в ЦДЭС
- Расчет параметров срабатывания УРЗА
- Выбор режимов проверки УРЗА
- Параметрирование УРЗА и необходимого оборудования ЛВС
- Проведение опытов и ручная проверка правильности работы УРЗА

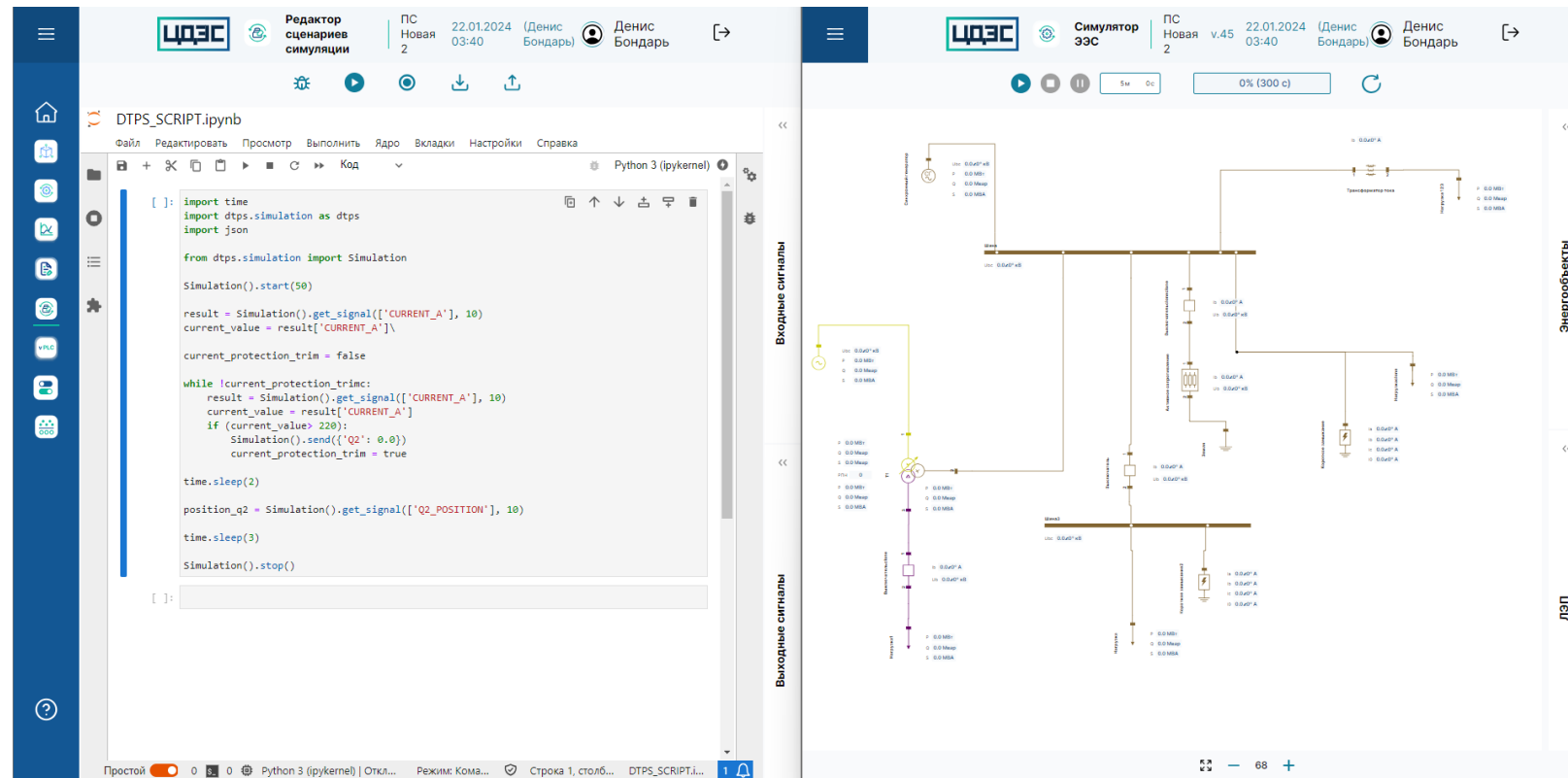
## Этап 2. Автоматизированная приемка работы преподавателем:

- Проверка правильности расчета и выставления в УРЗА параметров срабатывания
- Анализ параметров настройки и сигналов SV, GOOSE и MMS
- Функциональная проверка логики РЗА
- Анализ режима работы УРЗА по осциллограммам



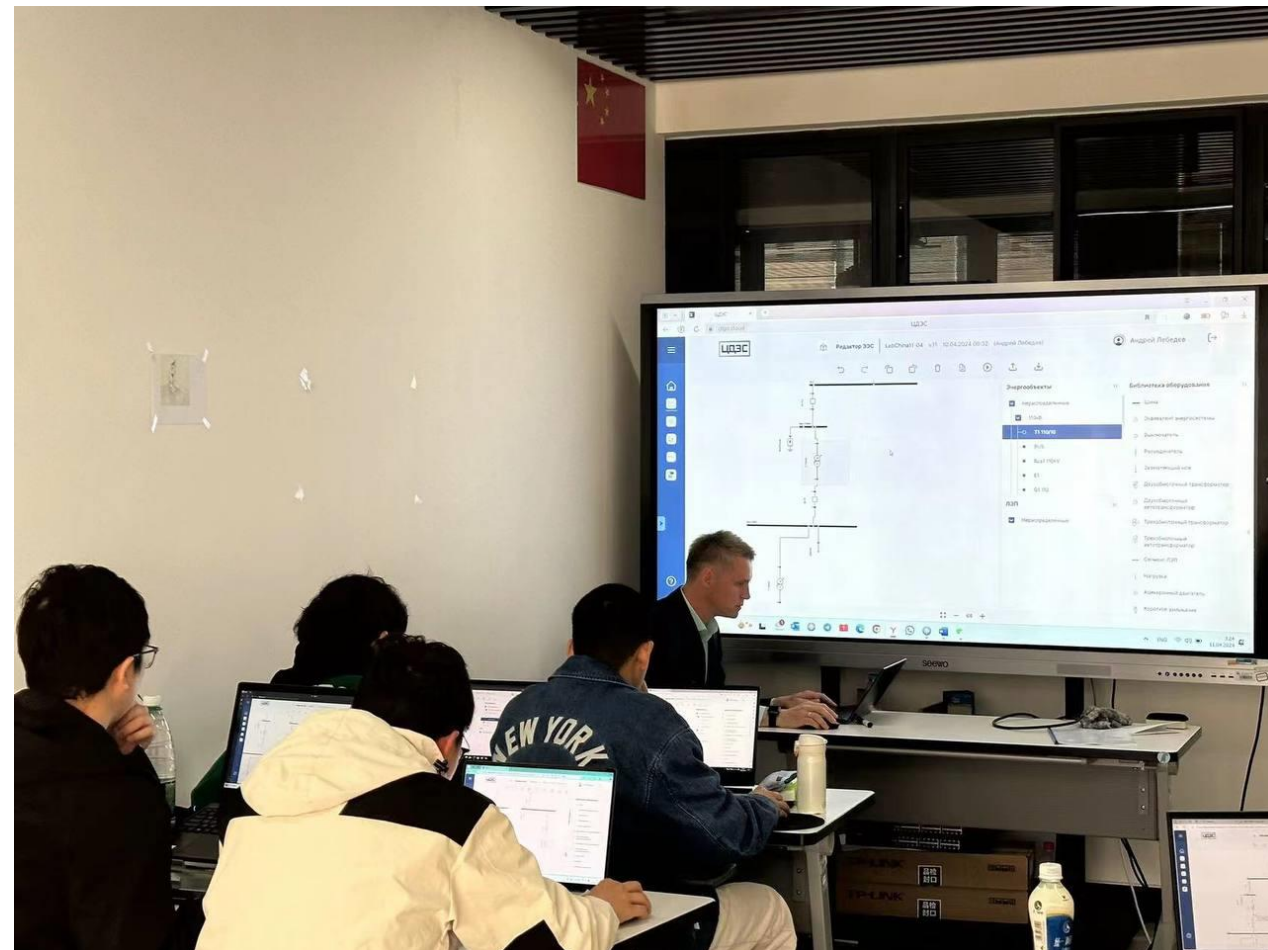
# Особенности использования ЦДЭС при проведении НИР

- Точное моделирование в реальном времени (замена RTDS)
- Поддержка скриптов на Python для управления симуляцией и анализа результатов
- Разработка собственных логических блоков на С
- Настраиваемые инструменты проверки разработанных алгоритмов
- Инструменты для расчета и анализа надежности электроснабжения



# Опыт использования ЦДЭС в учебном процессе

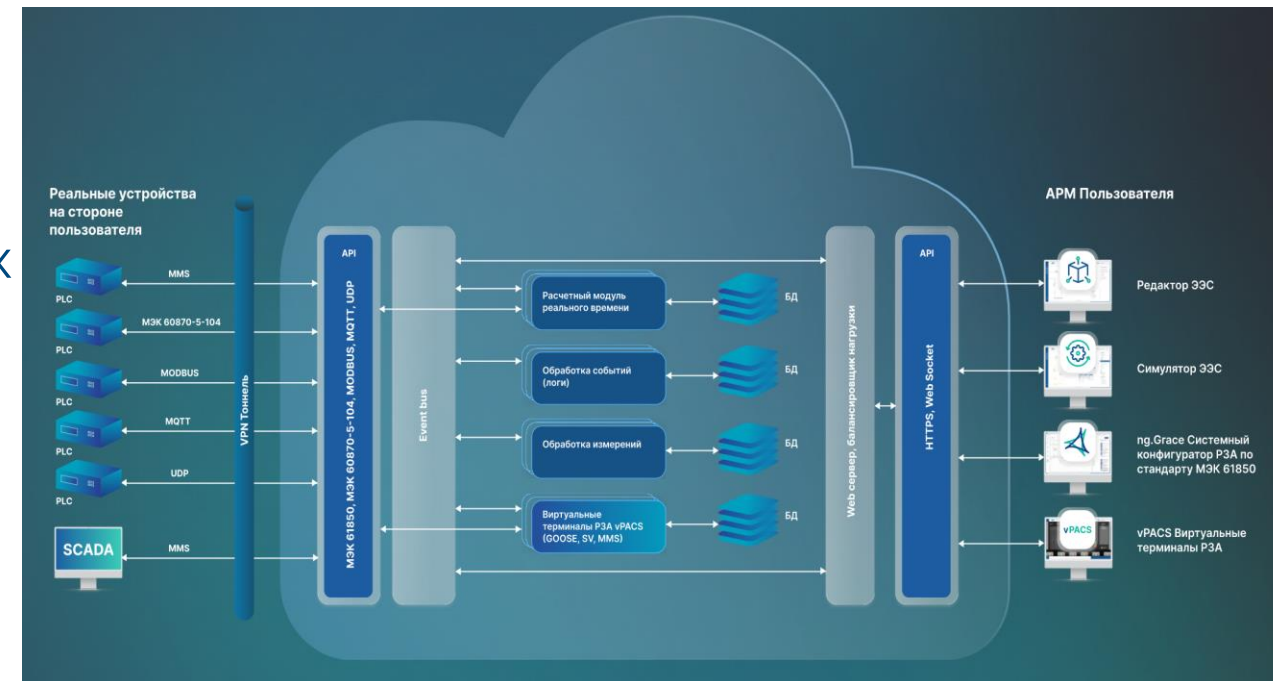
- Проведение лабораторных работ в Северокитайском электроэнергетическом университете в Пекине, Китай для международной группы из **10** студентов (**апрель 2024 г.**)
- Организация кибер-квеста с применением виртуальных УРЗА для специалистов РЗА, АСУ ТП, ИБ и диспетчеров (**октябрь 2023 г.**)
- Выполнение ВКР и магистерских диссертаций на кафедре РЗиАЭ в НИУ МЭИ (**7** студентов)
- Подготовка **8** студентов к олимпиаде «Цифровые технологии в электроэнергетике» на базе СКФУ (**декабрь 2023 г.**, г. Ставрополь)
- Перевод **4-х** лабораторных работ на кафедре РЗиАЭ в НИУ МЭИ с иностранного ПО на ЦДЭС
- Разработка **3-х** новых лабораторных практикумов для проведения работ на базе ЦДЭС
- Проведение вводного курса по применению ЦДЭС для преподавателей НИУ МЭИ (**декабрь 2023 г.**)





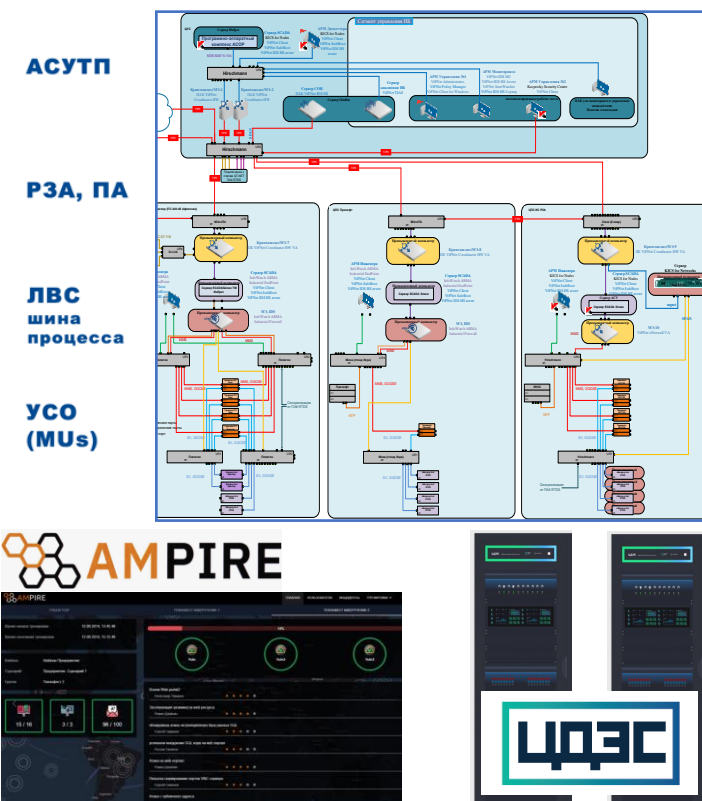
# Тренировки и обучение специалистов энергокомпаний

- Загрузка CIM-файлов реальных энергообъектов
- Имитация работы ОИК ДЦ/ЦУС и SCADA-систем уровня ПС
- Виртуализация устройств защиты, автоматики, управления и ЛВС
- Генерация сценариев в т.ч. с каскадно-развивающимися авариями
- Взаимодействие специалистов различных служб и иерархических уровней в моделируемых ситуациях



## Киберполигон на базе ЦДЭС и AMPIRE:

- **Киберучения** предоставляют организациям возможности проверить реальный уровень киберустойчивости, то есть готовности реагировать на кибер-инциденты и степень эффективности действий персонала, процессов и технологий для защиты
- Анализ результатов **киберучений** и принятие корректирующих мер позволит организациям повышать свою способность противостоять компьютерным атакам



## Выводы

1. **ЦДЭС готов к применению в учебном процессе в вузах**
2. ПАК ЦДЭС позволяет создавать кибер-физические лабораторные стенды
3. Применение ЦДЭС снижает нагрузку на преподавателя
4. Прделаны первые практические шаги по внедрению ЦДЭС в образовательный процесс в НИУ МЭИ
5. Функционал ЦДЭС превосходит возможности зарубежных моделирующих комплексов
6. ПАК ЦДЭС подходит для проведения тренировок и повышения квалификации специалистов различных служб
7. Возможность применения ЦДЭС для обучения в смежных с электроэнергетикой направлениях





## ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ на базе НИУ «МЭИ»

ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

# Спасибо за внимание!

### Малютин Михаил Сергеевич

Инженер Центра НТИ МЭИ,  
ассистент каф. РЗиАЭ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

### Волошин Александр Александрович

Директор Центра НТИ МЭИ, к.т.н., доцент,  
зав. каф. РЗиАЭ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

**Телефон:** +7 (926) 596-78-22

**email:** i@voloshinaa.ru

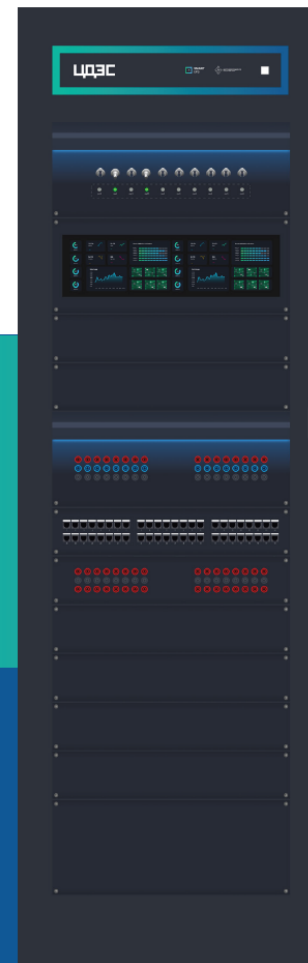
<https://цдэс.рф>



[WWW.NTI.MPEI.RU](http://WWW.NTI.MPEI.RU)



ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭНЕРГОСИСТЕМЫ



## Цифровой двойник энергосистемы

Российский  
моделирующий  
комплекс  
реального  
времени

Центр компетенций НТИ  
«Технологии транспорти-  
ровки электроэнергии и  
распределенных интеллект-  
уальных энергосистем»

НИУ «МЭИ»

ООО «Интеллектуальные  
электроэнергетические  
системы»