

## ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ на базе НИУ "МЭИ"

ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

# Разработка облачных сервисов для решения технологических задач предприятий электроэнергетики

Проблемы и решения

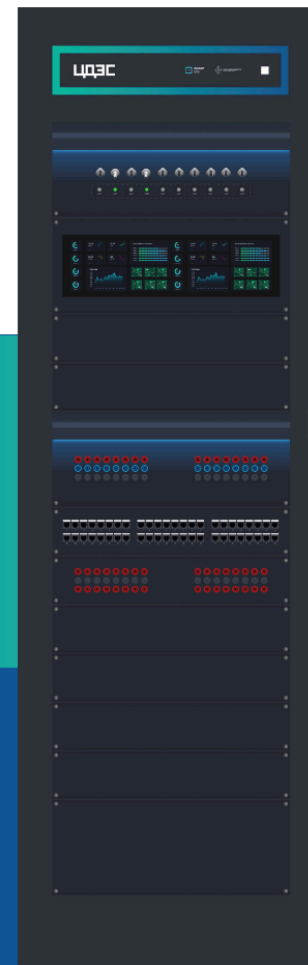
**Волошин Александр**

Директор Центра НТИ МЭИ

[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 интел-  
лектуальных энергосистем»

НИУ «МЭИ»

ООО «Интеллектуальные  
электроэнергетические  
системы»

# План доклада



1. Кратко о МЭИ
2. Что такое «технологические задачи» ?
3. При чем тут «облака»?
4. Какие проблемы могут быть решены за счет применения облачных решений?
5. Примеры разработки облачных решений для предоставления «технологических сервисов»
6. Опыт разработки и внедрения «промышленного облака» для защиты и автоматизации энергообъектов на базе **новой технологической платформы**

# 1. Кратко о МЭИ и кафедре РЭиАЭ



Более 20 тысяч студентов и аспирантов

Более 1,6 тысячи сотрудников

Партнеры: Россети, Росатом, Русгидро, Интер-РАО, ОЭК, Газпром энергохолдинг и др.

Опорный вуз ракетно-космической отрасли

**Базовая организация СНГ** по подготовке, профессиональной переподготовке и повышению квалификации кадров в сфере электроэнергетики

**Кафедра создана в ноябре 1943 года.**

**Первый заведующий - Академик Сергей Алексеевич Лебедев (1902–1974 гг.)**

создал 15 типов ЭВМ, начиная с ламповых (БЭСМ-1, БЭСМ-2, М-20) и заканчивая современными для того времени суперкомпьютерами на интегральных схемах



Университет Шанхайской Организации Сотрудничества

Входит в ТОП-20 ведущих российских вузов по версии Forbes (2021).

НИУ «МЭИ» входит в ТОП-10 технических вузов по уровню зарплат молодых специалистов (данные исследования SuperJob.Ru, 2022)

В 2020 году НИУ «МЭИ» прошёл независимую экспертную оценку по Модели Совершенства EFQM (European Foundation for Quality Management) и подтвердил уровень «Признанное совершенство» (5 звёзд).

# 1. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»

## «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных энергосистем»

1. Разработка ПО для создания цифровых двойников энергосистем и систем защиты и автоматики энергообъектов
2. Разработка ПО для расчета режимов энергосистем и оптимального синтеза проектных решений
3. Разработка облачных платформ и веб-приложений
4. Разработка ПО с применением методов машинного обучения, нейронных сетей, онтологий и методов логического вывода, мультиагентных систем
5. Разработка ПАК реального времени
6. Проведение киберучений для предприятий электроэнергетики
7. Предпроектное обследование, разработка, поставка, наладка и внедрение цифровых систем защиты и автоматики на энергообъектах (в том числе с применением методов ИИ).
8. Разработка решений по обеспечению ИБ объектов электроэнергетики



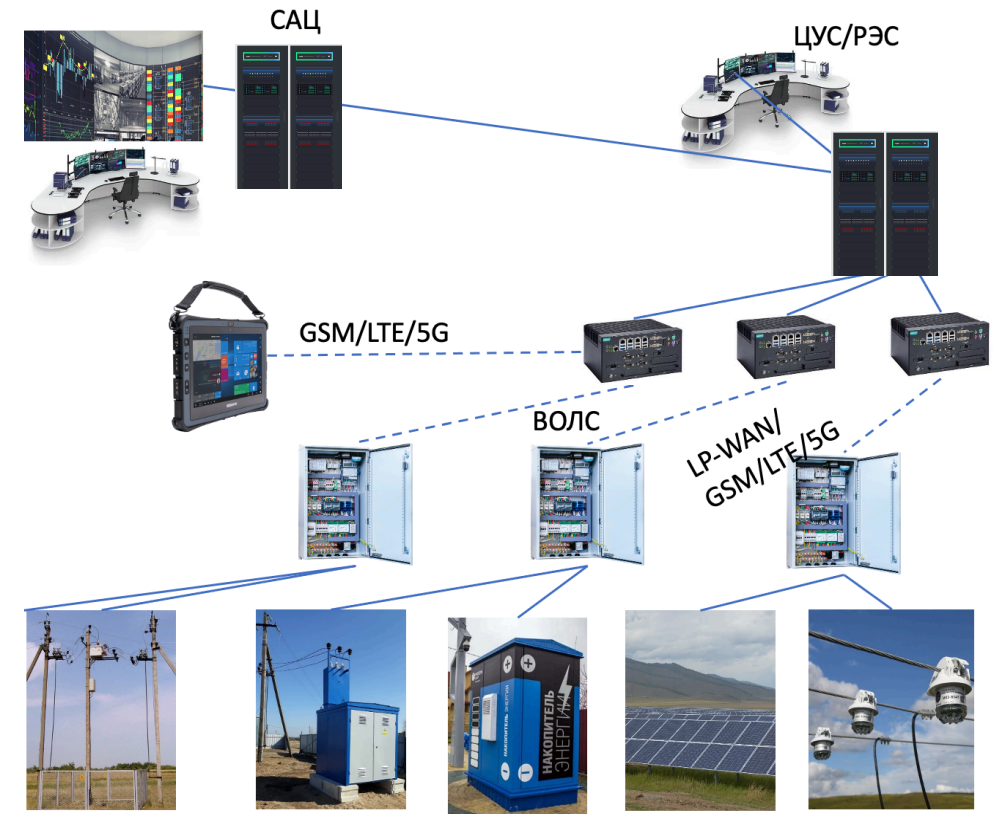
<https://nti2035.ru/technology/competence>

<http://nti.mpei.ru/>

## 2. Что такое «технологические задачи»?



1. Сбор, хранение и обработка технологической информации о состоянии оборудования
2. Расчет метрик о техническом состоянии энергообъектов и генерация оптимальных планов ремонтов оборудования на основе риск-ориентированной модели
3. Прогнозирование изменения технического состояния оборудования и режимов работы энергосистем
4. Расчет и прогнозирование показателей надёжности и вероятностей отказа оборудования и потребителей
5. Расчет оптимальных управляющих воздействий
6. Расчеты настроечных параметров для локальной автоматики на энергообъектах
7. Дистанционное управление энергообъектами



Очень похоже на IIoT ...

## 2. Что такое «технологические задачи»?



1. расчеты и оптимизация режимов
2. прогнозирование изменения состояния оборудования
3. расчет вероятности отказов
4. расчет потенциальных ущербов
5. расчет рисков
6. оптимизация планов ремонтов
7. синтез оптимальных схем развития сети
8. расчет показателей надежности
9. расчет метрик технико-экономической эффективности
10. планирование и управление ресурсами



1. мониторинг и сигнализация
2. расчеты и оптимизация режимов
3. дистанционное управление
4. адаптивная настройка автоматики и защиты на объектах
5. автоматизированный контроль правильности функционирования систем защиты и автоматики

## 2. Что такое «технологические задачи»?



**Для выполнения всех технологических задач нужно:**

1. Информация о составе технологического оборудования и накопленные данные об изменении его состояния
2. Текущая информация о режиме работы оборудования
3. Расчеты и оптимизация режимов работы и топологии (схемы) электрических соединений

Перемножение матриц в несколько десятков тысяч строк и столбцов

Специальные алгоритмы достоверизации входных данных

Большие данные и машинное обучение

**Количественная оценка:**

1. Количество единиц оборудования – несколько **сотен миллионов** (больше чем аудитория Рунета!)
2. Количество параметров на единицу оборудования – **200 – 300 сигналов**
3. Период хранения данных – **25-50 лет**
4. Темп обновления данных - от **1 сек**
5. Периодичность выполнения расчетов – от 30 мин до 1 мес.

Специальные алгоритмы прогнозирования и оптимизации структуры и параметров

Высоконагруженная система

### 3. При чем тут «облака»?



1. Пирамида 2.0
2. СК-11
3. АСМ РЗА
4. Котми-14
5. ОИК Диспетчер
6. СУПА/ТОРО
7. ОЖУР
8. И др.

#### 80% функций одинаковы:

1. Управление пользователями
2. Управление БД
3. НСИ
4. Паспортизация оборудования
5. Прием/передача данных
6. И проч.

Покупая коробочные решения (4-10 продуктов) энергокомпании не эффективно тратят ресурсы

В эксплуатации также приходится выполнять однотипные операции на каждом программном-комплексе при управлении обновлениями и в эксплуатации

**Применение «облачных» решений позволит построить эффективные системы за счет переиспользования однотипных сервисов и гибкого выделения аппаратных ресурсов**





# 3. Какие проблемы могут быть решены за счет применения облачных решений?



## Проблемы:

1. Высокая стоимость ПТК для коробочных решений – для каждой коробки «свой ПТК» под максимальный пик производительности
2. Выполнение одних и тех же функций и хранение одних и тех же данных в разных «коробочных решениях»
3. Необходимость полной перестройки ПТК при масштабировании и развитии
4. Большой объем OPEX при эксплуатации «коробочных» решений – управление обновлениями
5. Необходимость вывода из работы ПТК при расширении/обновлении/модернизации/масштабировании

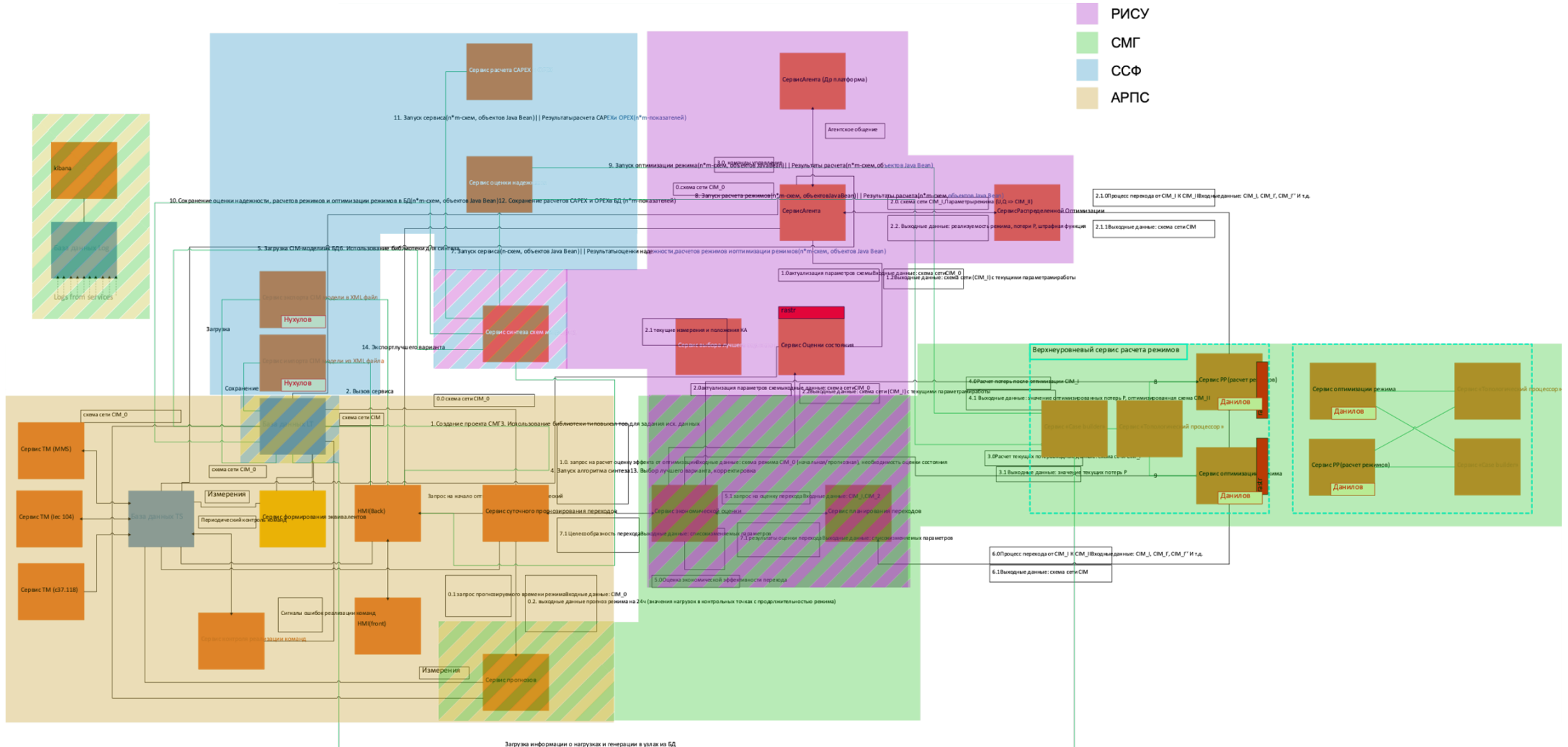
## Возможности:

1. Общее использование аппаратных ресурсов
2. Общие мастер-хранилища данных и общие сервисы для разных технологических задач
3. Гибкое масштабирование в облаке с ростом нагрузки и объема вычислений
4. Универсальные подходы к управлению обновлениями и в эксплуатации
5. Проведение расширения/обновления/модернизации/масштабирования на работающей системе без вывода из работы

# 4. Примеры разработки облачных решений для предоставления «технологических сервисов»



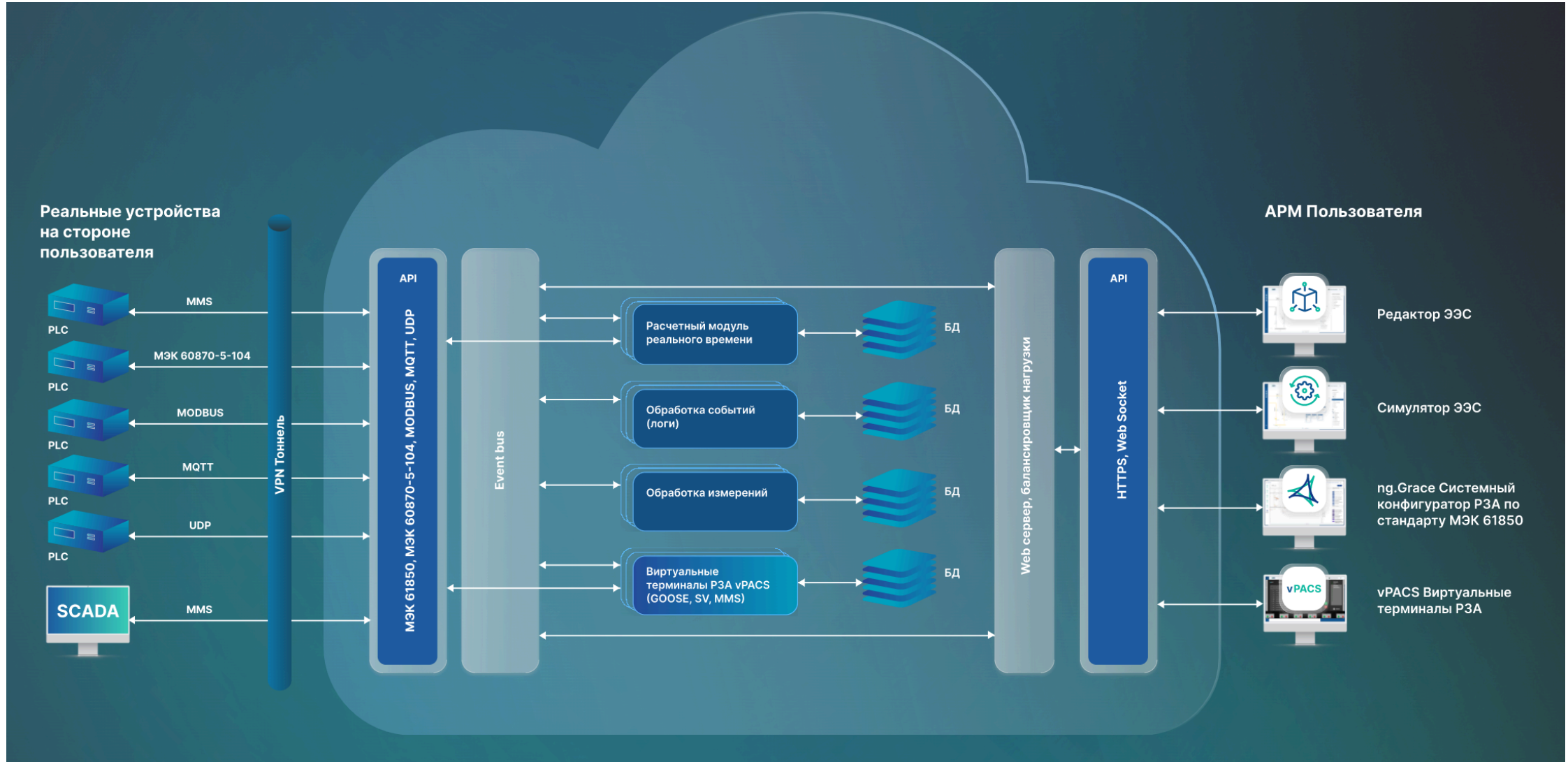
## Цифровой двойник энергосистемы



# Цифровой двойник энергосистемы – облачная платформа предоставления цифровых сервисов



1. Единая платформа для всех задач/приложений (Domain Driven Design)
2. Передача данных между задачами/приложениями по общей шине данных (Event Driven Architecture)
3. Облачные технологии (Docker + Kubernetes, CI/CD, авто-масштабирование, авто-восстановление, WebUI)
4. Единая информационная модель = CIM в основе + гармонизация с МЭК 61850
5. Гибкая ролевая модель пользователей
6. Встроенные средства обеспечения ИБ
7. Поддержка стандартов – МЭК 60870-6 IEC61850/TASE.2, МЭК 61850, МЭК 60870-5-104, OPC UA, Modbus и др.
8. Поддержка беспроводных способов передачи информации (LP-WAN, GSM, LTE, 5G)
9. Моделирование режимов и симуляция работы алгоритмов релейной защиты и автоматики
10. Моделирование информационных систем для управления ИБ
11. Онтологии и методы логического вывода, машинное обучение и нейросети, мультиагентные системы, продвинутые методы оптимизации режимов





## Основные применяемые технологии

### Применяемые методы

- Алгоритмы оптимизации
- Мультиагентные системы
- Генетические алгоритмы
- Нейронные сети
- Базы знаний и механизмы логического вывода
- Генерация кода на основе моделей

### Инструменты разработки



Private Industrial Cloud



### Поддержка стандартов и протоколов

- МЭК 61850
  - GOOSE
  - SV
  - MMS
- МЭК 60870-5-104
- IEEE C37.118
- OPC UA
- MQTT
- REST API
- FIPA
- CIM (МЭК 61970, МЭК 61968)

**ЦДЭС** | Владислав Владимирович

### Проекты

Название	Исполнитель	Дата начала	Завершено	Дата завершения
Максимов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации	Владислав Владимирович	08.18.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Чарнов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации	Владислав Владимирович	11.17.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Семёнов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации	Владислав Владимирович	11.17.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Арибутов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации	Владислав Владимирович	11.18.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Част	Владислав Владимирович	11.18.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Кашкин	Владислав Владимирович	09.15.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Эльбрус 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации	Владислав Владимирович	08.14.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Белая	Владислав Владимирович	11.13.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022
Муромцев 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации	Владислав Владимирович	11.13.2022	Владислав Владимирович	08.18.2022

#### Загруженность ЦДЭС

Топ 5 сотрудников

- Сист. Администрирование: 14%
- Владислав Владимирович: 48%
- Александр Петров: 26%
- Алексей Ткачев: 14%

Топ 5 проектов

- Максимов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации: 81 час
- Чарнов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации: 84 час
- Кашкин 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации: 63 час
- Част: 44 час
- Семёнов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации: 42 час

**Добавить проект**

**ЦДЭС** | Редуктор ЭЭС | Арибутов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации | v.0001 | 21.12.2023 | 14:17 | Владислав Д.А.

#### Энергообъекты

- 220 кВ
- 110 кВ
- 10 кВ
- 0,4 кВ

#### Библиотека оборудования

- Выбор нового устройства
- Дублирование устройства
- Свойства дат
- Нормы
- Аварийная деталь
- Аварийная замена
- Удалить

**ЦДЭС** | Симулятор ЭЭС | Арибутов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации | v.0001 | 21.12.2023 | 14:17 | Владислав Д.А.

#### Энергообъекты

- 220 кВ
- 110 кВ
- 10 кВ
- 0,4 кВ

#### Параметры

Настройка параметров для выбранного устройства.

**ЦДЭС** | Симулятор ЭЭС | Арибутов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации | Владислав Владимирович

### Осциллограммы

- Осциллограмма тока фаз А
- Осциллограмма тока фаз В
- Осциллограмма напряжения фаз А
- Осциллограмма напряжения фаз В
- Осциллограмма напряжения фаз С

#### Энергообъекты

- 220 кВ
- 110 кВ
- 10 кВ
- 0,4 кВ

#### ЛЭП

- ВЛ Паран-Еврос
- ВЛ Паран-Тартит
- ВЛ Паран-Челюскин
- ВЛ Паран-Тартит
- Нереализованные

**ЦДЭС** | События | Арибутов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации | v.0001 | 21.12.2023 | 14:17 | Владислав Д.А.

Время	Наименование	Значение	Тип	Источник
00:00:00	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выкл)	Источник (действие пользователя/пользователя)
00:00:00	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выкл)	Источник (действие пользователя/пользователя)
00:00:00	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выкл)	Источник (действие пользователя/пользователя)
00:00:00	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выкл)	Источник (действие пользователя/пользователя)
00:00:00	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выключатель ВТ включен)	Наименование (выкл)	Источник (действие пользователя/пользователя)

**ЦДЭС** | Редуктор ЭЭС | Арибутов 110/10 кВ проект подстанции для демонстрации | v.0001 | 21.12.2023 | 14:17 | Владислав Д.А.

### Параметры

Настройка параметров для выбранного устройства.

Действующее значение индикатора напряжения, кВ

Угол фазы А, град.

Активное сопротивление ПЛ, Ом

Активное сопротивление ОЛ, Ом

Активное сопротивление ПЛ, Ом

Активное сопротивление ОЛ, Ом

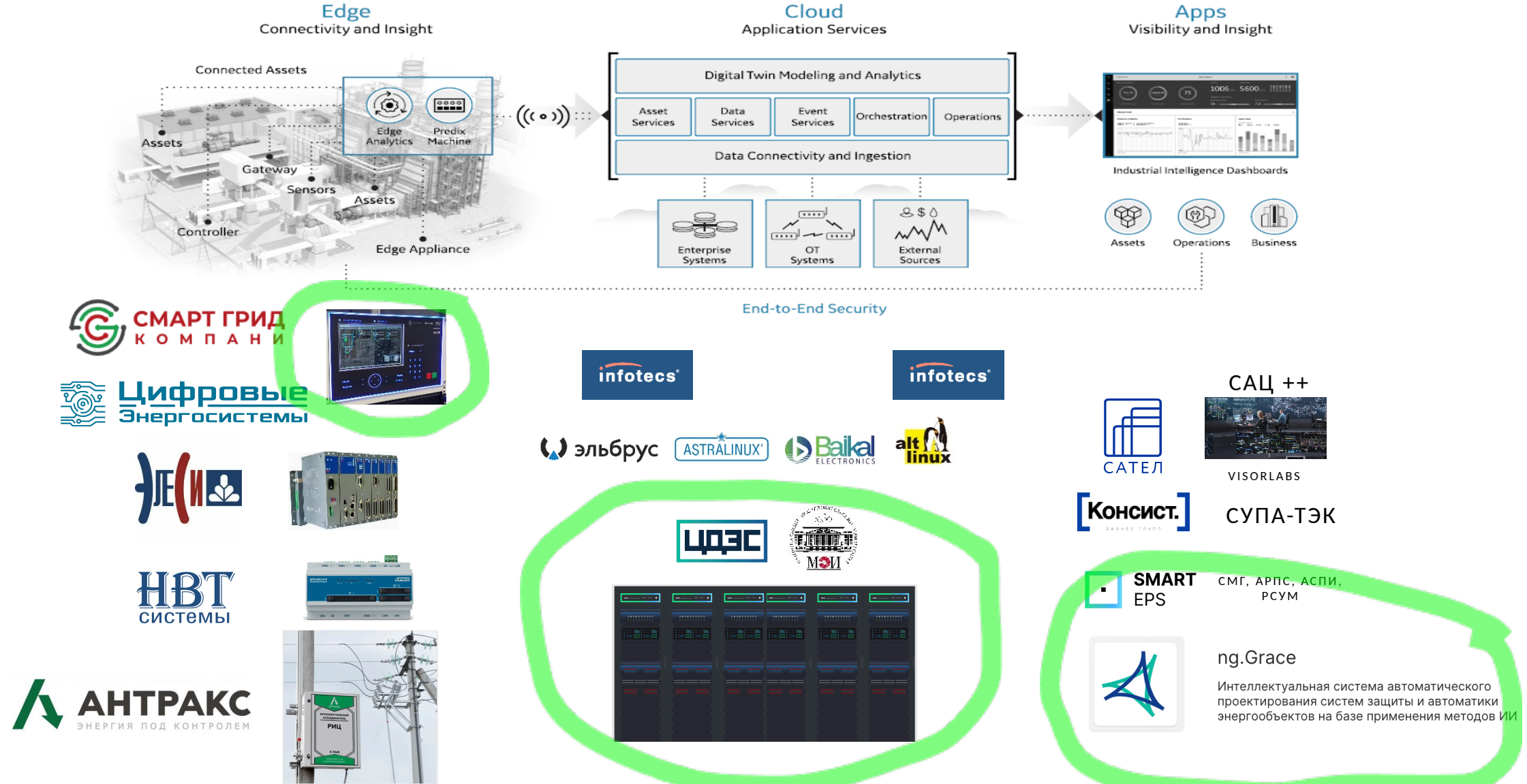
Активное сопротивление ПЛ, Ом

Активное сопротивление ОЛ, Ом


Отмена | Сохранить










# Архитектура платформы ЦДЭС и экосистема





1. Управление пользователями и проектами
2. Редактор схем
3. Управление симуляцией
4. Графики
5. Журнал событий
6. Осциллограммы
7. Конфигуратор протоколов передачи данных
8. РМРВ – расчетный модуль реального времени
9. РМКП – расчетный модуль квазипереходных процессов
10. Модули протоколов: GOOSE, SV, MMS, МЭК104, С37.118, Modbus TCP, MQTT, OPC, UDP и AURORA
11. Модули ввода\вывода дискретных и аналоговых сигналов
12. Системный конфигуратор цифровых систем защиты и автоматики по стандарту МЭК 61850 
13. Конфигуратор логики PLC по стандарту МЭК 61131
14. Виртуальные терминалы РЗА
15. Виртуальные PLC
16. Пакетная симуляция схемно-режимных сценариев и скрипты
17. Библиотека элементов

1. Анализ режимов и оптимальный синтез схем электрических сетей 
2. Прогнозирование и оптимизация режимов энергосистем в режиме он-лайн 
3. Автоматический адаптивный расчет уставок защит и автоматики 
4. Автоматическая проверка правильности проектных решений по РЗА 
5. Генерация исполняемого кода для PLC
6. Оптимальное планирование ТОиР на основе риск-ориентированного подхода 
7. Автоматизированное проведение киберучений и анализ последствий компьютерных атак
8. Мультиагентное моделирование коммерческого взаимодействия субъектов 
9. Автоматизированное проведение обучающих занятий для ВУЗов 



Еще раз о концепции

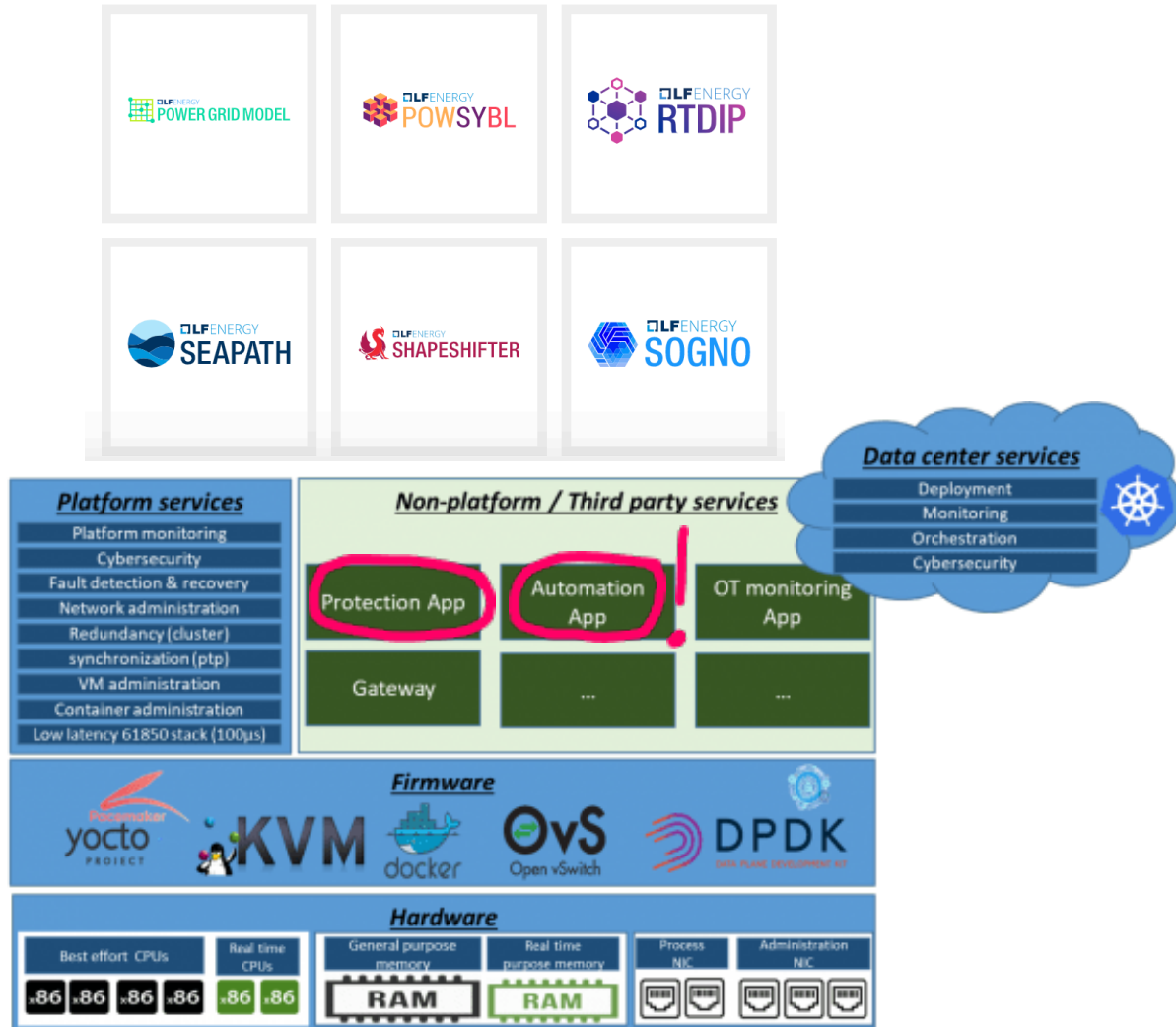
# Private Industrial Cloud

# Новая технологическая платформа – Private Industrial Cloud

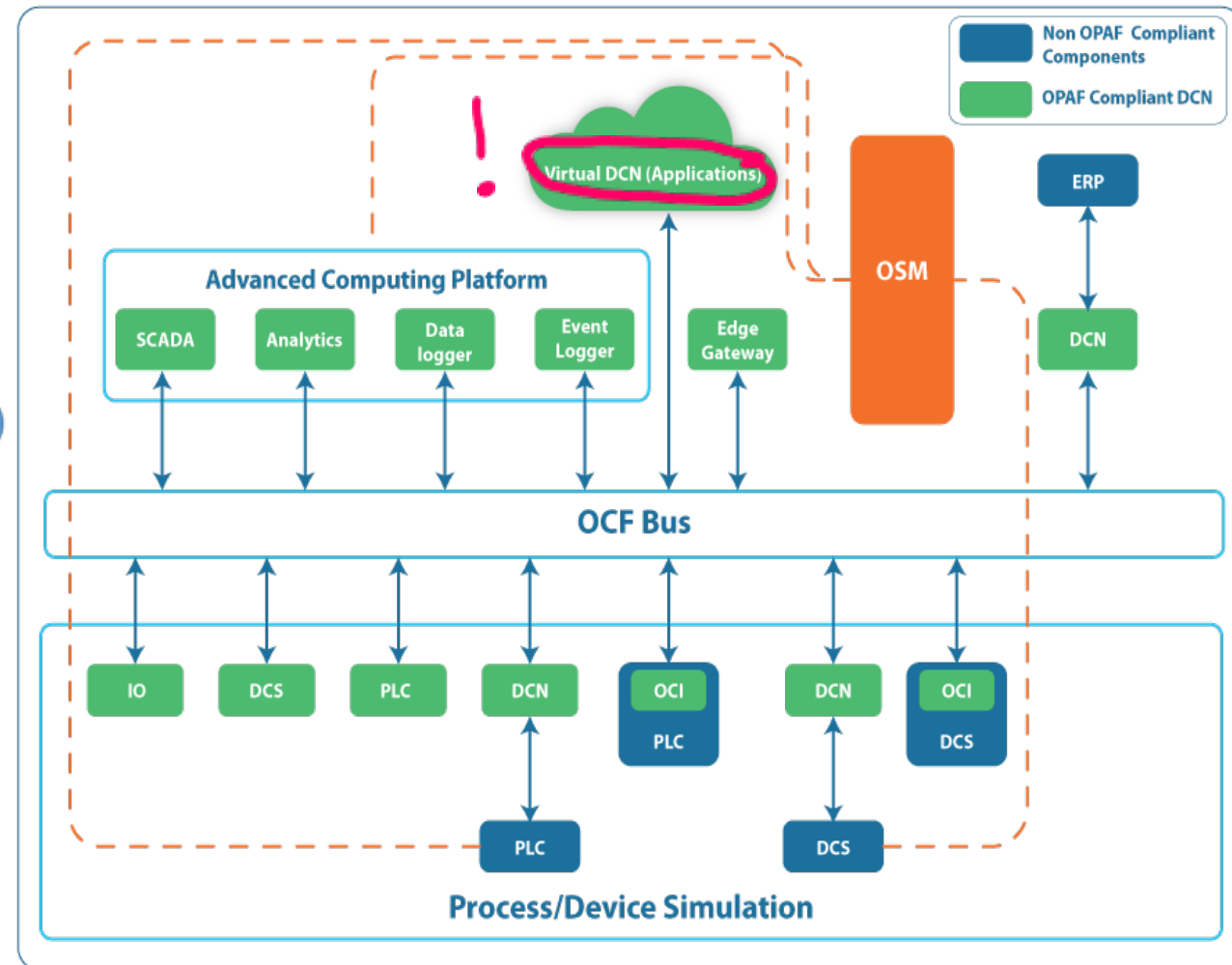


ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ ИТИ  
на базе НИУ "МЭИ"

## Linux Foundation Energy



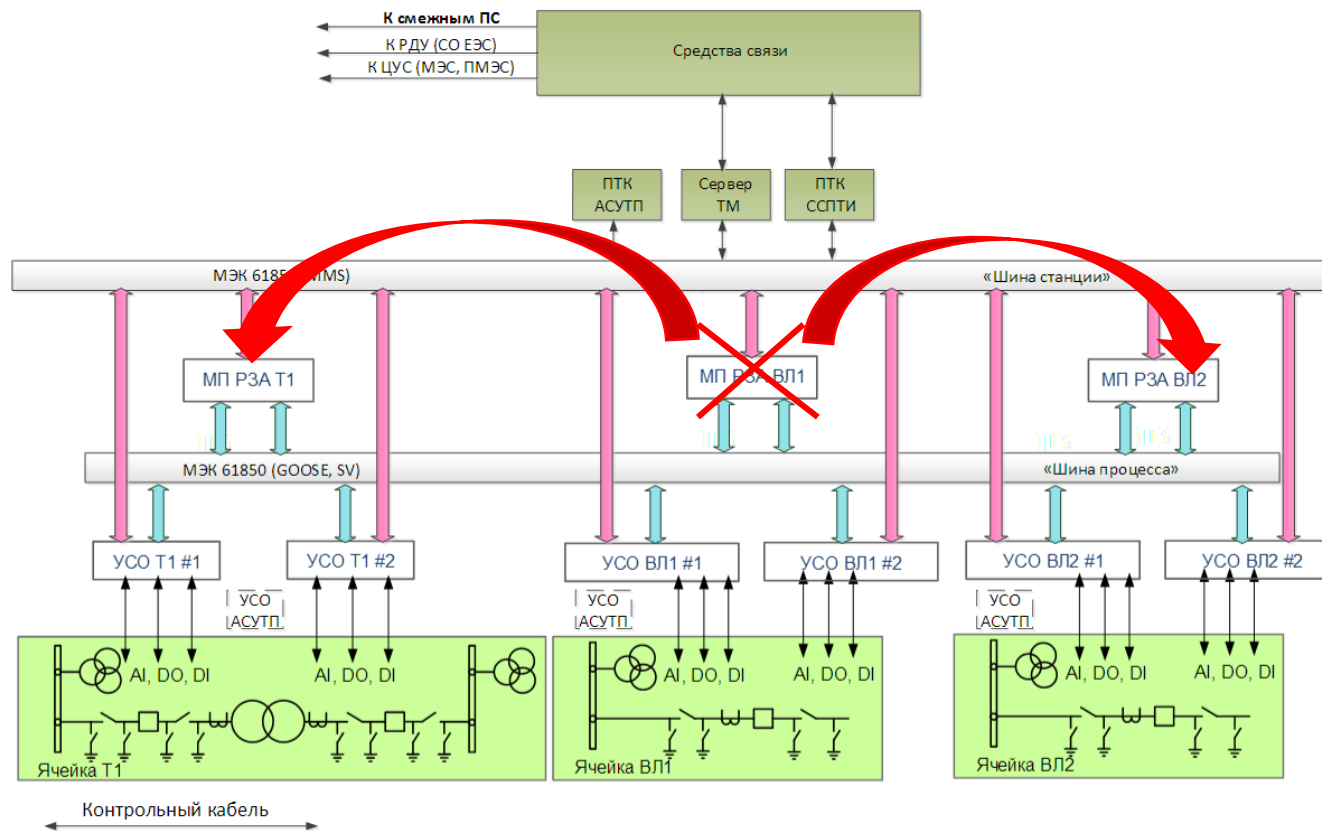
## Open Process Automation Standard



# Новая технологическая платформа «NeuralGrid» для создания «промышленного облака»



ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ  
на базе НИУ "МЭИ"



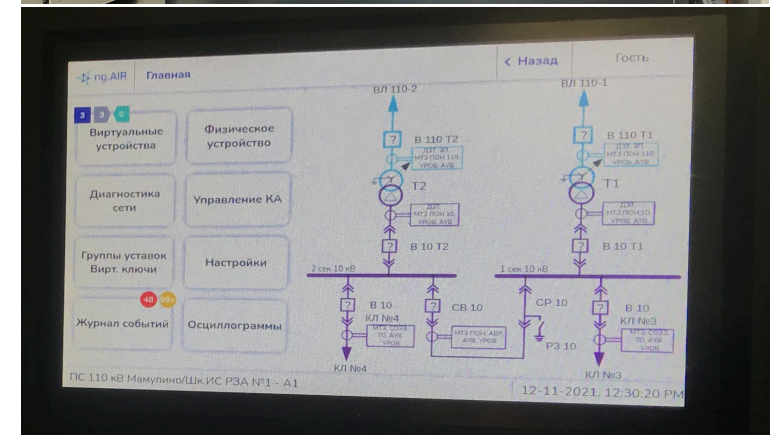
1. Минимальное количество устройств (1 терминал РЗА – 1 защищаемый элемент).
2. Самонастройка, самоорганизация, самовосстановление.

При отказе устройства его функции автоматически перераспределяются по другим устройствам, находящимся в работе, информационные потоки перенаправляются по шине станции. Перемещение функции (время восстановления при отказе) занимает 80 мс. (подтверждено испытаниями)

# Интеллектуальная система защиты и автоматики – «промышленное облако»



ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ  
на базе НИУ "МЭИ"



В опытной эксплуатации с 2020 года!



## Заключение

1. Облакам нет альтернативы
2. Для промышленности нужны особые подходы для построения облачных архитектур – *m2m отличается от HMI*
3. Вопросы доверия при использовании open source компонентов?
4. Гибкие методологии разработки с итерационными подходами, с проверкой гипотез в «продакшене» не очень подходят для энергетики, т.к. нет права на ошибку + стоимость переделки очень высока
5. Нужны специальные практики, методологии и САПР (моделирование и расчеты) для разработки архитектур облачных приложений: в настоящее время более 50% разрабатываемых облачных решений требуют изменения архитектуры в конце периода разработки!!!

Без внятного тз –  
результат хз



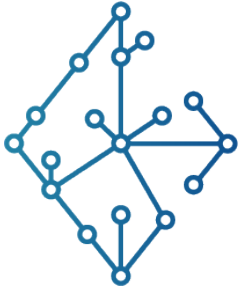
# Прогноз 2035



ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ  
на базе НИУ "МЭИ"

1. Широкое применение облачных решений в энергетике
2. Применение методов ИИ для генерации оптимальных решений на всех стадиях ЖЦ, постановка задач и описание требований на естественном языке – применение Больших Языковых Моделей в промышленности !
3. Появление решений **Private Industrial Cloud** - виртуальные контроллеры ПЛК/РЗА в облаке !
4. В энергокомпаниях появятся **DevSecOps** подразделения
5. Энергокомпании начнут заниматься разработкой собственных облачных программных продуктов (ПО, сервисы)
6. Появится альтернатива стандарту МЭК61850 - применение протокола SV будет признано неэффективным
7. **Применение облачных технологий** привнесет новые качества в процессы технологического управления уже в краткосрочной перспективе





**ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ  
на базе НИУ "МЭИ"**

ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ



Телеграм канал Центра НТИ МЭИ

**Вопросы?**

**Волошин Александр Александрович**

Директор Центра НТИ МЭИ

К.т.н., доцент

Почетный доктор электротехники

Чл.-корр. АЭН РФ

[voloshinaa@mpei.ru](mailto:voloshinaa@mpei.ru)



<http://ЦДЭС.РФ>