ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ “МЭИ”
ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ



Предложение по проведению комплексного пилотного проекта внедрения Интеллектуальных систем РЗА, цифровых двойников и методов ИИ в электроэнергетике

Волошин Александр Александрович
К.т.н, доцент
Почетный доктор электротехники,
Чл.-корр. АЭН РФ

Директор Центра НТИ
«Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем»
НИУ «МЭИ»

Технология создания интеллектуальных систем РЗА для ЦПС в РФ

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

WG: цифровая подстанция / process bus
WG: отделение функций от «железа»
WG: виртуализация / fully digital PACS

B5.50 IEC 61850 DSAS — ожидания пользователей → ТВ 819 (2020)

B5.60 Архитектуры PACS, независимые от оборудования → ТВ 891 (2023)

B5.68/69 Инжиниринг IEC 61850 / опыт process bus → ТВ 949 (2024)

B5.73/74 Функциональная интеграция, шинная защита по process bus

Концепция развития РЗА

РОССЕТИ

МЭИ

B5.77 IT/OT-управление PACS (оценка влияния виртуализации)

Интеллектуальная РЗА



B5.84 Виртуальные IED (vIED) → ТВ план Q1 2028

B5.87/88 Цифровая трансформация PACS / гайд fully digital PACS

B5.90/91 Ввод в эксплуатацию и испытания / мониторинг и диагностика fully digital PACS

Предпочтительные темы (PS) сессий CIGRE SC B5:

Концепция развития ЦД

МЭИ

2016: ЖЦ PACS, управление активами

2018: process bus — опыт пользователей

2020/21: человеческий фактор, комм. сети

2022: впервые «virtualization; digital twins; centralized P&C»

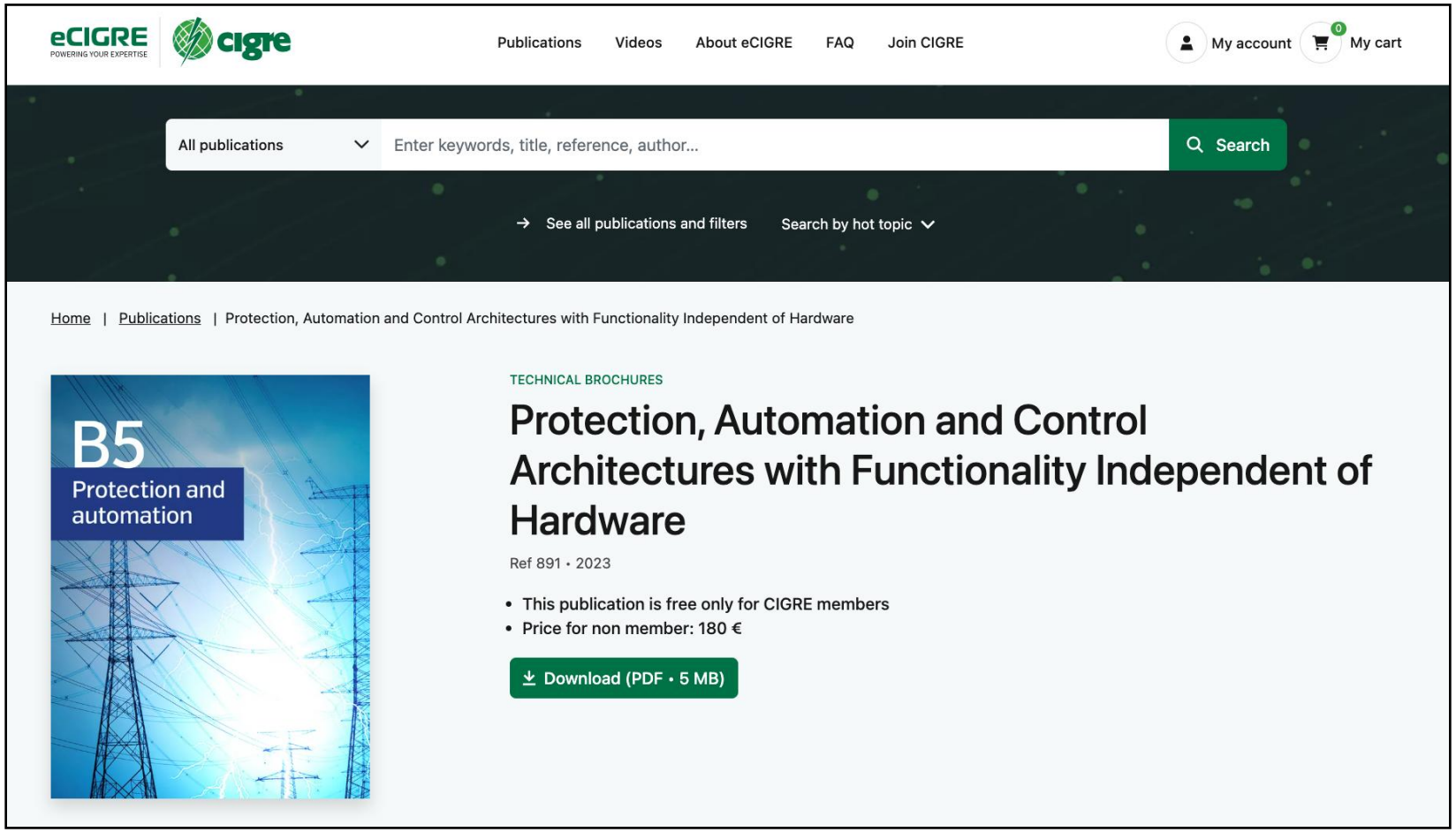
2024: process bus + «синергия с виртуализацией», 11 vPAC-докл.

2026: knowledge management + туториал по виртуализации IED

2012 2014 2016 2018 2020 2022 2024 2026 2028

Технология создания интеллектуальных систем РЗА для ЦПС

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"



Руководитель Волошин А.А.

Начло работы 2018 год.
В 2021 пилотное внедрение и опытная эксплуатация в Россети Центр

В 2022 году выпуск международных методических рекомендаций

Зарубежные продукты и время выхода на рынок

2018 → 2026

ABB — 2018

SSC600 — централизованная защита и управление

ABB · коммерческий продукт

Первое коммерческое СРС-устройство: функции до 30 присоединений в одном аппарате по IEC 61850-3. Проверено на ПС Noormarkku (Финляндия)

ABB — 2023

SSC600 SW — первая виртуализированная система

ABB · коммерческий продукт (образ ВМ)

Чисто программный продукт под гипервизоры Linux KVM и VMware ESXi на Intel Xeon Gold. В 2025 г. — первая промышленная виртуализированная ДЗЛ 87L (SRP, США)

LF ENERGY — 2020

SEAPATH — открытый гипервизор реального времени

LF Energy · open source, v1.0 — 2025

Стек Linux PREEMPT_RT + KVM/QEMU + Ceph. Промышленная эксплуатация у RTE (программа R#SPACE) с конца 2023 г., цель — 100 подстанций к 2030 г.

UK Power Networks — 2021

Constellation — общая серверная инфраструктура РЗА

UK Power Networks · пилотный проект

Размещение защит нескольких подстанций на общих серверах; партнёры ABB, GE, Siemens; связь R-GOOSE и 5G (2021–2026)

SIEMENS — 2026

SIPROTEC V — виртуализированный SIPROTEC 5

Siemens · продуктовый анонс (DistribuTECH 2026)

До 60 vIED на одном сервере под Linux с ядром реального времени; инжиниринг — в привычных DIGSI 5 и IEC 61850 System Configurator

GE VERNOVA — 2026

GridBeats APS — программно-определяемая платформа

GE Vernova · продуктовый запуск (03.02.2026)

«Запатентованная технология аппаратной абстракции»; удалённые обновления без вывода защит из работы; EdgeOS VM валидирована в PoC с National Grid

Источник: белая книга по виртуализации РЗА (rza_white_paper.md), данные на 2026 г.

ВИРТУАЛИЗАЦИЯ РЗА · РОССИЯ

Российские решения и время выхода на рынок

2011 → 2026

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

ЛИСИС — 2011

ПК iSAS — серверная РЗА и АСУ ТП

«ЛИСИС» · НИОКР, опытное внедрение

Все функции РЗА на серверах x86/Linux; патент RU 2468407 (2011). RTDS-испытания в НТЦ ФСК ЕЭС (2013), апробация с «Тюменьэнерго» — до 13 присоединений на сервер

2014

ЦРЗА — шкаф централизованной РЗА

«Релематика» · продукт, ОПЭ

Консолидация функций присоединений на серийных терминалах; ОПЭ на ПС 110 кВ «Пойковская» (2014–2017), реестр инноваций «Россетей» (2016)

НИПОМ — 2015

Кроссплатформенные терминалы и сервер РЗА

«НИПОМ» (+ МЦСТ, ИНЭУМ) · продукт, ОПЭ

Функционал независим от платформы: Intel / ADLINK / «Эльбрус», QNX, ROSA, Astra Linux. ОПЭ виртуальных ИЭУ на полигоне Нижегородской ГЭС (2020–2021)

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ на базе НИУ "МЭИ" / ЭЛЕСИ — 2018

ИС РЗА ng.AIR — виртуальные терминалы vIED

Центр НТИ МЭИ + «Элеси» · предсерийный

Автоматическая миграция функций между устройствами при отказах (мультиагентные технологии); ОПЭ на ПС 110 кВ «Мамулино» и «Выездное»

РАСУ РОСАТОМ — 2021

Платформа «Кластер» и архитектура «4+»

«РАСУ» (Росатом) · пилот

Функционально-динамическая архитектура, скользящий резерв N+1; пилот с АО «Сетевая компания» (Казань), ОПЭ — до конца 2026 г.

РОССЕТИ ФСК ЕЭС Научно-технический центр — 2023

Цифровая «подменная» панель

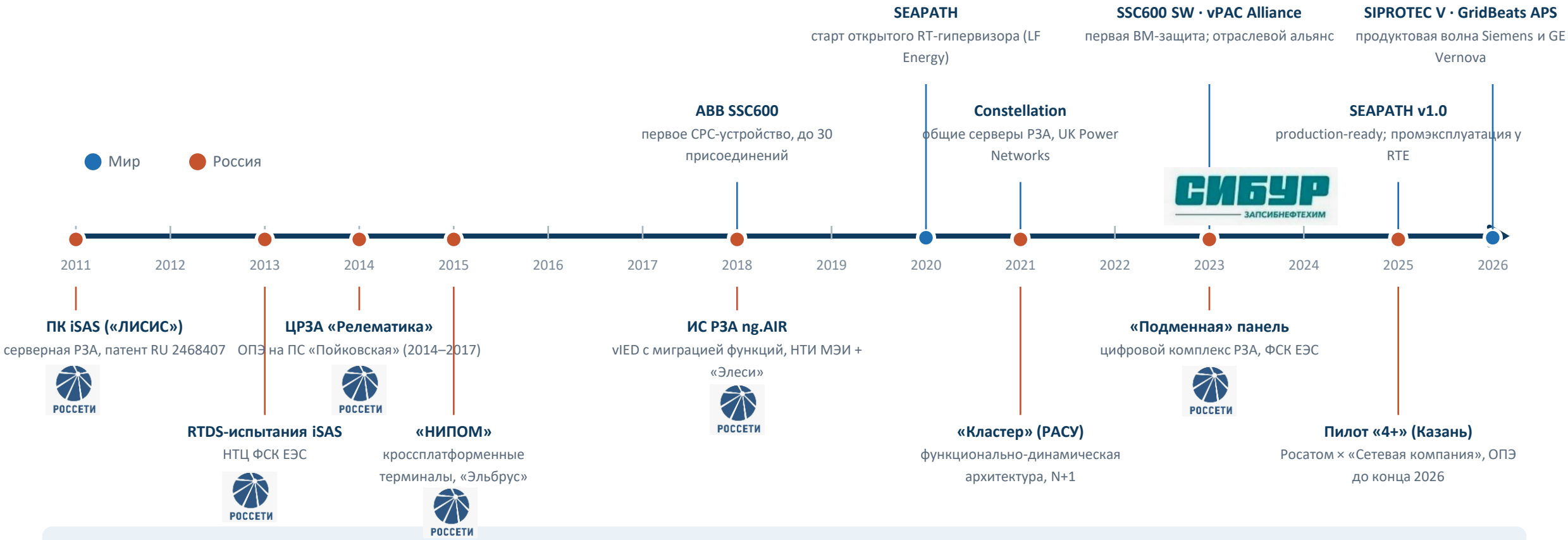
ФСК ЕЭС / «Россети НТЦ» · НИОКР, ОПЭ

Алгоритмы РЗА присоединений 110–750 кВ, до 33 SV-потоков, активация подмены ≤ 1 с; заявка ФСК ЕЭС № 50-067-24 (2024)

Источник: белая книга по виртуализации РЗА (rza_white_paper.md), данные на 2026 г.

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Вывод решений на рынок: мир и Россия на одной оси



Вывод: российский трек начался раньше (iSAS, 2011), но развивался как НИОКР без серийного «продукта-ВМ»; мировая коммерциализация — с 2023 г. (ABB SSC600 SW), волна продуктовых запусков — 2026 г.

Концепция АСУТП с открытой архитектурой – Минпромторг + Минэнерго

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Таймлайн реализации ДПАК ОАСУ ТП

для отраслей нефтегаз, химия, металлургия, энергетика

	2024 г. КВ. 4	2025 г. КВ. 4	2027 г. КВ. 4	2030 г. КВ. 4
Этап	1	2	3	4
Результат	**Определен целевой объем рынка ДПАК ОАСУ ТП** Для ключевых отраслей промышленности России (нефтегаз, химия, металлургия, энергетика)	**Запущен в реализацию проект промышленной апробации ДПАК ОАСУ ТП** Не менее чем для 1-го производства в любой из отраслей (нефтегаз, химия, металлургия, энергетика)	**Завершена ОПЭ ДПАК ОАСУ ТП** Не менее чем для 1-го производства в каждой из отраслей (нефтегаз, химия, металлургия, энергетика)	**Тираж ДПАК ОАСУ ТП** Обеспечение ОАСУ ТП не менее чем 25% рынка АСУ ТП России
Технические метрики	12 компонентов УГТ 1-4 15 компонентов УГТ 5-7 7 компонентов УГТ 8-9	3 компонентов УГТ 1-4 24 компонент УГТ 5-7 7 компонентов УГТ 8-9	9 компонент УГТ 5-7 25 компонентов УГТ 8-9	34 компонента УГТ 8-9

Концепция АСУТП с открытой архитектурой – Минпромторг + Минэнерго

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Многоуровневая архитектура открытой АСУ ТП

Лидеры ТРГ по разработке компонентов

Газпромнефть, Транснефть, Северсталь, Ростелеком, НПО КИС, Еврохим, ИНТИ + АСПЕКТ, Росатом

УГТ 1-4	Концепция
УГТ 5-7	Разработка
УГТ 8-9	Готовое рыночное решение

Сервисы расширенной функциональности
- Модуль процедурного управления
- Модуль динамической оптимизации тех. режима DRTO

Прикладные сервисы
- ЧМИ (SCADA)
- Сервис исторических данных
- Виртуальный ПЛК
- Интегрированная среда разработки

Сервисы технологической шины данных
- Коммуникации по запросу OCF (сервер OPC UA)
- Коммуникации по событиям OCF (Брокер MQTT)
- Коннекторы промышленных протоколов
- Служба автообнаружения сервисов (GDS)
- Синхронизация времени (nS)
- Полевой протокол

Сервисы безопасность
- Программное обеспечение ИБ

Сервисы управления жизненным циклом
- Управление проектами разработки и ресурсами
- Репозитории бинарных артефактов
- Репозитории исходных текстов
- Построение бинарных артефактов CI/CD
- Оркестратор

Функциональная Инфраструктура
- Мониторинг и логирование
- Система управления базами данных
- База данных временных рядов
- Хранилище сертификатов, ключей, паролей
- Авторизация и аутентификация

Программная инфраструктура
- Контейнеризация
- Виртуализация
- Операционная система общего назначения
- Операционная система реального времени
- Программное обеспечение резервного копирования

Аппаратная инфраструктура
- ПЛК
- Пром ПК
- Интеллектуальный КИП
- Модули распределенного ввода-вывода
- Серверные платформы
- Сетевое оборудование

ДПАК ОАСУТП

Класс 11.05 Программно-аппаратные комплексы автоматизированного управления технологическим процессом

- АСУ ТП для дискретных производств
- АСУ ТП для непрерывных производств
- АСУ ТП объектов энергетики
- Автоматизация инфраструктуры зданий и сооружений

ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ - ПТК ng.AIR

ng.AIR

АСУТП

РЗА, ПА

ЛВС
шина процесса

УСО (MUs)



ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ - проблемы

ng.AIR

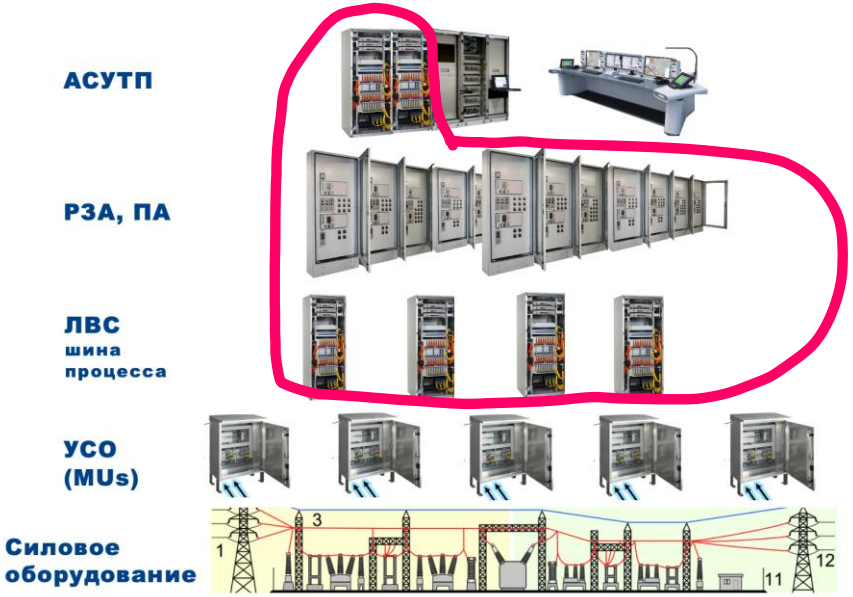
1. Увеличивается общее количество устройств (добавляются УСО (merging unit) и коммутаторы Шины процесса).
2. Проблемы с синхронизацией времени приводят к отказам защит
3. Отсутствуют программные средства автоматизированного проектирования
4. Огромный трафик на шине процесса (на самом деле не требуется для функционирования защит), требуется проводить расчеты нагрузки на ЛВС (нет методик), нет методик оценки надежности
5. Отсутствует наблюдаемость и диагностика передачи данных по ЛВС (по результатам обследования реальных объектов ЦПС)
6. Повышается сложность проектирования (см.п.3 и п.4)
7. Повышается стоимость (в 1,5 раза)
8. Снижается надежность (увеличивается количество устройств, что ведет к повышению потока отказов, а также увеличивается время восстановления из-за отсутствия развитых средств диагностики большей сложности Шины процесса по сравнению с контрольными кабелями).

Вывод: необходима разработка нового подхода к созданию ЦПС

Идея решения ng.AIR– Интеллектуальная Система РЗА (ИС РЗА)

Вместо аппаратной избыточности –> интеллектуальные алгоритмы самовосстановления функций РЗА при отказах

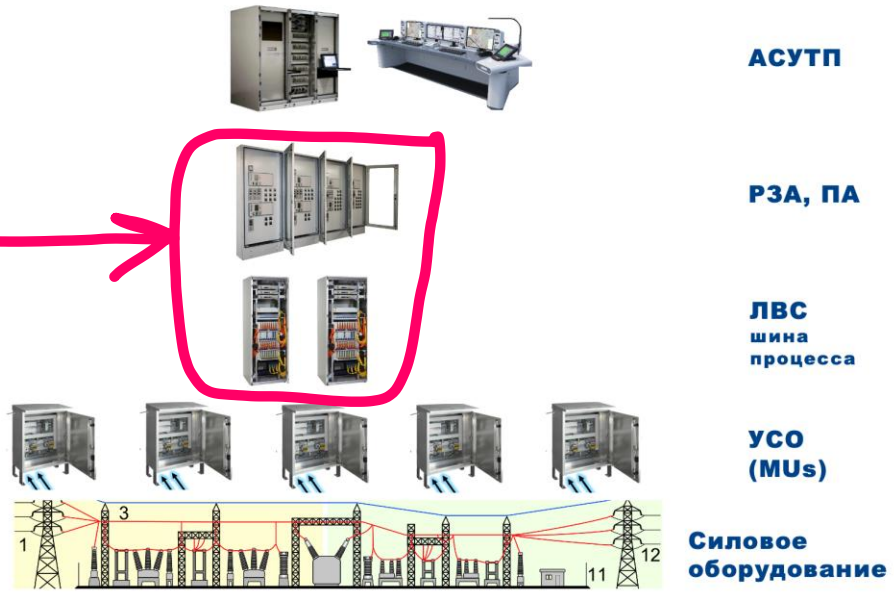
Существующие решения
1-2-3 архитектура



Нет аппаратной избыточности

Надежность за счет автоматического Самовосстановления функций (миграция с отказавшего устройства на рабочее)

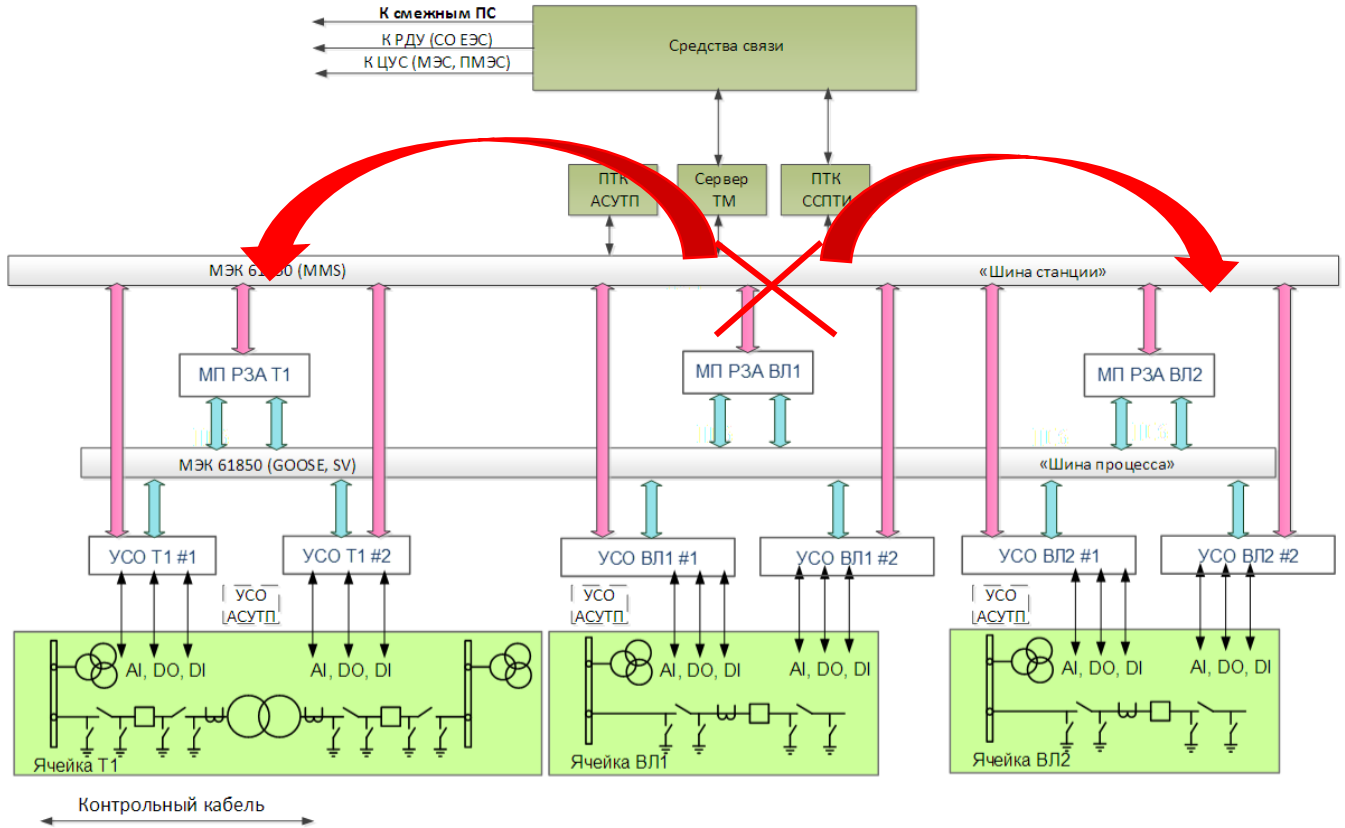
Новое решение ng.AIR
3-4-5 архитектура



- Дорого
- Сложно проектировать
- Сложно эксплуатировать

+ Меньшее количество МП терминалов
+ Проектирование с использованием ИИ
+ Упрощенная эксплуатация (отказ устройства не авария, функции автоматически восстанавливаются за счет миграции)

Интеллектуальная РЗА ЦПС



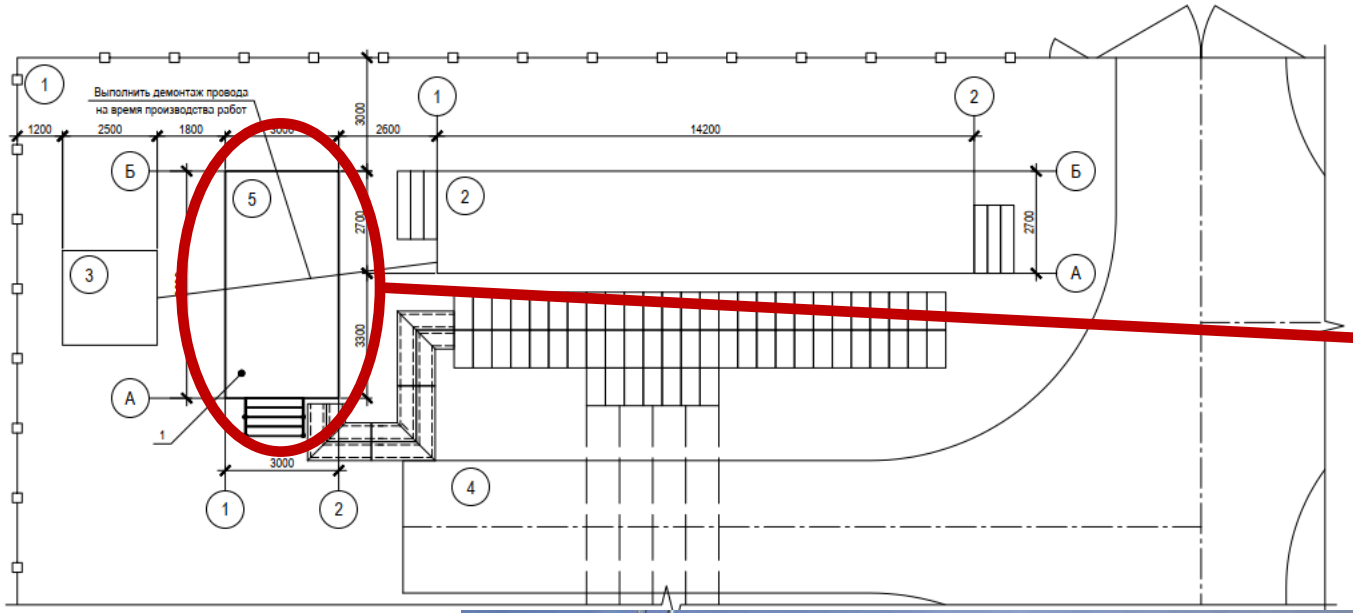
1. Минимальное количество устройств (1 терминал РЗА – 1 защищаемый элемент).
2. Самонастройка, самоорганизация, самовосстановление.

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)

Технология создания интеллектуальных систем РЗА для ЦПС

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Интеллектуальная система РЗА – 2021 год!!

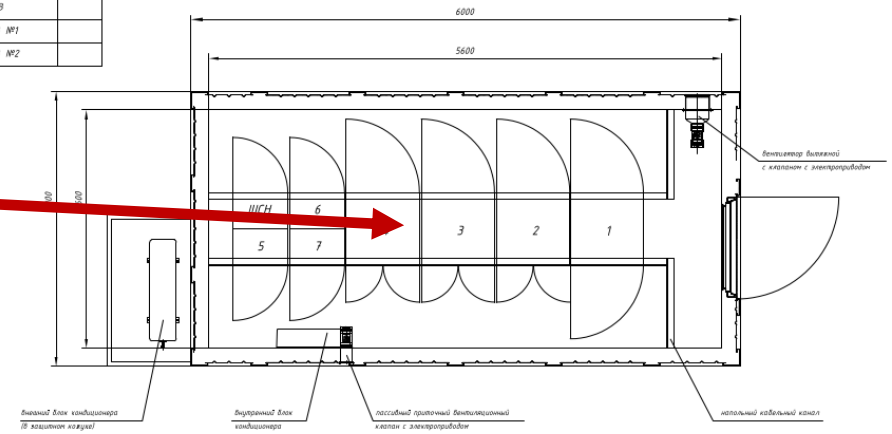


Экспликация

Номер по плану	Наименование	Площадь, м²
1	Территория ПС Мамулино	
2	Здание ОПУ (сущ.)	
3	Спутниковая антенна	
4	Внутриплощадочный путь	
5	Здание ОПУ (проект.)	

Шкафы ИС РЗА, АСУ ТП

1	Шкаф гарантированного питания	
2	Шкаф АСУ ТП	
3	Шкаф ИС РЗА №1	
4	Шкаф ИС РЗА №2	
5	Шкаф УСО 110 кВ	
6	Шкаф УСО 10 кВ №1	
7	Шкаф УСО 10 кВ №2	





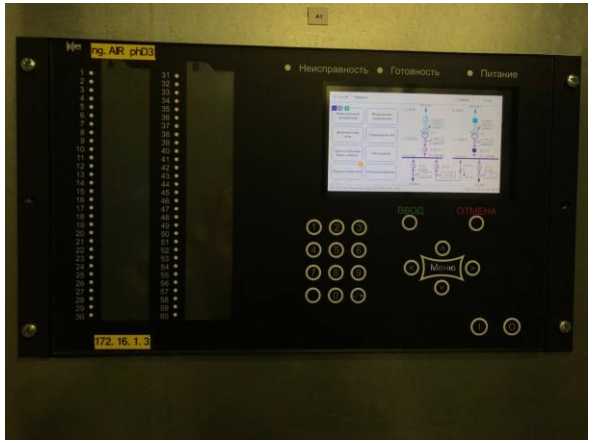


Технология создания интеллектуальных систем РЗА для ЦПС

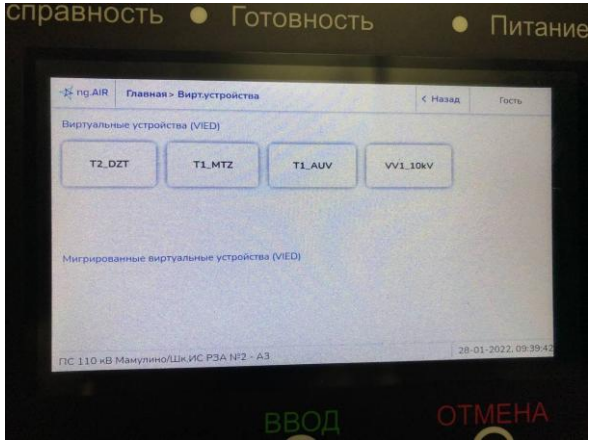
ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Интеллектуальная система РЗА

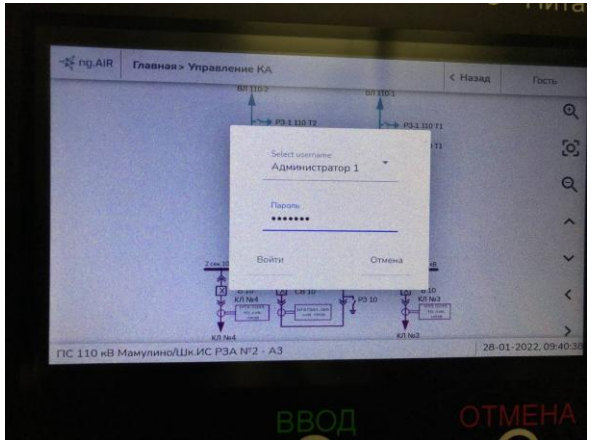
Общий вид устройства



Состав функций



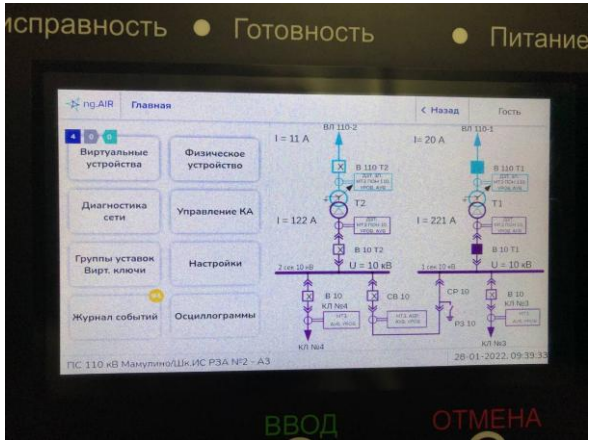
Права доступа



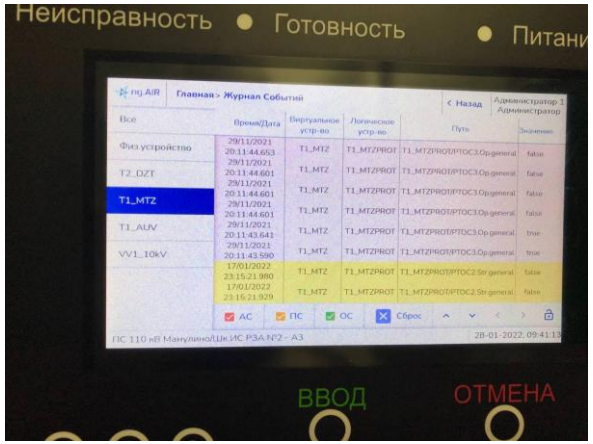
Мультигентная система



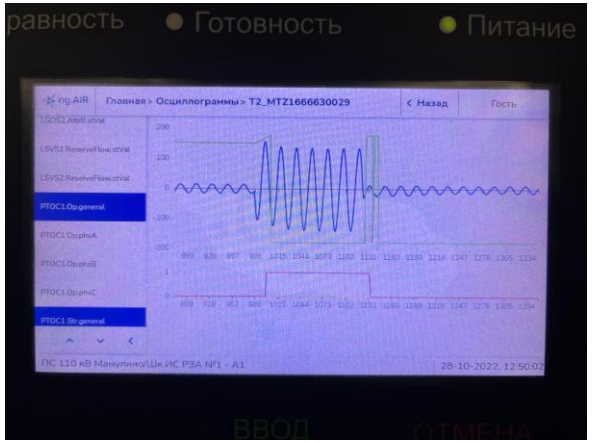
Главный экран



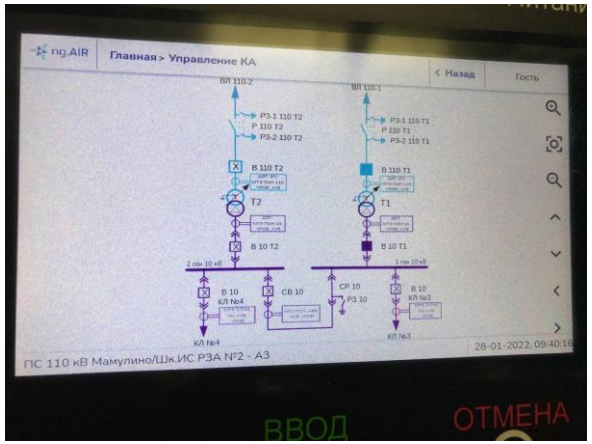
Журнал событий



Осциллограммы



Управление КА



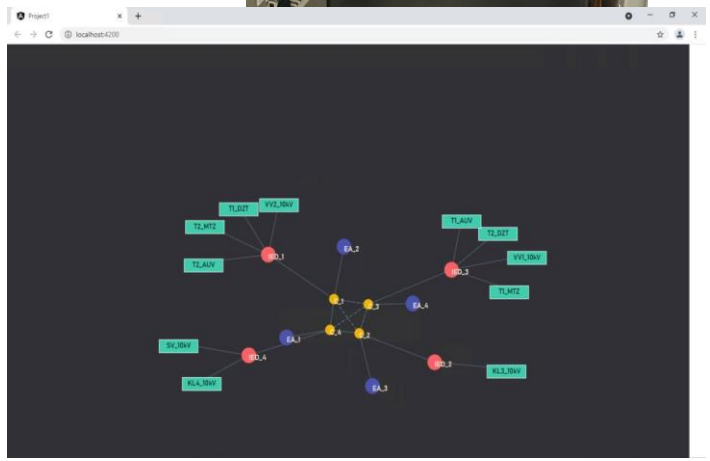
ng.AIR - Интеллектуальная Система РЗА – ОПЭ в Россетях

В течение 2022 пройдено ОПЭ в Россети Центр, получено положительное заключение









Договор об оказании услуги по проведению
Опытно-промышленной эксплуатации оборудования от 25.11.2020 № 4233765

ПРОТОКОЛ КОМПЛЕКСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПТК ИС РЗА «ng.AIR» НА ПИЛОТНОЙ ПС 110/10кВ «Мамулино»

г. Тверь 30.11.2021 г.

1 Объект испытаний

Опытный образец: интеллектуальная система РЗА ЦПС «ng.AIR» с гибкой функциональной структурой и поддержкой стандарта МЭК 61850.

2 Место проведения испытаний

Место установки оборудования опытного образца ПТК ИС РЗА «ng.AIR» - ПС 110/10кВ «Мамулино».

3 Продолжительность испытаний

Испытания проводятся с 30.11.2021 г. по 30.11.2021 г.

4 Цель испытаний

Целью испытаний является определение работоспособности оборудования опытного образца ПТК ИС РЗА «ng.AIR» и приемки его в опытную эксплуатацию.

5 Порядок испытаний

Испытания проводились в соответствии с Программой и методикой испытаний оборудования опытного образца ПТК ИС РЗА «ng.AIR».

6 Результаты испытаний

Результаты испытаний приведены в Приложении 1 к настоящему Протоколу.

7 Замечания

В процессе проведения комплексных испытаний опытного образца ПТК ИС РЗА «ng.AIR» замечания не выявлены.



«СОГЛАСОВАНО»
Генеральный директор
ООО «СГК»
_____ И.А. Рулев
«02» 12 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Первый заместитель директора – главный инженер филиала
ПАО «Россети Центр» - «Тверьэнерго»
_____ О.М. Баталов
«02» 12 2021 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ
сдачи-приемки **ПТК ИС РЗА «ng.AIR»**
в опытно-промышленную эксплуатацию

ПАО «Россети Центр»
Филиал «Тверьэнерго»
«02» 12 2021 г.

Комиссия по проведению опытно-промышленной эксплуатации (далее – «ОПЭ») нового оборудования, новых технологий, материалов и систем: **«ПТК ИС РЗА «ng.AIR»** на объекте: ПС 110/10 кВ Мамулино, действуя на основании приказа филиала ПАО «Россети Центр» - «Тверьэнерго» № 116-ТВ от «12» апреля 2019 г. в составе:

Председатель комиссии:

Фамилия, Инициалы	Должность
Горланов В.Г.	Заместитель главного инженера по управлению производственными активами филиала ПАО «Россети Центр» - «Тверьэнерго»

Члены комиссии:

Фамилия, Инициалы	Должность
Солодов В.Ю.	Заместитель главного инженера по эксплуатации филиала ПАО «Россети Центр» - «Тверьэнерго»
Пожарский Д.Д.	Начальник СРЗАИиМ ПАО «Россети Центр» - «Тверьэнерго»
Ильин И.И.	Начальник УКиТАСУ филиала ПАО «Россети Центр» - «Тверьэнерго»

ИИ в информационно-управляющих системах в электроэнергетике

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Электроэнергетика – критически важная инфраструктура, высокие требования к надежности и безопасности

ИИ может применяться на любом уровне иерархии, но …

В настоящее чаще всего ИИ применяется на уровне **MES** и **ERP**

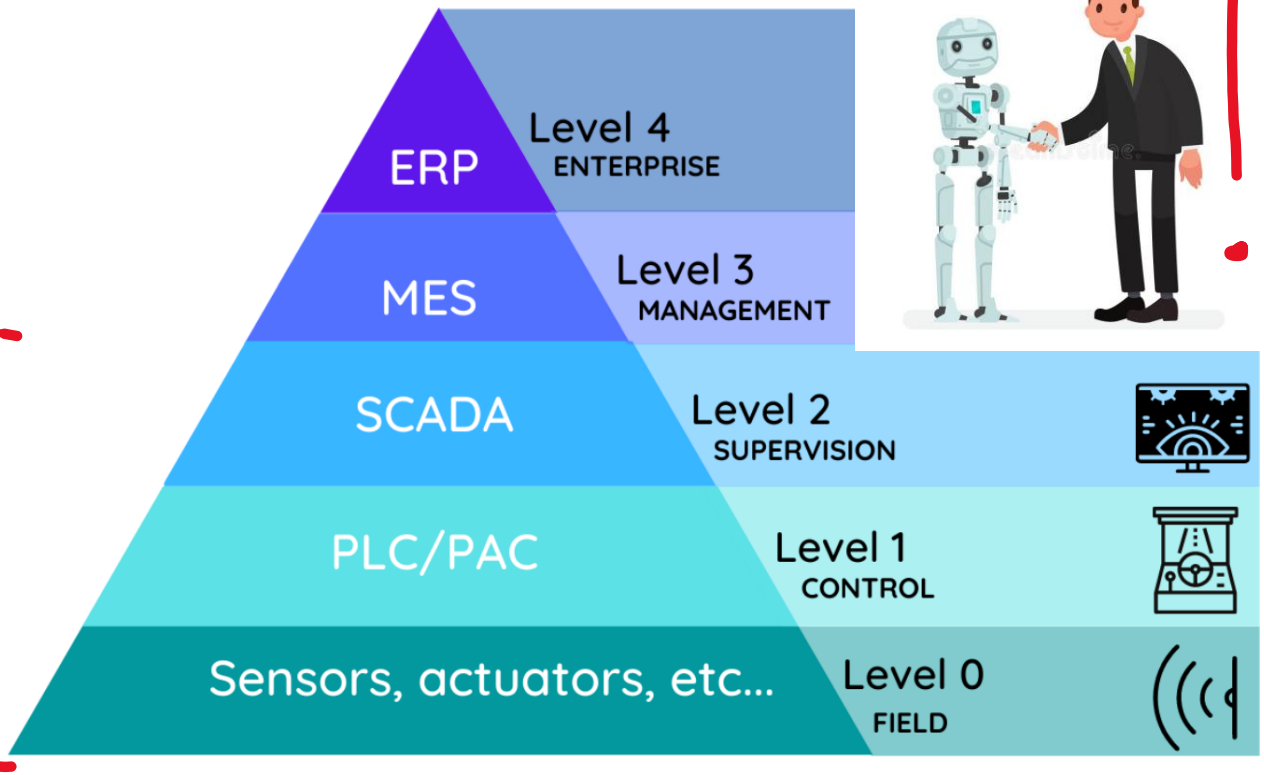
ИИ используется для прогнозирования изменения режимов и параметров оборудования, заменяя экспертные выводы Человека.

Результаты работы ИИ обрабатываются и используются человеком

Что делать на уровнях SCADA, PLC/PAC, FIELD ?
Здесь человек не может контролировать работу ИИ.

Т.е. можно ли ИИ доверить управление технологическим процессом?

Какие могут быть киберфизические последствия?



Обеспечение доверия к ИИ при решении задач в электроэнергетике

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

База знаний, онтология
Формальный логический вывод

A ⊂ B

Нейронные сети, LLM

Результат выполнения действий

План действий

Алгоритмы управления

ПАК ЦДЭС



Цифровой двойник электрической сети

Интеллектуальная система РЗА

Состояние

Команды

Алгоритмы управления

Команды

Алгоритмы управления



Состояние

Команды

Команды

Реальное оборудование

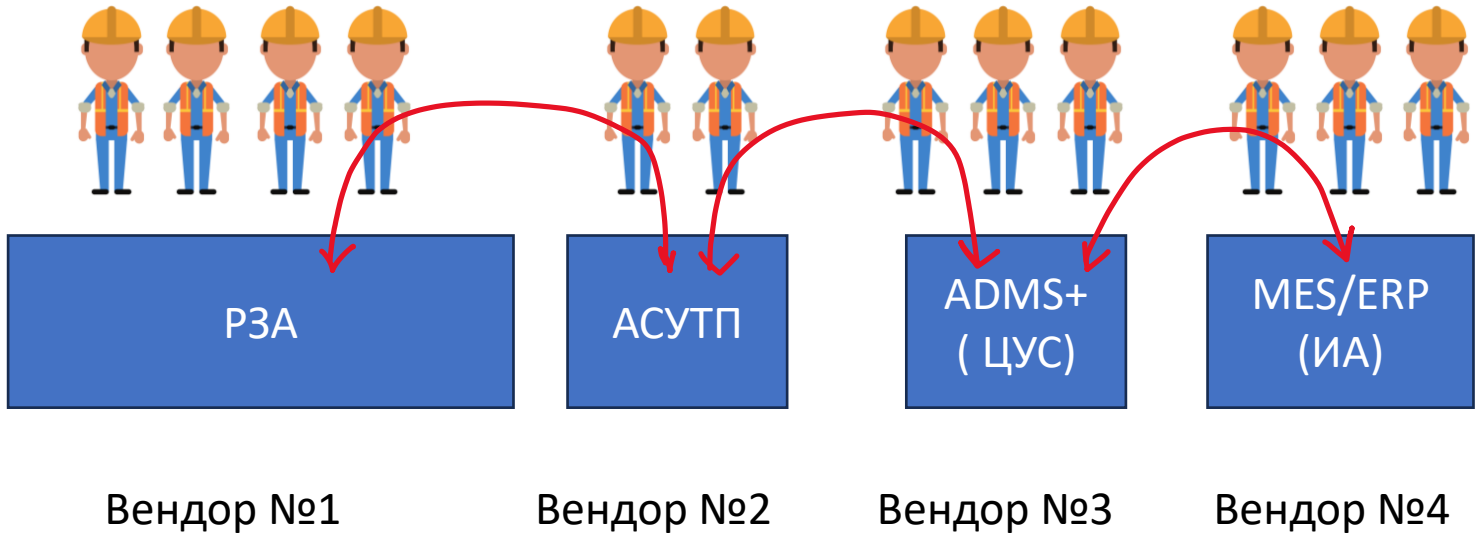


Доверенный ИИ в электроэнергетике = новая парадигма развития

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Как было?

Инженерно-технический персонал

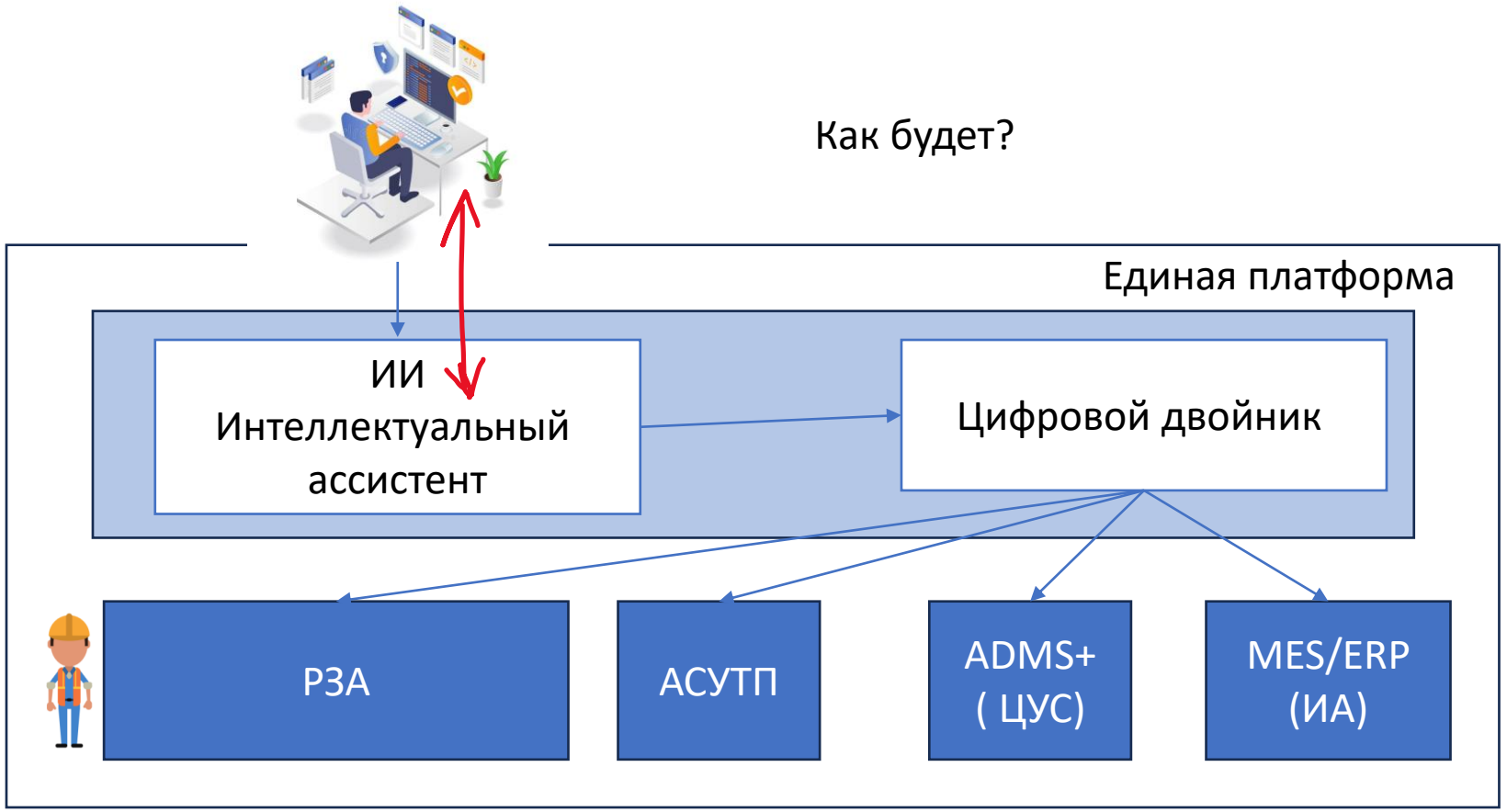


Контроль и управление осуществляется людьми

Проблемы: текучка кадров, низкие компетенции, низкие ЗП, много персонала, ошибки персонала, субъективность решений, ущербы, аварии

Комплексное решение:
Интеллектуальная РЗА+ЦДЭС+ИИ-ассистент

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"



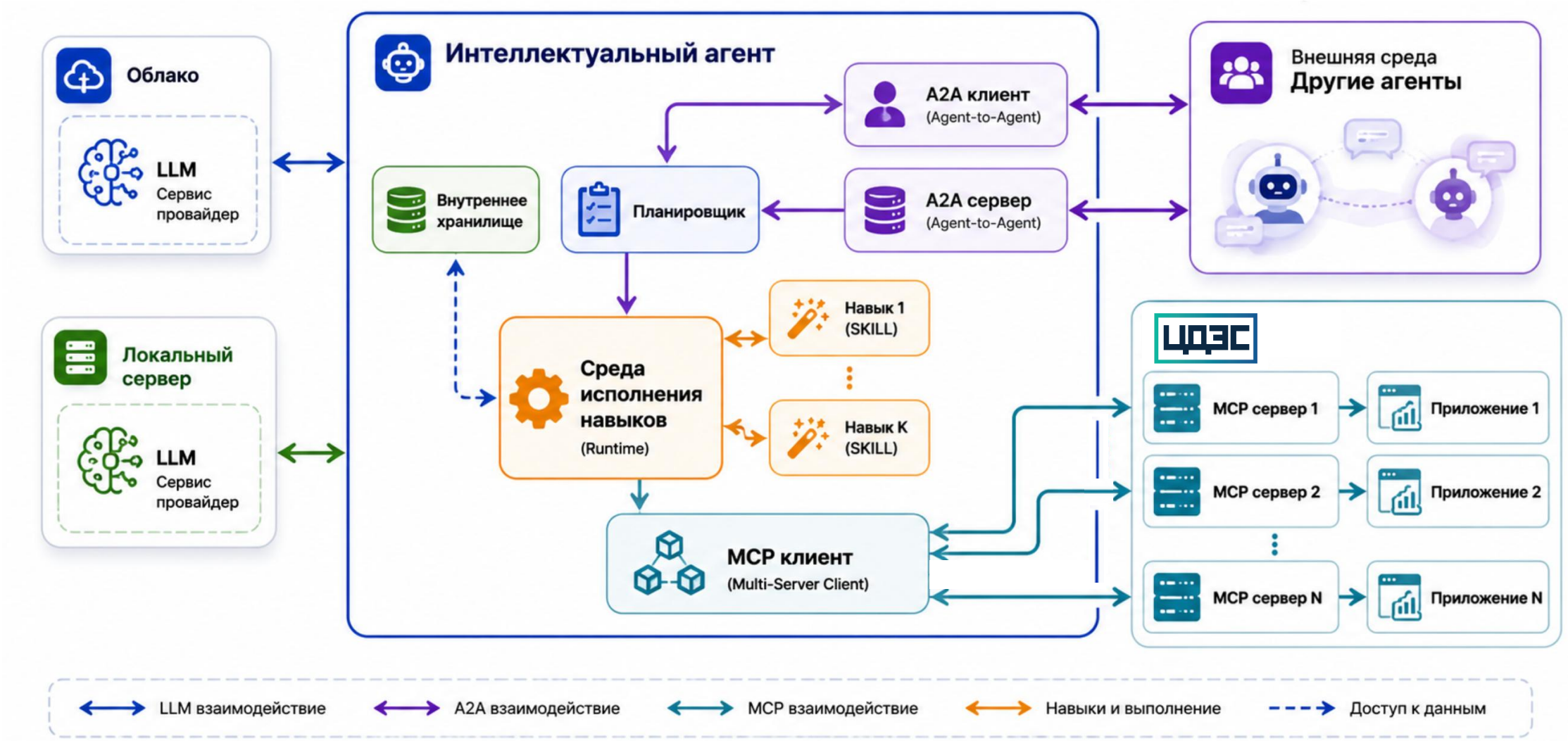
Контроль и управление осуществляется посредством ИИ и цифровых двойников

Решение проблем:
все знания о состоянии объекта остаются в системе, ИИ синтезирует оптимальные управляющие воздействия, более высокая эффективность и производительность труда - меньше количество персонала, но с большими компетенциями и ЗП, минимизация ошибок, ущербов и аварий

Техники – среднеспециальное образование

Только тех.обслуживание – ремонт и замена дефектного оборудования

ИИ-ассистенты — архитектура решения



Как работает: ответ через моделирование

Каждый ответ автоматически верифицируется расчётом в ПАК ЦДЭС — один цикл от запроса до рекомендации

01

ЗАПРОС

Персонал

Голосовой или текстовый запрос в свободной форме на русском или английском

02

СИНТЕЗ СЦЕНАРИЯ

ИИ-агент

Анализирует запрос, синтезирует проект решения и соответствующий расчётный сценарий

03

РАСЧЁТ

ПАК ЦДЭС

Автоматический запуск расчетного сценария в ПАК ЦДЭС

04

ВЕРИФИКАЦИЯ И СБОРКА ОТВЕТА

ИИ-агент

Агент формирует ответ по результатам расчёта с указанием данных и допущений

05

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Персонал

Проверенный ответ с пояснениями и ссылками на результаты расчётного сценария

ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ

Без подтверждения расчётом ответ не выдаётся. Это исключает рекомендации, основанные только на «знаниях» от ИИ — каждый ответ опирается на актуальный результат расчета соответствующего режима работы энергосистемы.

Естественный язык + верифицированный расчёт = доверенный и проверяемый ответ.

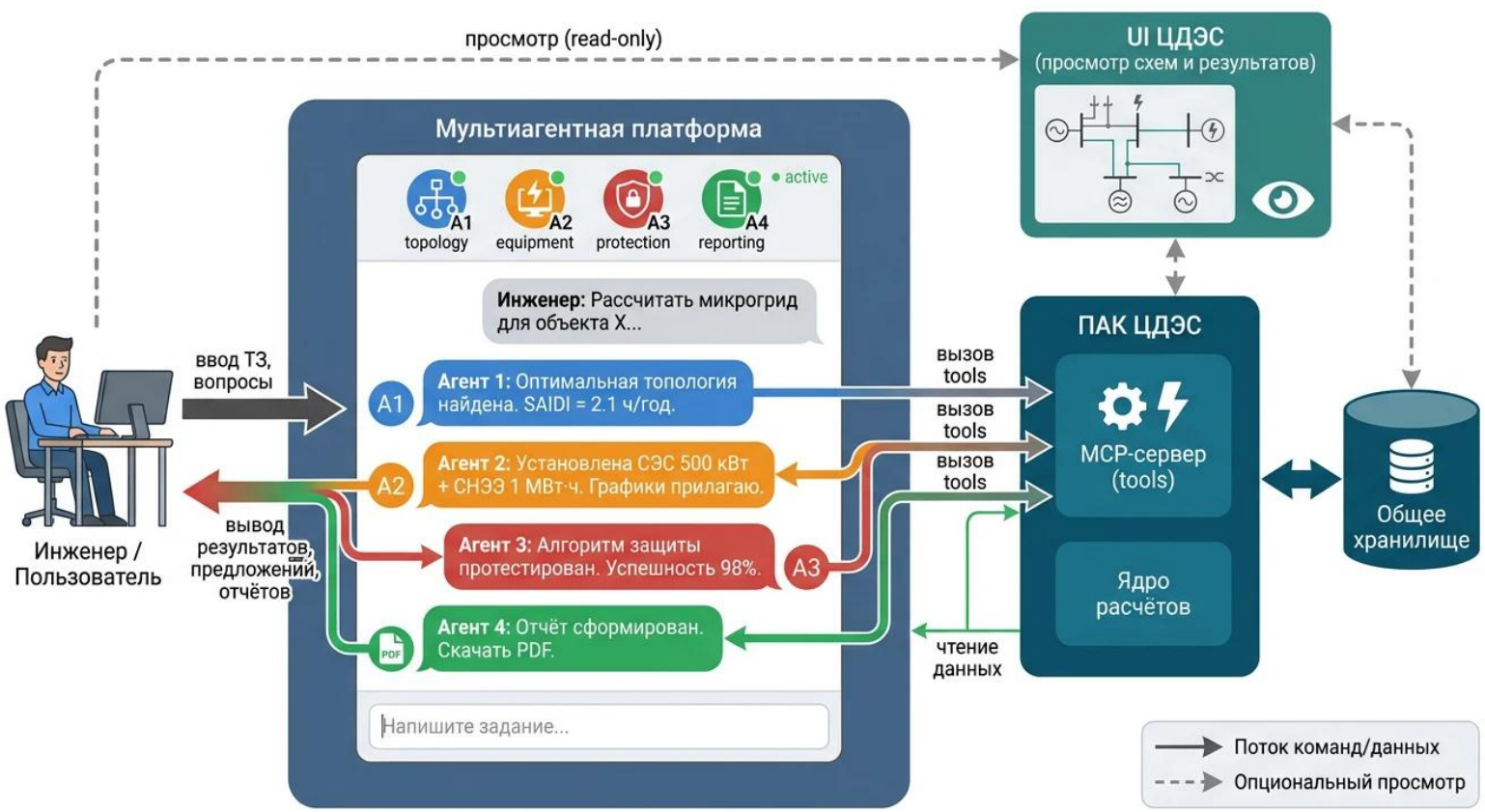
Видение развития ПАК ЦДЭС

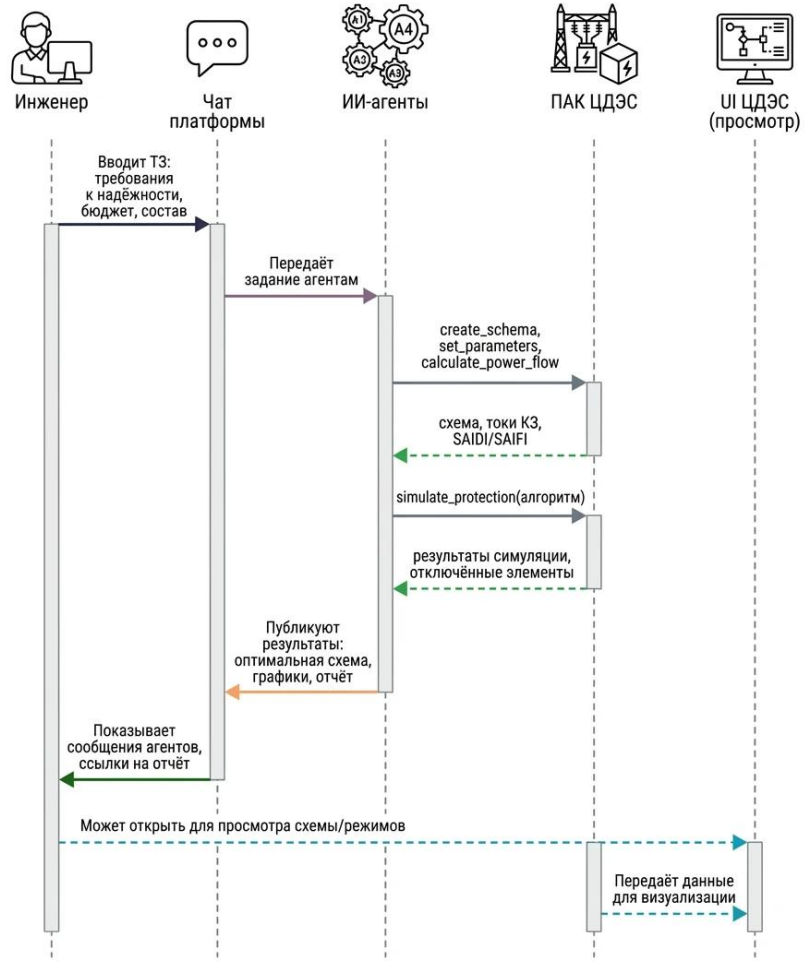
ПАК ЦДЭС – единая универсальная платформа для расчетов и интеграции со SCADA



Видение развития ПАК ЦДЭС

Внешние системы становятся ИИ-агентами, работающими на общей платформе ПАК ЦДЭС





РЕТОМ-ЦДЭС

Состав РЕТОМ-ЦДЭС

- комплект программного обеспечения ЦДЭС;
- высокопроизводительный ноутбук (возможна поставка серверной версии).
- Ретом-51, Ретом-61, Ретом-71, Ретом 61850

Интеграция с Ретом позволяет проводить автоматизированные испытания с использованием моделей энергообъекта и прилегающих сетей как в режиме оф-лайн (через файлы Comtrade), так и в режиме он-лайн (в режиме реального времени с отработкой сигналов срабатывания в модели реального времени)



ПАК «ЦДЭС.Наладка»



Достоинства РЕТОМ-ЦДЭС

- Возможность применения ИИ для формирования программы испытаний и оформления протоколов испытаний (требуется подключение к ЦДЭС.Cloud);
- Глубокая интеграция с комплексами Ретом (совместная разработка с НПП Динамика)
- Автоматизированное выполнение испытаний и фиксация результатов
- Автоматизированная работа в режиме офф-лайн через comtrade файлы автоматически генерируемые в ПАК ЦДЭС для каждого тестового сценария;
- Автоматизированная работа в режиме он-лайн с учетом отработки сигналов срабатывания РЗА и систем автоматического регулирования

Интеллектуальная РЗА + Цифровые двойники + ИИ-агенты

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Технологические партнеры

ДЖЭТ
РОСАТОМ

positive technologies

Rubytech

АКСИОН

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

SMART
EPS

инженерный центр
энергосервис

MACH
UNIT

МАШ
ЮНИТ

ЭЛЕСИ

Текущие проекты

НОРНИКЕЛЬ

ГАЗПРОМ
НЕФТЬ

Транснефть

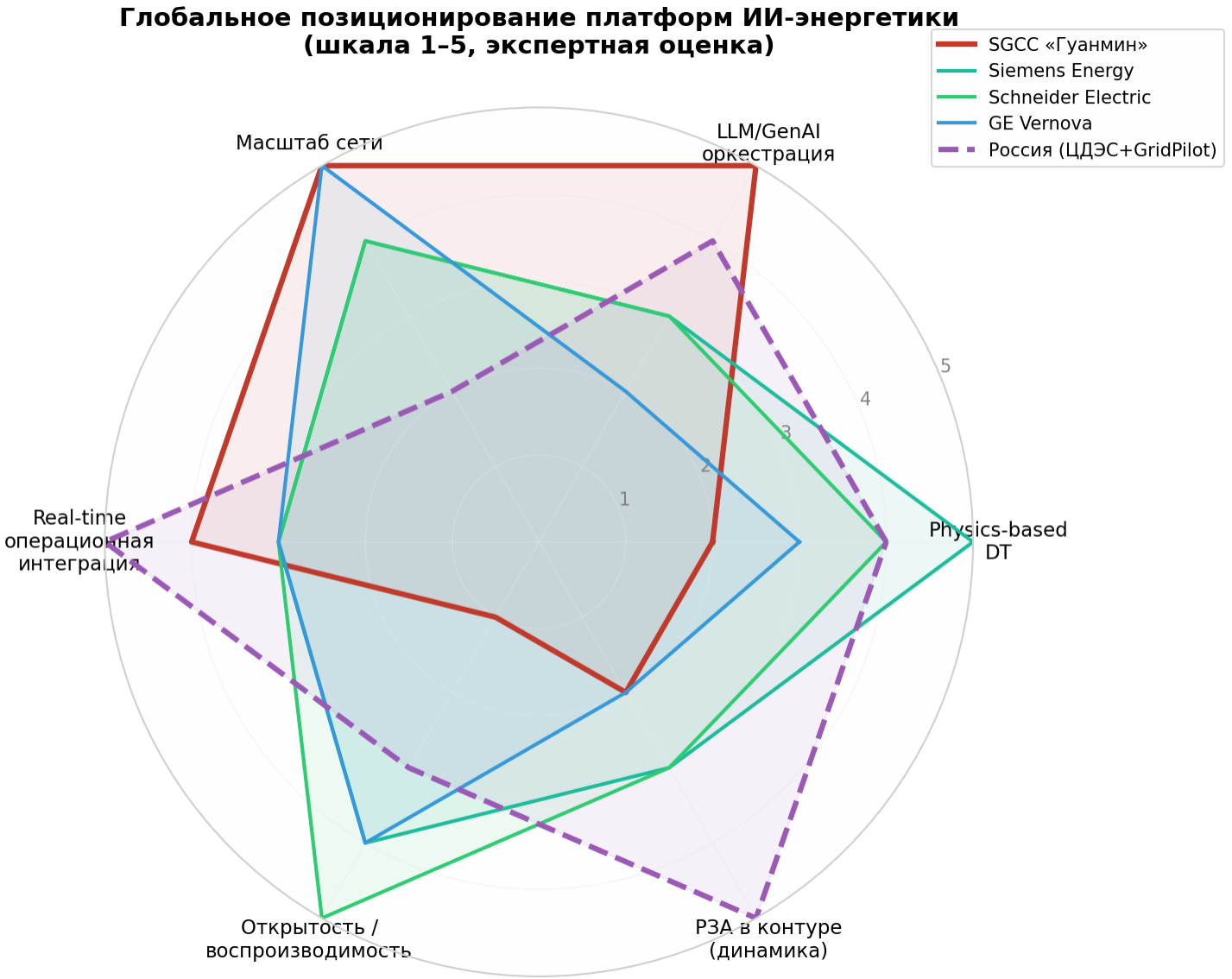
РОССЕТИ

पावरग्रिड
Power Grid Corporation of India

KEGOC

Глобальное позиционирование
Интеллектуальная РЗА + Цифровые двойники + ИИ-агенты

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"



Промежуточный итог

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Вывод 1. Россия вошла в тему раньше мира, но окно технологического опережения было упущено по институциональным, а не техническим причинам. Патент на серверную систему защиты заявлен «ЛИСИС» ещё в 2011 г., RTDS-испытания iSAS проведены в 2013 г. — за пять лет до ABB SSC600 и за десять лет до SSC600 SW. Однако неприятие серверной централизации сообществом (НТС ЕЭС, 2015) остановило первую волну в фазе пилотов, тогда как западная индустрия к 2023–2026 гг. вышла в коммерческие продукты и промышленную эксплуатацию.

Вывод 2. Вторая волна сформировала собственную архитектурную школу. Если западный vPAC мотивирован экономией, то российские решения — **миграция функций (ng.AIR),** скользящий и вытесняющий резерв N+1 («Кластер»), «подменная панель» — решают прежде всего задачу отказоустойчивости. Эта ставка на «надёжность-by-design» — потенциальное конкурентное преимущество российской школы.

Вывод 3. Стандартизация отстаёт от пилотов — это окно возможностей. Нормативное закрепление виртуальных IED в CIGRE (брошюра B5.84 — I квартал 2028 г.) отстаёт от продуктовых запусков, что оставляет время для участия в формировании требований.

Вывод 4. Барьеры РФ и мира различны. Мировые блокеры — детерминизм реального времени (в основном решён) и киберсертификация (IEC 62443, NERC CIP); **российские — неприятие серверной централизации, отсутствие ГОСТ/СТО на виртуальные терминалы,** импортозамещение вычислительной базы и кибербезопасность КИИ.

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

Сопротивление отрасли не остановило развитие идеи

Несмотря на консервативное сопротивление энергокомпаний, идея **виртуализации и миграции функций РЗА** в России не остановилась — она вышла на **качественно новый уровень**.

Там, где рынок ждал подтверждений, наука ответила работающей концепцией: Центр НТИ на базе МЭИ собрал в единую экосистему три взаимоусиливающих компонента.

ИС РЗА ng.AIR

ЦДЭС

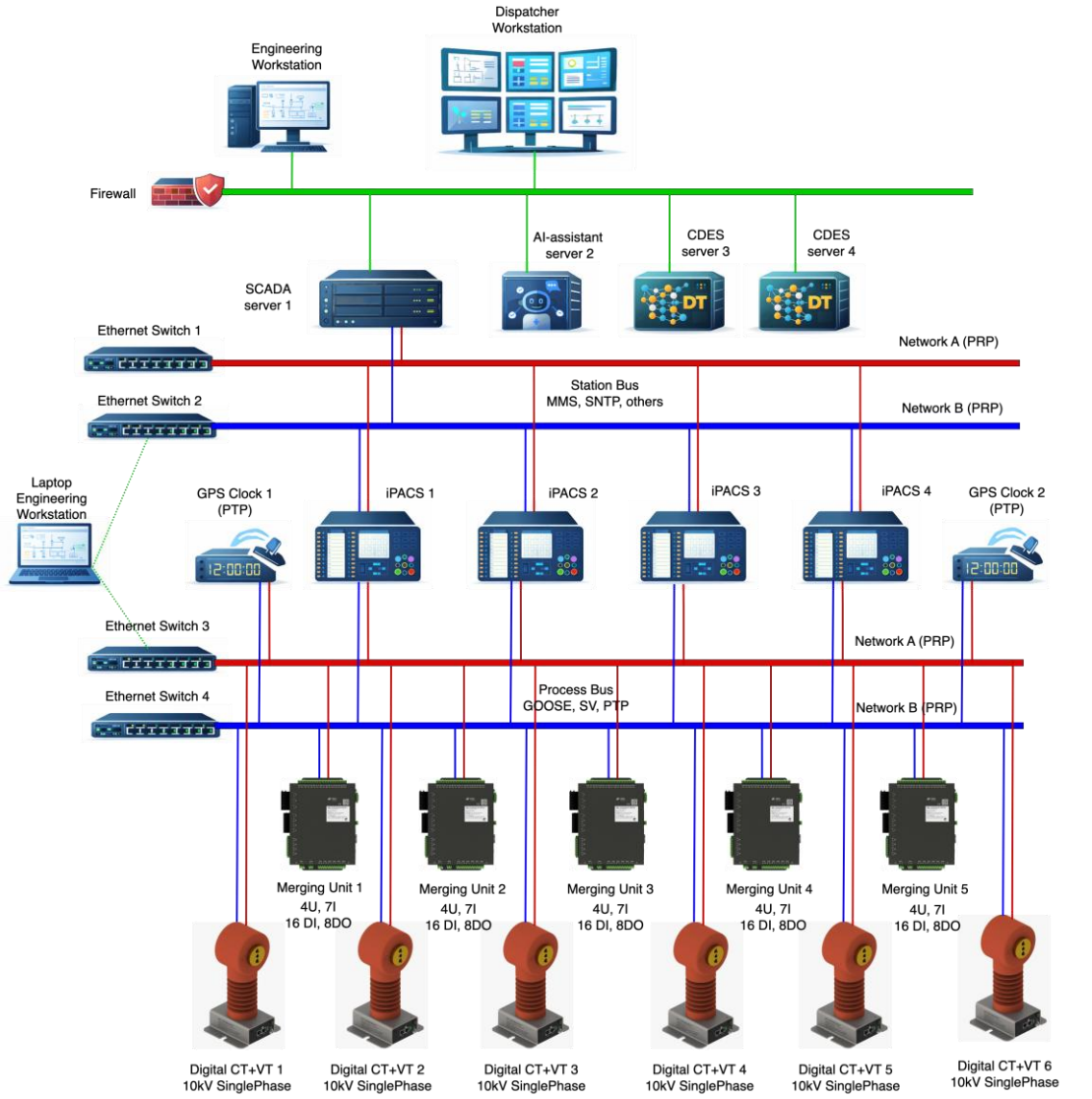
ИИ-ассистенты

Комплексный Пилотный проект – PGCIL (Индия) совместно с Росатом
Интеллектуальная РЗА + Цифровые двойники + ИИ-агенты

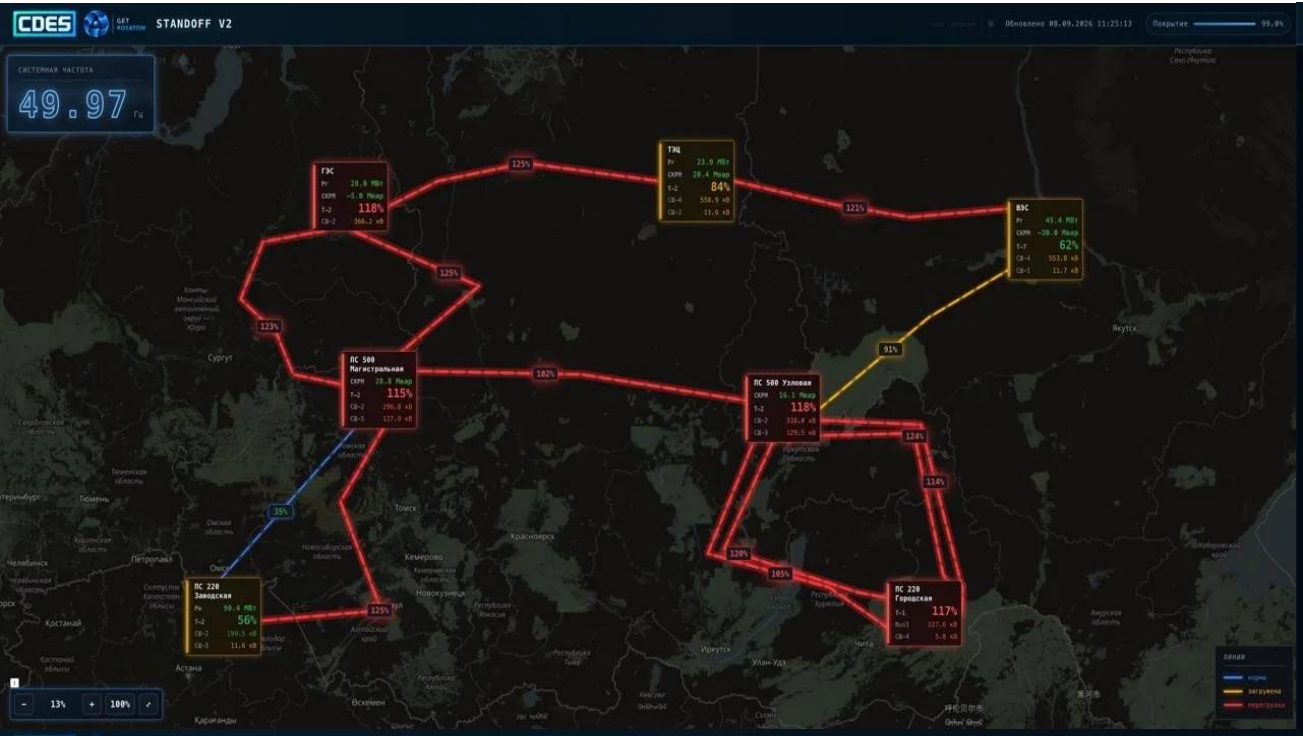
ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

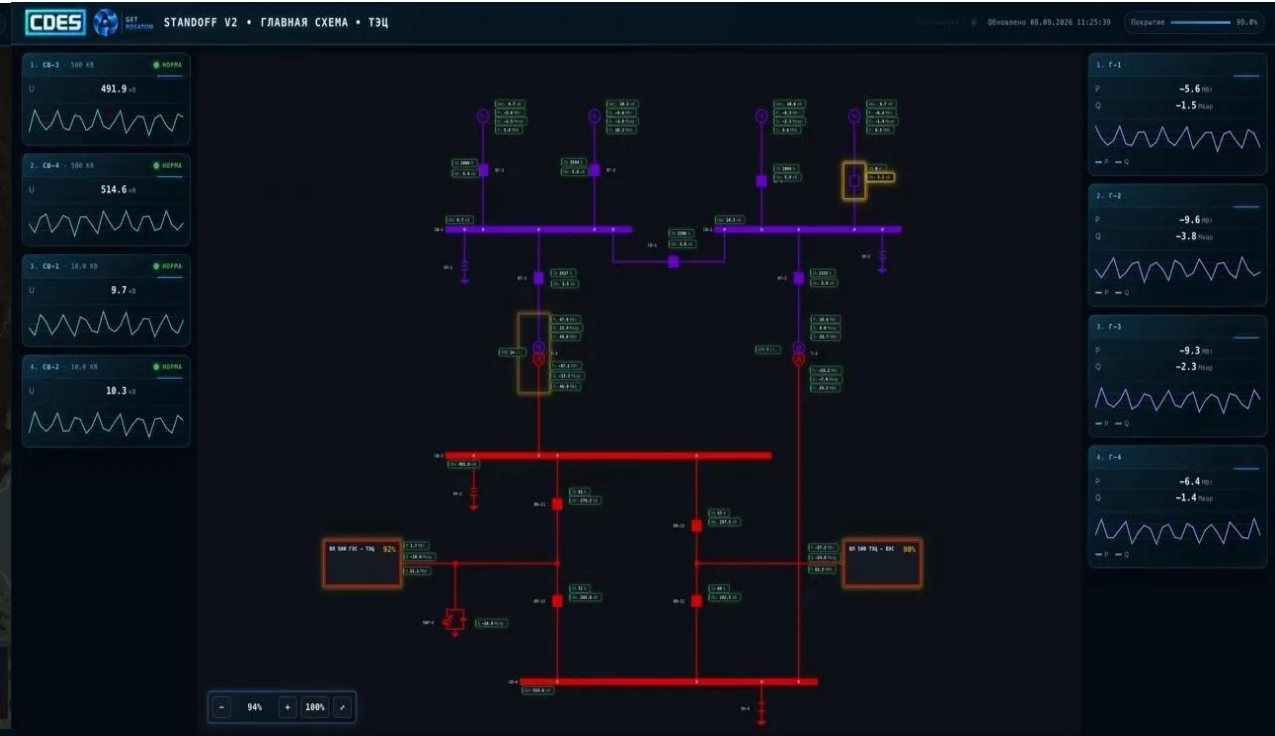
ПС 110 (35) кВ – полный набор функций РЗА

Тип	Количество
Merging Unit (4xI, 4xU, SV, PMU)	5
Цифровой измерительный трансформатор тока и напряжения 10 кВ, 1 фазный	6
Коммутатор Ethernet (24 Ports, 1 Gb\s, PTP, GMRP)	4
Промышленный компьютер (Core i7, 32 Gb RAM, 4xGb\s LAN, 512 Gb SSD, no fan, redundunt power supply)	4
Серевер ЦДЭС (2xXEON GOLD 24 cores, RAM 256 Gb, Storage 2 Tb)	3
Сервер ИИ (2xXEON GOLD 24 cores, RAM 256 Gb, Storage 2 Tb, 8 x GPU NVIDIA RTX 4090)	1
Часы точного времени GPS\Glonass	2
Шкафы для размещения оборудования	6
Автоматизированное рабочеее место (Desctop Workstation, 4xDisplay 24" 4K, Intel core i9, 32gB RAM, SSD 1 Tb, 4xHDMI output)	1
Кабели (контрольные и цифровые)	1



Protected Primary Equipment: 2 x Transformers, 2 x Overhead Power Lines, 1 x Busbar Sectioning Circuit Breaker


CDES
STANDOFF V2
СИСТЕМНАЯ ЧАСТОТА
49.97 Гц
ГЭС
ТЭЦ
ВЭС
ПС 500 Магистральная
ПС 500 Узловая
ПС 220 Заводская
ПС 220 Городская
ЛИНИИ
норма
загружена
перегрузка


CDES
STANDOFF V2 • ГЛАВНАЯ СХЕМА • ТЭЦ


CDES
STANDOFF V2 • ТЭЦ • МОНИТОРИНГ • Т-1
1. ЭЛЕКТРИКА
2. МАСЛО
3. ВВОДЫ
4. ХАРГ
5. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ
6. ОХЛАЖДЕНИЕ
ИЗОМЕТРИЯ
ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ
Оценка АСМД 91


CDES
STANDOFF V2 • ЗДОРОВЬЕ
СОСТОЯНИЕ ЭЭС
СОСТОЯНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ
ПОТЕРЯННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ
ПОТЕРЯННАЯ НАГРУЗКА
ОТКЛЮЧЁННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ
ОТКЛЮЧЁННЫЕ ЛЭП
УЗЛЫ С ОТКЛОНЕНИЕМ U
ГЕНЕРАЦИЯ И НАГРУЗКА
ПОТЕРИ ЛЭП 500 КВ
ПОТЕРИ ЛЭП 220 КВ
ПОТЕРИ ЛЭП 10 КВ
ПОТЕРИ Т 500 КВ
ПОТЕРИ Т 220 КВ
МГНОВЕННЫЙ УЩЕРБ — НАГРУЗКА
МГНОВЕННЫЙ УЩЕРБ — ГЕНЕРАЦИЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫЙ УЩЕРБ

● ЦДЭС-AI
АССИСТЕНТ ДИСПЕТЧЕРА

ЗДОРОВЬЕ –
ЧАСТОТА –
СНИМОК –

БАЛАНС
Генерация – МВт
Нагрузка – МВт
Потери –

ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ЧАТ

ОЧИСТИТЬ

08.09.2026
11:27:49

Что нужно сделать, чтобы нормализовать режим?
09:44:02

Создаю снимок текущего режима для ответа на вопрос...
09:44:02

Снимок готов (340 значений). Формирую ответ...
09:44:03

Режим нестабилен: зафиксировано критическое повышение напряжения на шинах 220 кВ ПС «Городская» (248.4 кВ, +13.1%) и 500 кВ ПС «Узловая» (498.3–506.4 кВ, +10–11%).

Необходимые действия:

1. **Снизить генерацию ГЭС:** Отключить выключатели ВВ-32 и ВВ-33 (ГЭС уже отключена частично, но напряжение на шинах ГЭС 506.4 кВ указывает на избыток мощности в узле). Рекомендуется полное отключение ГЭС от сети или перевод в холостой ход.
2. **Снизить генерацию ТЭЦ:** Выключатели ВВ-11 и ВВ-12 отключены, но напряжение на шинах ТЭЦ (СШ-3, СШ-4) достигает 504.6 кВ. Необходимо дополнительно снизить активную и реактивную мощность генераторов ТЭЦ.
3. **Вовлечь нагрузку:** Напряжение на шинах 220 кВ ПС «Заводская» (237.6 кВ) в пределах нормы, но близко к верхней границе. Рекомендуется включить дополнительную нагрузку или включить трансформаторы для распределения потоков мощности.
4. **Контроль реактивной мощности:** Проверить работу автотрансформаторов и компенсационных устройств на ПС «Городская» и «Узловая» для снижения напряжения.

Вывод: Система перегружена по напряжению из-за избыточной генерации (особенно на стороне ГЭС и ТЭЦ) при отключенных ключевых линиях. Требуется немедленное снижение генерации.

09:44:08

ГОЛОС: ВКЛ ○ МИС › Запросить данные или смоделировать сценарий... ОТПРАВИТЬ

ПАК ЦДЭС – Standoff-2025





ПАК ЦДЭС на ЦИПР-2025





ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ “МЭИ”

На что нацелен пилотный проект

01 **Виртуализация РЗА работает**

Функции защит и автоматики отделены от аппаратуры и выполняются как виртуальные терминалы на промышленных вычислительных платформах — жёсткая схема «одна функция — одно устройство» осталась в прошлом.

02 **Самовосстановление за миллисекунды**

При отказе любого физического устройства функции автоматически мигрируют на исправное оборудование — без участия человека и без потери защиты даже при множественных одновременных отказах.

03 **Цифровой двойник замыкает контур**

ЦДЭС непрерывно синхронизируется с реальным объектом; селективность и уставки проверяются расчётом, любые изменения сначала испытываются в двойнике и лишь затем применяются на объекте.

04 **ИИ, которому можно доверять**

Каждый ответ ИИ-ассистента персонала верифицируется моделированием в ЦДЭС; полностью локальное изолированное (air-gapped) развёртывание обеспечивает кибербезопасность и технологический суверенитет.

05 **Экономика подтверждает архитектуру**

Консолидация оборудования и отказ от избыточного резервирования повышают надёжность и снижают совокупную стоимость жизненного цикла (CAPEX + OPEX).

ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"

СМЕНА ПАРАДИГМЫ

Это не демонстрация технологий, а смена парадигмы

Проект меняет сам подход к проектированию, эксплуатации и развитию подстанций

от статичных конфигураций	→	**к адаптивным, самооптимизирующимся системам**
от аппаратного резервирования	→	**к программно-определяемой устойчивости**
от реагирования на отказы	→	**к предиктивному управлению на основе моделирования**

Российская научная школа не догоняет мировые тренды — она задаёт их.

Комбинация виртуализированных защит с миграцией функций, полнообъёмного живого цифрового двойника с автоматической актуализацией и ИИ-ассистента с обязательной верификацией ответов моделированием не имеет аналогов в мировой практике эксплуатации подстанций.

ИС РЗА ng.AIR + ЦДЭС + ИИ-ассистенты — эталонная, масштабируемая архитектура цифровой подстанции нового поколения: для подстанций любых классов напряжения, в России и за её пределами.

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

http://ЦДЭС.РФ