

ЦЕНТР ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
«ЦЕНТР ОПЕРЕЖАЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ»



ОТ РАЗРАБОТКИ ДО ВНЕДРЕНИЯ

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Реализация инновационного подхода для обеспечения надежного электроснабжения потребителей с применением ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети»

в т.ч. с использованием системы накопления энергии (СНЭЭ) на базе Smart-инвертора

Обеспечение надёжного энергоснабжения потребителей с использованием инновационных технических и программных продуктов

Наблюдающееся в последние годы физическое старение энергетической инфраструктуры и рост издержек ее эксплуатации – один из основных факторов нарастания числа случаев снижения качества электроэнергии.

Проблема отсутствия в часы пиковых нагрузок на участках сети ВЛ-0,4 кВ нормируемых ГОСТ 32144-2013 значений качества электроэнергии приобретает в настоящее время массовый характер. Более 60 % трансформаторов сети 6-10/0,4 кВ в настоящее время перегружены.

Наиболее сложной в этом отношении является ситуация в ОЭС Северо-Запада, Центра, Северного Кавказа и Урала.

Потенциальный рынок возможного применения ПО «Цифровой двойник»

| Дочерние компании ПАО Россети | Количество (шт.) ТП (РП) на балансе |
|-----------------------------------|--|
| АО Янтарьэнерго» | 4 744 |
| ПАО «Россети Волга» | 6-10/0,4 кВ – 47 018 |
| ПАО «Россети Юг» | 6-35 кВ – 31 288 |
| ПАО «Россети Сибирь» | 58 268 |
| ПАО «Россети Московский регион» | 43 018 |
| АО «Россети Тюмень» | 6-10 кВ – 7 228 |
| ПАО «Россети Центр» | ниже 35 кВ – 101 100 |
| ПАО «Россети Северо-Запад» | 37 574 |
| ПАО «Россети Ленэнерго» | 23 992 |
| ПАО «ТРК» (бренд «Россети Томск») | 3 264 |
| ПАО «Россети Центр и Приволжье» | 6-35/0,4 кВ – 67 000 |
| ОАО «МРСК Урала» | 37 188 |
| ПАО «Россети Северный Кавказ» | 29 801 |
| ПАО «Россети Кубань» | 23 644 |

В рамках реализации основных положений *Концепции развития рынка систем хранения электроэнергии в РФ* для расчёта вариантов выбора технического решения проблемы поддержания качества электроэнергии и надёжного энергоснабжения предлагается использовать *Программный комплекс «Цифровой двойник участка распределительной электросети»*

Программное обеспечение

**«Цифровой двойник участка
распределительной электрической сети»**

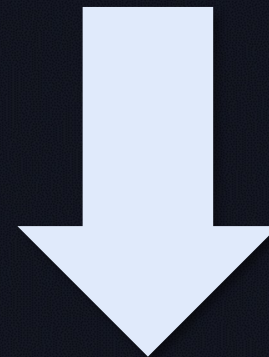
как уникальный способ расчёта вариантов
технического решения проблем качества
электроэнергии и надёжного энергоснабжения

Специалистами ЦПИ ЦОТЭ, и международной командой учёных «Сколковского института науки и технологий» разработана **методика по созданию цифрового двойника фрагмента электросетевого комплекса**

Созданный на её основе программный комплекс **ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети»** позволяет произвести расчёт вариантов технического решения проблем качества электроэнергии и надёжности энергоснабжения.

В соответствии с последовательностью разработанных алгоритмов программа выполняет следующие действия:

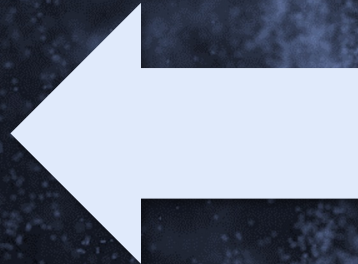
1. Построение сети из входных данных.
2. Определение потребления активной и реактивной мощностей потребителей для каждого момента времени.
3. Расчёт состояния сети.
4. Расчёт оптимального расположения СНЭЭ.
5. Расчёт профиля активной мощности СНЭЭ.
6. Расчёт профиля реактивной мощности СНЭЭ.



Цифровой
двойник участка
распределительн
ой электрической
сети (фидера)

Руководство пользователя ПО (ред.
1 от 18.08.2024)

ООО «Центр прикладных
исследований «Центр
опережающих технологий
электроэнергетики»



Корректность работы программных кодов верифицируется на примере реальной распределительной сети. Для обеспечения качественного результата верификация проводится в два этапа:

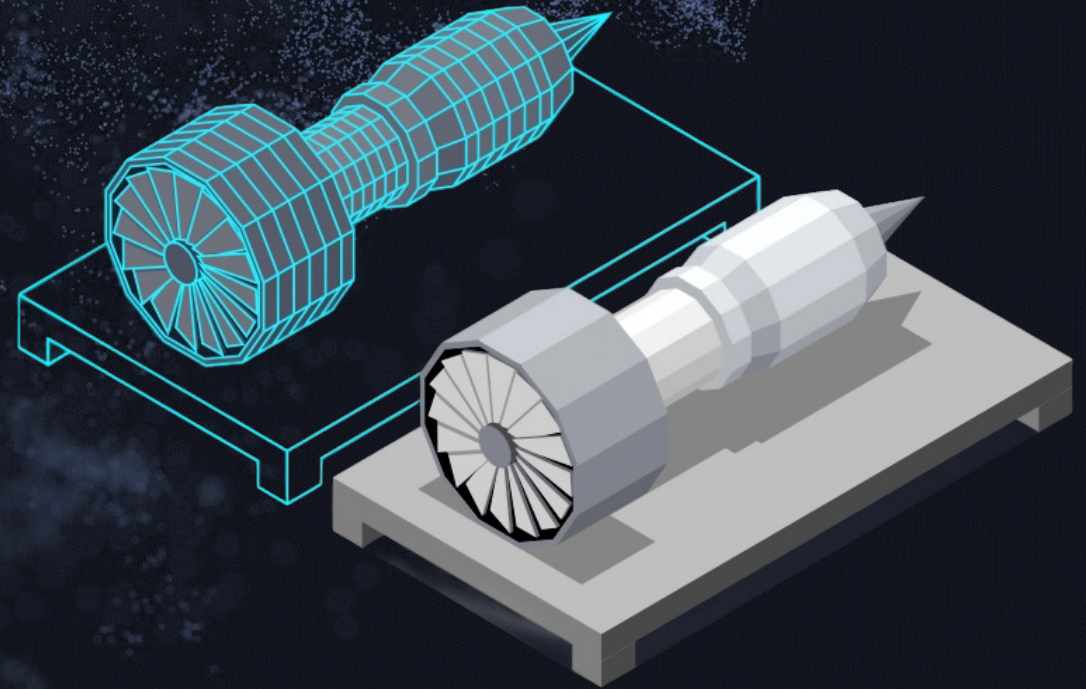
- (1) верификация с использованием библиотеки PandaPower;
- (2) верификация в программно-аппаратном комплексе реального времени RTDS (Real Time Digital Simulator).

Практическое использование
**ПО «Цифровой двойник участка
распределительной электросети»**
осуществляется с помощью созданного
дружественного интерфейса

Технико – экономический расчёт вариантов надёжного энергоснабжения потребителей

Использование интерфейса
***ПО «Цифровой двойник
участка распределительной
электросети»***

позволяет произвести расчёт вариантов
технического решения проблем качества
электроэнергии и надёжности
энергоснабжения для выбранного
участка сети ВЛ-0,4 кВ



Проблема

1

На участках сети ВЛ-0,4 кВ имеет место проблема снижения нормируемых ГОСТ 32144-2013 значений качества электроэнергии (уровня напряжения у конечного потребителя) ниже допустимых в часы пиковых нагрузок вследствие:

- выхода большинства присоединённых потребителей на максимальную допустимую мощность;
- набора нагрузки новым технологическим присоединением у группы потребителей.

Критерии выбора объекта

2

- 1) Наличие жалоб на качество электроэнергии в конце ВЛ-0,4 кВ и/или данные замеров или расчётные данные о потерях напряжения в конце ВЛ-0,4кВ.
- 2) Наличие преимущественно ВЛ-0,4 кВ большой протяжённости с сечением провода, не соответствующим фактической нагрузке.
- 3) Потери напряжения в часы пиковых нагрузок превышают значение, нормируемое ГОСТ 32144-2013, на трёх фазах.
- 4) Необходимость соблюдения сроков присоединения новых потребителей и/или существенное увеличения мощности существующих.
- 5) Систематическое отключение участков распределительной сети (перегруженные и/или выработавшие свой ресурс ТП).

Подготовка исходных данных

3

Программный комплекс «Цифровой двойник участка распределительной электросети» позволяет произвести расчёт вариантов решения проблемы повышения качества энергоснабжения потребителя как на основе фактических, так и «проектных» данных фрагмента электрических сетей о:

1
Структуре
сети

2
Величинах
потребления
по
«зимним»/«летним»
дням

3
Получасовых
значений
напряжения
по
«зимним»/«летним»
дням

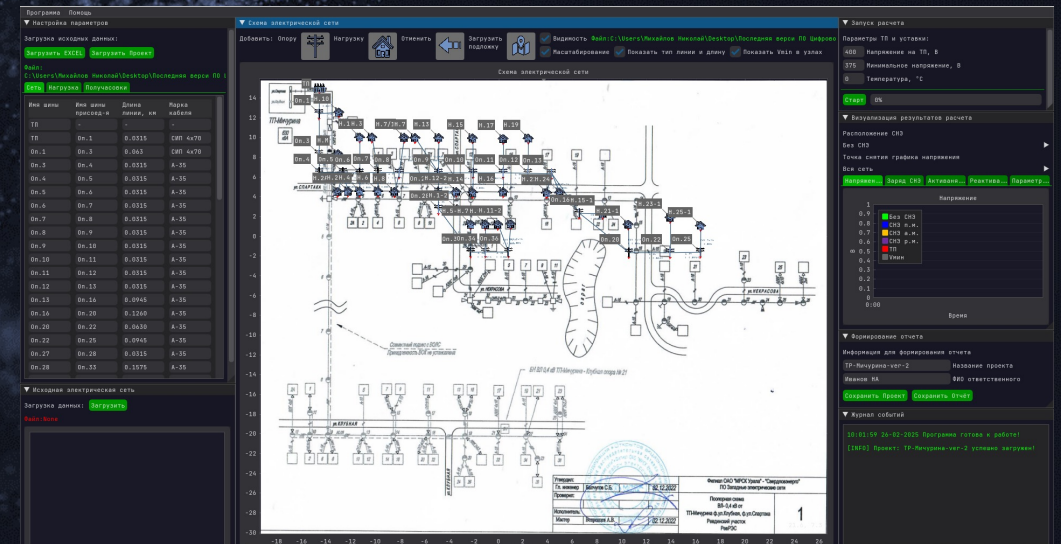
Подготовка исходных данных

В соответствии с исходными данными производится построение цифровой модели даже при условии неполноты входных данных для случаев:

1. Существующей/увеличенной мощности ТП.
2. Фактического состояния линий/возможной реконструкции ЛЭП с изменением их пропускной способности.
3. Фактической архитектуры сети/строительства дополнительных ВЛ/КЛ.
4. Целесообразности установки статических компенсаторов.
5. Установки Системы Накопления Энергии.

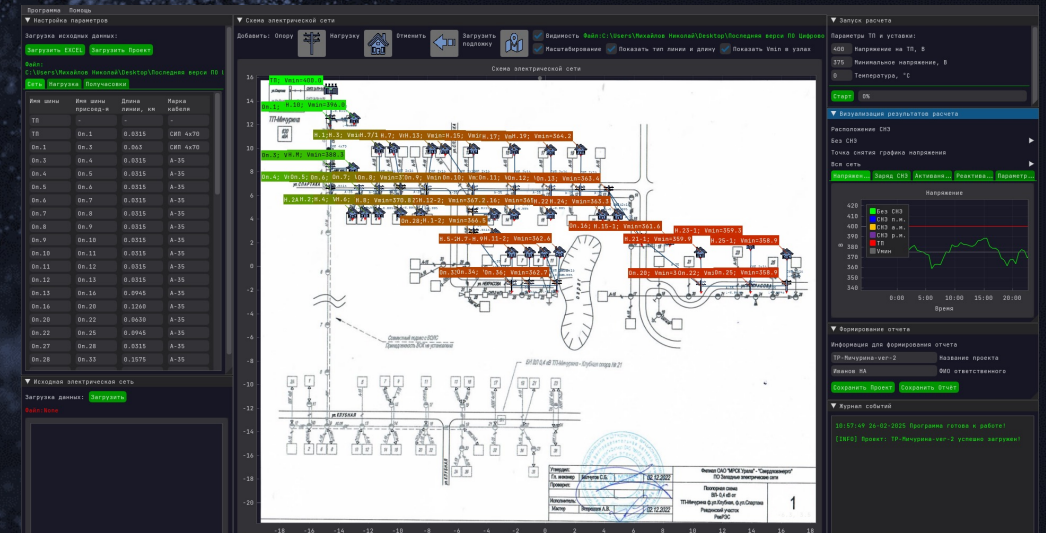
Определение места и характера проблемы

Интерфейс ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети» позволяет на основе данных о фактическом состоянии сети (длинах и марках кабелей), величинах потребления получасовых значений напряжения в «критические» зимние и летние дни, визуализировать существующие однолинейные схемы, в том числе, на основе поопорной схемы участка сети в удобном для пользователя масштабе.



Определение места и характера проблемы

Последующим этапом работы расчётного модуля ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети», в том числе, является идентификация (визуализация) проблемы отсутствия нормативных параметров качества (линейного напряжения) в точках присоединения потребителей выбранного фрагмента сети в которых превышает значение, нормируемое ГОСТ 32144-2013.



Укрупнённый расчёт затрат при выборе варианта решения проблемы повышения качества электроэнергии

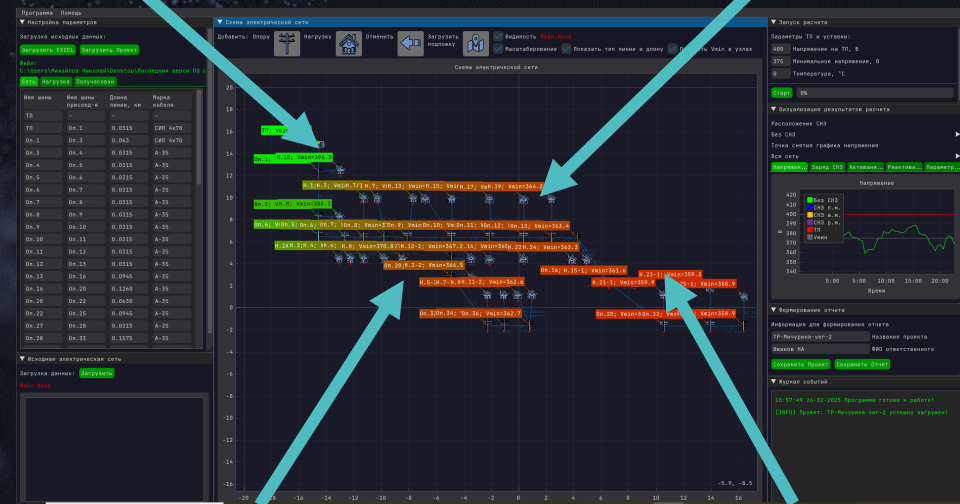
Соблюдение нормативных сроков подключения потребителя может оказаться самым важным параметром при выборе варианта решения, в случае запроса на *технологическое присоединение* нового потребителя или существенного увеличения нагрузки существующего

При выборе варианта решения проблемы поддержания качества электроэнергии и надёжности энергоснабжения **необходимо также учитывать:**

- затраты капитального характера;
- эксплуатационные затраты;
- расходы на ремонт в течение периода эксплуатации оборудования;
- влияние **косвенных** затрат связанных с изменением расхода электроэнергии при её транспорте как в стоимостном, так и в натуральном выражении.

Увеличение мощности ТП

Установка статического компенсатора



Реконструкция ЛЭП

Установка СНЭЭ

Выбор варианта технического решения проблемы надёжного и качественного энергоснабжения потребителей участка сети, на основе ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети» путём применения

Систем Накопления Энергии

Для решения проблемы отсутствия нормативного качества электроэнергии у потребителей

Для соблюдения нормативных сроков технологического присоединения нового потребителя или группы потребителей

Для решения проблем надёжности энергоснабжения в качестве источника бесперебойного энергоснабжения

ПЕРВЫЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей на основе использования СНЭЭ

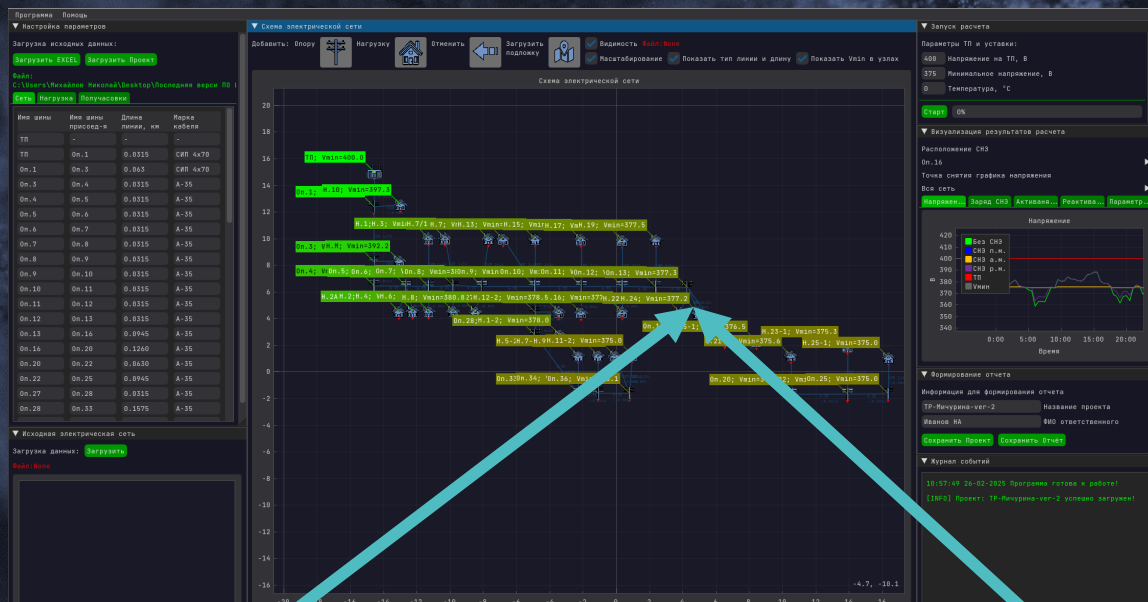
В случае выбора ***варианта решения*** проблемы ***отсутствия нормативного качества электроэнергии***,

путём применения Систем Накопления Энергии на основе фактических данных выбранного участка сети Программного комплекса «Цифровой двойник участка распределительной электросети» позволяет:

- ***Произвести модельный расчёт оптимальной точки установки СНЭЭ;***
- ***Определить основные параметры СНЭЭ с использованием активной и реактивной мощности и ёмкость накопителя;***
- ***Определить активную, реактивную и полную мощность инвертора.***



ПЕРВЫЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей на основе использования СНЭЭ



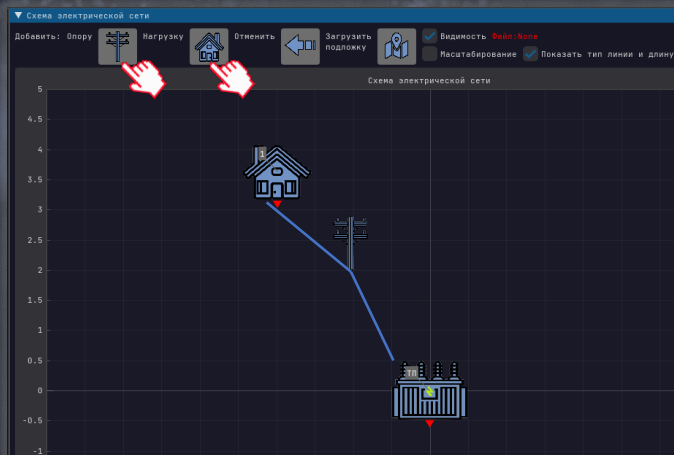
Точка установки СНЭЭ (outdoor/indoor)



Основные функции использования СНЭЭ:

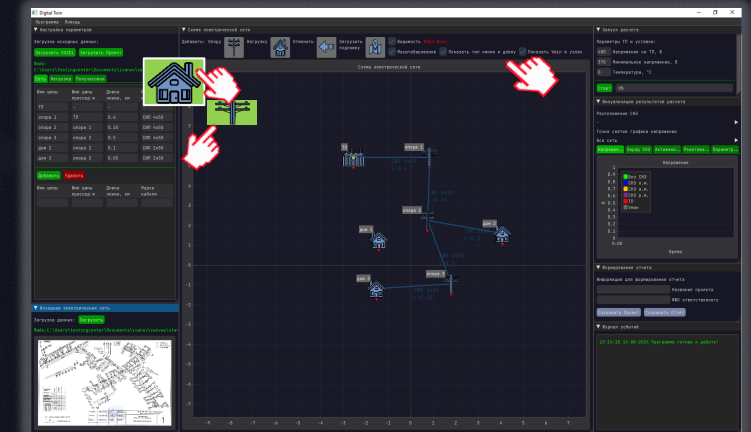
- 1. Основной источник энергии** – полное обеспечение электроснабжения.
- 2. Аварийный источник энергии** – нерегулярное полное или частичное обеспечение электроснабжения.
- 3. Управление графиком потребления** – регулярное управление величиной мощности потребления.
- 4. Регулирование системных параметров** – управление параметрами режима работы электрической системы (напряжением) в целях повышения её качества, снижения потерь электрической энергии, а также экономии оптимизации затрат.

ВТОРОЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей на основе использования СНЭЭ

В случае выбора **варианта решения** проблемы поддержания качества энергии **в случае набора нагрузки новым технологическим присоединением группой потребителей**, путём применения Систем Накопления Энергии на выбранном участке сети интерфейс Программного обеспечения «Цифровой двойник участка распределительной электросети» позволяет:



1. Внести проектные изменения в однолинейную схему участка сети путём добавления нового потребителя  и необходимых питающих линий 



ВТОРОЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей на основе использования СНЭЭ

2. На основе заявленных новым потребителем величинах потребления по «зимним»/«летним» дням и получасовых значений напряжения по «зимним»/«летним» дням определить:

- Параметры СНЭЭ с использованием активной и реактивной мощности и ёмкость накопителя;**
- Активную, реактивную и полную мощность инвертора, учитывающие изменение суммарной мощности потребителей на данном участке сети.**

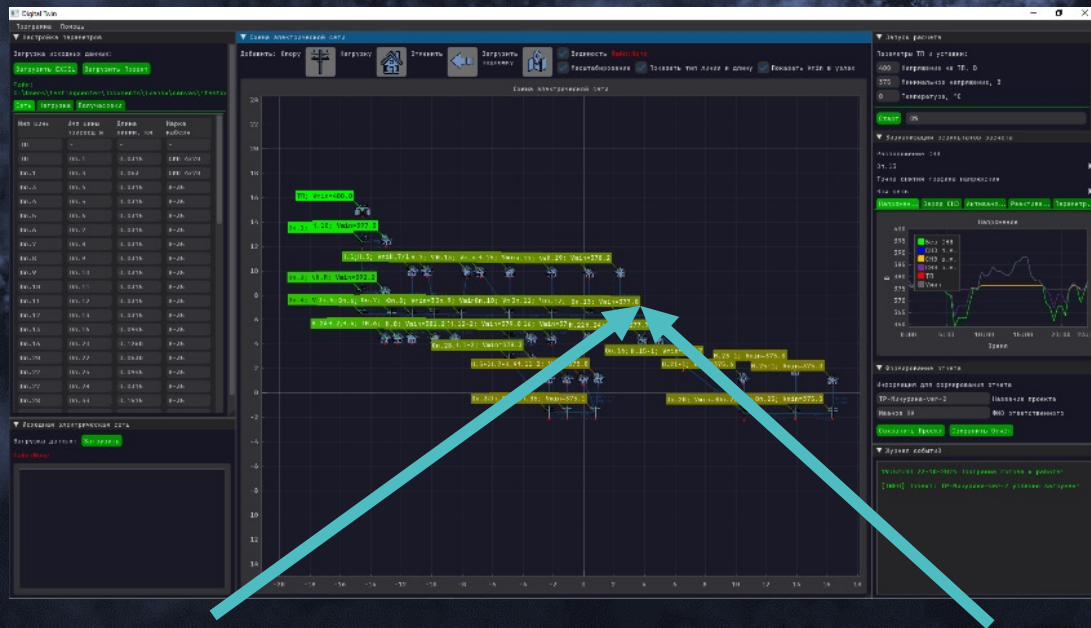
ТРЕТИЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей на основе использования СНЭЭ

В случае выбора *варианта технического решения* проблемы систематического отключения участка распределительной сети, в качестве источника бесперебойного питания применяется Система Накопления Энергии как:

1. Основной источник энергии – в случае полного/частичного обеспечения электроснабжения потребителей в течение нормативного и/или заявленного времени.
2. Аварийный источник энергии – в случае нерегулярного полного или частичного обеспечения электроснабжения потребителей в течение нормативного и/или заявленного времени.



ТРЕТИЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей на основе использования СНЭЭ



Точка установки СНЭЭ
(outdoor/indoor)



Для этих случаев на основе фактических данных выбранного участка сети Программный комплекс «Цифровой двойник участка распределительной электросети» позволяет произвести модельный расчёт оптимальной точки установки СНЭЭ.

ТРЕТИЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей на основе использования СНЭЭ

В случае *применения Систем Накопления Энергии, в качестве источника бесперебойного питания* Программное обеспечение «Цифровой двойник участка распределительной электросети» также позволяет на основе статистических данных **SAIFI, SAIDI** определить **основные параметры СНЭЭ** с использованием активной и реактивной мощности и **ёмкость накопителя**, а также активную, реактивную и полную **мощность инвертора**.

В частности даже при переключениях на высокой стороне 6,10,35 кВ в диапазоне от 5 мс и до 10 сек. возможно устранить провалы напряжения, которые возникают при переключениях.

Для этого необходимо установить СНЭЭ с наименьшей ёмкостью АКБ, но с большим разрядным током 23С, что позволит потребителям не ощущать «просадки» напряжения, а предприятиям, производящим продукцию, не прерывать технологический цикл производства.



В случаях перерывов энергоснабжения большей длительности для резервирования энергоснабжения потребуется использование СНЭЭ имеющих большую ёмкостью АКБ.

Это позволит поддерживать энергоснабжение участка сети в полном или заявленном аварийном в объёме в качестве аварийного источника до устранения потери

подключения на высокой стороне.

Потенциальные пользователи ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети»

- Электросетевые организации ПАО «Россети», муниципальные и частные электросетевые организации.
- Энергоснабжающие организации.
- Потребители электроэнергии, подключённые к участку электросетевого комплекса.
- Производители оборудования для Систем Накопления Энергии.
- Потребителей данных работы Систем Накопления Энергии по всему спектру собранных данных.



Направления развития

ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети»

A.

Использование в режиме реального времени в качестве исходной информации о потребляемой энергии и мощности потребителей показаний приборов учёта самих потребителей и/или энергоснабжающих организаций.

B.

Разработка баз данных удельных капитальных затрат для оборудования и строительно-монтажных, эксплуатационных затрат, а также ремонтных расходов электроустановок и само оборудования при использовании ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети».

C.

Доработка алгоритма ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети» для проведения технико-экономического сравнения вариантов использования Систем Накопления Энергии и/или Дизель генераторов.

D.

Разработка алгоритма ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети» для оптимизации:

- оптимальных точек установки СНЭЭ на каждом из выбранных участков сети (района электрических сетей) с учётом возможной параллельной работы СНЭЭ для данной группы;
 - основных параметров СНЭЭ (локаций, активной и реактивной мощностей и т.д.) на группе участков сети (района электрических сетей) с учётом их возможной параллельной работы.
- Разработка пользовательских приложений по мониторингу и анализу работы, а также разработка системы сбора обработки и анализа данных работы СНЭЭ для группы участков сети.

ЧЕТВЕРТЫЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей с использованием СНЭЭ на базе Smart-инвертора

На этапе практического использования *ПО «Цифровой двойник участка распределительной электросети»* и опыта установки *систем накопления* специалистами ЦПИ ЦОТЭ совместно со специалистами НТИ МЭИ, НПО «Вектор» и ООО «Интеллектуальные электроэнергетические системы», разработан:

**Программно-аппаратного комплекс
«Интеллектуальная система накопления
электроэнергии на базе Smart-инвертора»**

ЧЕТВЕРТЫЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей с использованием СНЭЭ на базе Smart-инвертора

Smart-инвертор является частью комплексной системы накопления и распределения электроэнергии, предназначенной для реализации широкого спектра электрических сервисов.

Областью применения устройства Smart-инвертора являются системы электроснабжения переменного тока низкого и среднего напряжения.

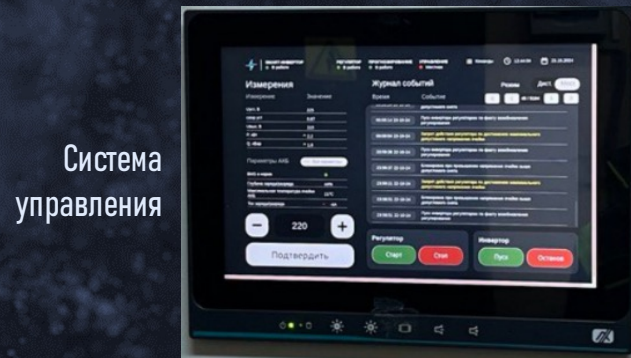


Уникальность разработанного Программно-аппаратного комплекса *«Интеллектуальная система накопления электроэнергии на базе Smart-инвертора»*, заключается в том, что он позволяет в зависимости от условий работы участка электрической сети 0,4 кВ, определять характер регуляционного воздействия посредством:

- управления потоками активной и/или реактивной мощности;
- статического регулирования напряжения в зависимости от напряжения или частоты;
- управления режимом работы накопителя электроэнергии;
- прогнозирования электропотребления;
- удалённый мониторинг и управление



ЧЕТВЕРТЫЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей с использованием СНЭЭ на базе Smart-инвертора



Система управления



Удаленный мониторинг и управление

МЭК 60870-5-104

MODBUS RTU

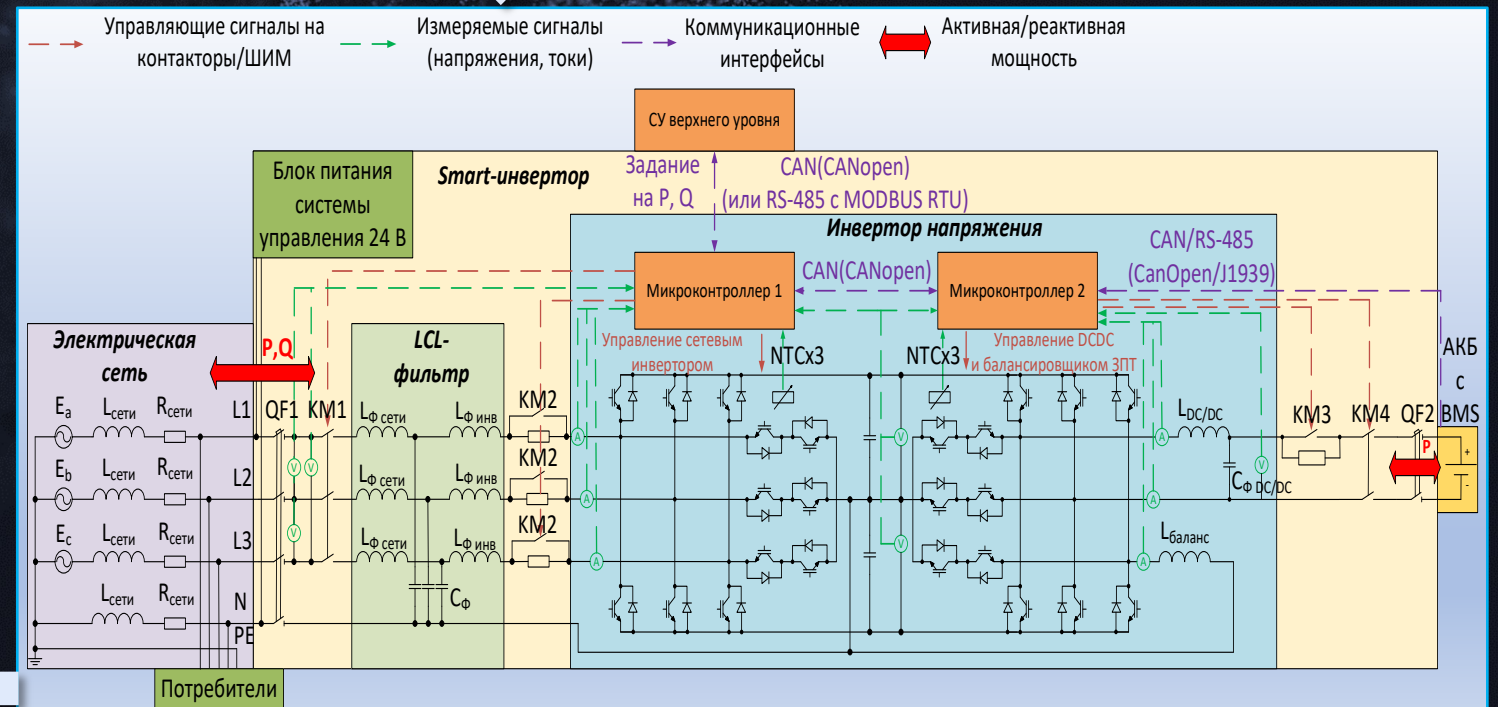
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Измерительный преобразователь



$U_P, Q, \cos\phi$

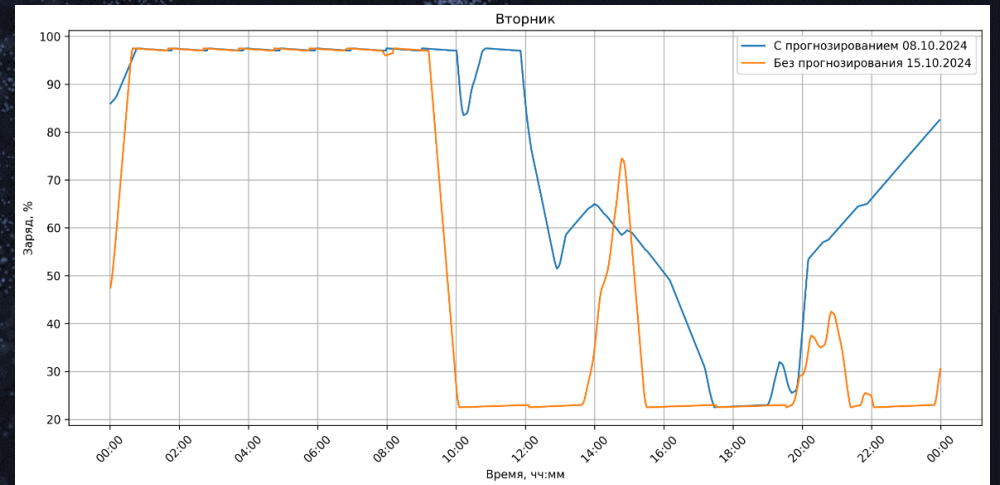
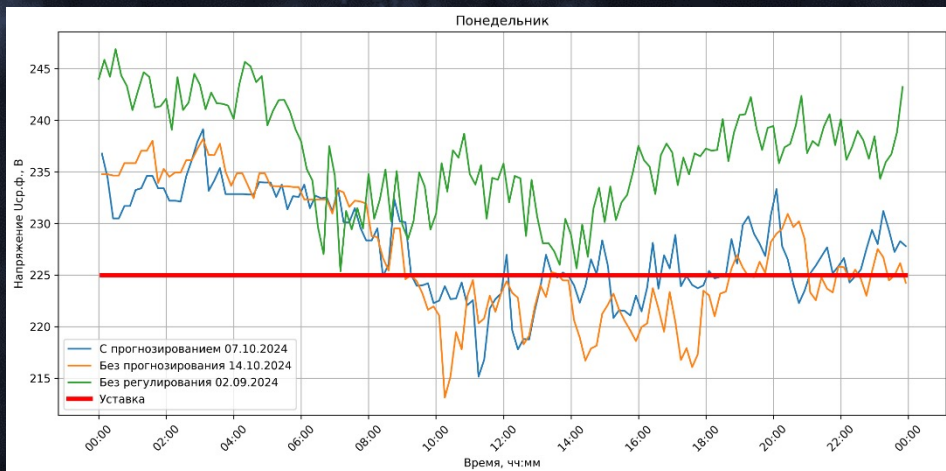
I_U



ЧЕТВЕРТЫЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей с использованием СНЭЭ на базе Smart-инвертора

Состав проверок и испытаний:

- управление режимом работы аккумуляторной батареи;
- автономный режим работы на изолированную от питающей электрической сети группу потребителей;
- дистанционный мониторинг состояния и управления режимом работы по протоколу МЭК 60870-5-104;
- прогнозирование электропотребления.



- 1) Работа в условиях реальной эксплуатации (8 мес.)
- 2) Выравнивание графика изменения нагрузки
- 3) Работа на несимметричную нагрузку
- 4) Компенсация реактивной мощности
- 5) Оптимизация режима работы АКБ за счет прогнозирования электропотребления

В процессе опытно-промышленной эксплуатации (29.06.2023 - 31.10.2024) опытного образца ПАК «SMART-ИНВЕРТОР» проведены испытания ОПЭ в результате которых подтвержден заявленный функционал.

ЧЕТВЕРТЫЙ вариант надёжного энергоснабжения потребителей с использованием СНЭЭ на базе Smart-инвертора

1 Разработка РКД

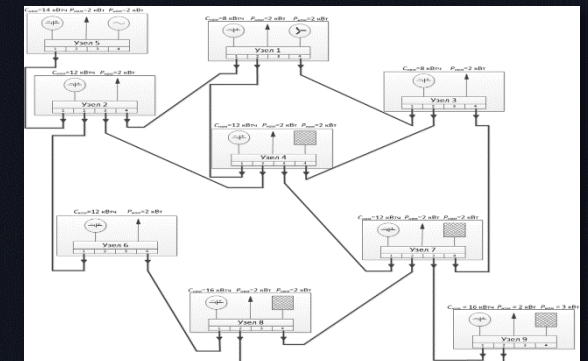
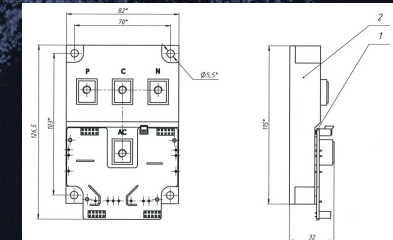
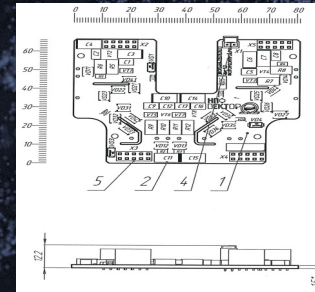
Зарубежные силовые полупроводниковые компоненты Mitsubishi Electric

2

Отечественные силовые полупроводниковые компоненты НПО Энергомодуль

Перспективы развития:

- Включение в контур регулирования параметров мощности электропотребления
- Возможность автоматического переключения между автономным и параллельным режимами работы относительно электрической сети
- Независимое пофазное управление потоками активной/реактивной мощности
- Внедрение функции мультиагентного управления режимом работы для возможности интеллектуального распределенного управления электроснабжением
- Организация локальных розничных рынков электроэнергии и цено-зависимое управление электропотреблением



Оценка Результатов Интеллектуальной Деятельности

В рамках реализации проекта ТрансЭнергоСнаб и ЦПИ ЦОТЭ

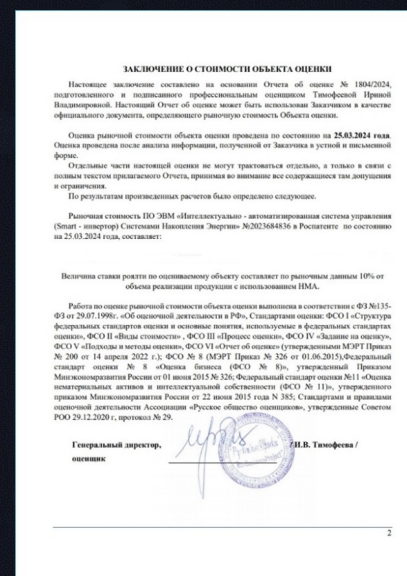
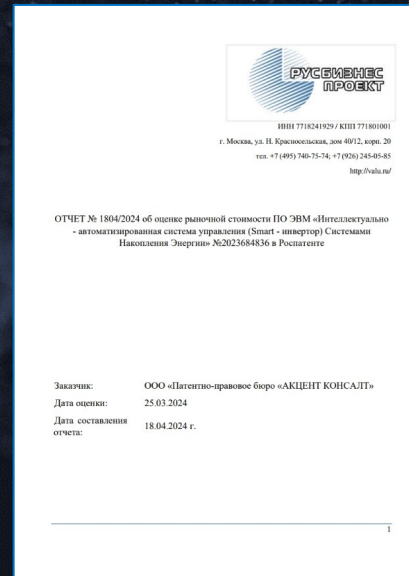
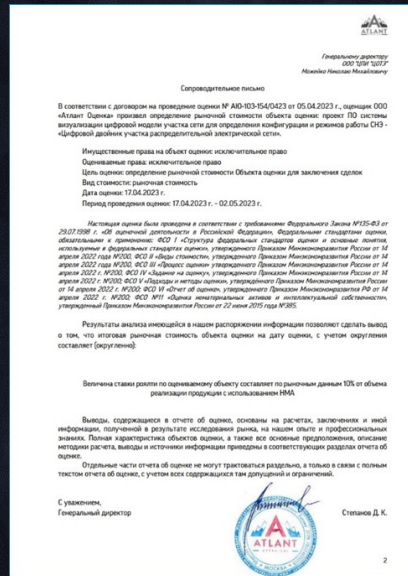
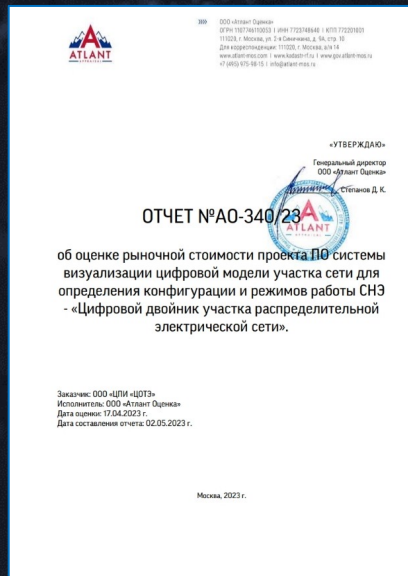
«Новые принципы управления энергетическими системами» созданное специалистами общества Программное Обеспечение

«Цифровой двойник участка распределительной электрической сети»

и Программно-аппаратный комплекс «Интеллектуальная система накопления электроэнергии на базе Smart-инвертора»

прошли в установленном порядке оценку в качестве

Результатов Интеллектуальной Деятельности



ЦЕНТР ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
«ЦЕНТР ОПЕРЕЖАЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ»



ЦПИ ЦОТЭ



БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!