

Семинар «Информационные технологии и телекоммуникации в электроэнергетике с учетом опыта СИГРЭ в создании цифровой электроэнергетики: цели, драйверы, риски и возможности».

Организатор - подкомитет D2 РНК СИГРЭ

Цифровая электроэнергетика и цифровизация распределительных электрических сетей на уровне базового звена - Цифрового РЭС

Доклад подготовил - независимый эксперт в области электроэнергетики

Дорофеев Владимир Валерианович

г. Москва

июнь 2018 года

Основные составляющие баланса электроэнергии по РФ (2017 год)

Источники генерации	Объем производства (млрд. кВтч.)	В % от общего объема	В % к 2016 году	КИУМ (%)
ТЭС	622,4	58,0	- 1,0	46,3
ГЭС	187,4	17,4	+ 0,4	42,3
АЭС	202,9	18,9	+ 3,3	83,1
НиВИЭ	0,7	0,065	+ 13,1	14,7
Энергоустановки потребителей	60,3	5,6	+ 0,9	нет данных
Итого произведено	1073,7	100		
В т.ч. по ЕЭС РФ	1039,9	96,8		
Итого потреблено	1059,7		+0,5	
Передано за пределы РФ	14	1,3	- 19,1	

Итоги проведенного в конце 2017 года конкурсного отбора проектов ВИЭ, с вводом до 2022 года включительно показали рекордные результаты:
 всего отобрано около **2,3 ГВт**, в том числе - **1,7 ГВт - ВЭС, 0,5 ГВт СЭС и 0,05 ГВт малых ГЭС.**

Цифровизация - инструмент интеллектуализации энергетики на основе:

Технологическими процессами на всех уровнях производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии

Экономическими процессами взаимоотношений между субъектами электроэнергетики и потребителями на основе эффективных рынков электроэнергии и услуг

Онтологического представления единого распределенного информационно - технологического пространства (ЕРИТП), создающего условия для общей эффективной системы управления

Развитием электроэнергетики на основе моделирования будущих состояний, включая использование новых видов энергии

Взаимодействием с другими структурами и организациями, обеспечивающими условия функционирования и развития экономики и социальной сферы

Цифровая интеллектуальная электроэнергетическая система (ЦИЭЭС)

- это электроэнергетическая система, целевое состояние которой, базируется на эталонной архитектуре, использующей цифровые технологии, образующие единое распределенное информационно - технологическое пространство, объединяя информацию, начиная от первичных датчиков состояния объектов энергосистемы и ее пользователей, до единых технологических, экономических, прогнозных и поведенческих моделей, с интеграцией решений по управлению посредством цифровых платформ, обеспечивающих быструю, гибкую, надежную, безопасную и экономически эффективную адаптацию всех видов и типов отношений между объектами и субъектами энергосистемы, для оптимального удовлетворения постоянно меняющихся потребностей в энергоресурсах и способах их использования, в условиях постоянного появления (развития) новых технологий.

Цифровая интеллектуальная электрическая сеть (ЦИЭС):

- Интеллектуальное силовое оборудование со встроенной диагностикой и активные (управляемые) элементы сети;
- Цифровые датчики электрических параметров с информацией от цифровых измерительных трансформаторов с оптоволоконной передачей сигналов, информация о состоянии внешней среды;
- Интеллектуальные системы учета электроэнергии и услуг, обеспечивающие возможность управления электропотреблением или выдачей в сеть мощности от распределенной генерации и НиВИЭ;
- Мощные цифровые защищенные информационные системы и системы связи (базовая часть ЕРИТП);
- Высокая степень наблюдаемости и автоматизации управления элементами сети и общим режимом ее работы, способность реакции на экономические факторы сети и ее клиентов, в т.ч. ценовые сигналы рынка э/э и услуг;
- Функционирование в режиме реального времени с самодиагностикой и ситуативной адаптацией режима, в том числе самовосстановление после аварий.

Цифровая интеллектуальная энергетическая система, как синтез энергетической и информационной систем

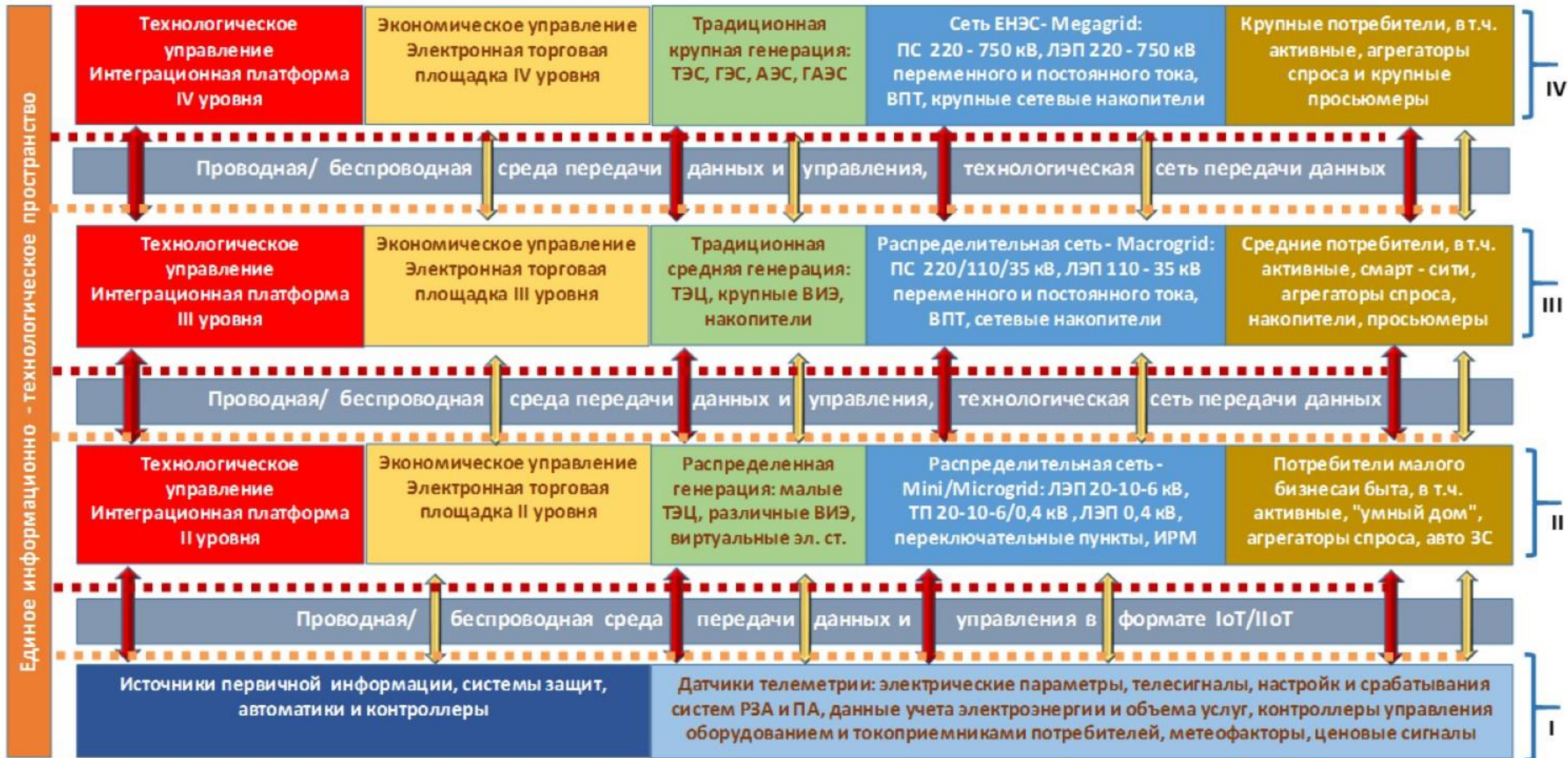
Основные характеристики ЦИЭЭС

- Простая, доступная и эффективная интеграция любых типов объектов производства, накопления и потребления энергии в энергосистему через общую сеть с их участием в процессе поддержания баланса мощности,
- Прозрачность, наблюдаемость, удобная и эффективная эксплуатация, снижение капитальных и эксплуатационных затрат для субъектов энергетики, пользователей энергосистемы и государства,
- Гибкость (адаптивность) в организации функционирования и развития в зависимости от требований субъектов отношений и изменения условий (режимы функционирования, планирование развития, совершенствование технологий и экономических отношений),
- Соблюдение экономических интересов всех участников энергетического рынка и инфраструктурных организаций за счет организации конкурентных отношений при обменах энергией у взаимном оказании услуг.

Условия перехода к ЦИЭЭС

- Создание необходимой инфраструктуры (ЕРИТП, система коммуникаций, торговые площадки),
- Готовность потребителей и новых субъектов отношений к интеграции в ЦИЭЭС,
- Развитие систем распределенной генерации и технологий хранения энергии (накопителей),
- Трансформация систем управления и готовность субъектов ЦИЭЭС к этой трансформации,
- Существенное изменение нормативно – правовой и законодательной базы.

Общая (эталонная) архитектура интеллектуальной цифровой энергосистемы



■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ Технологические сигналы и управление

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ Экономические сигналы и управление

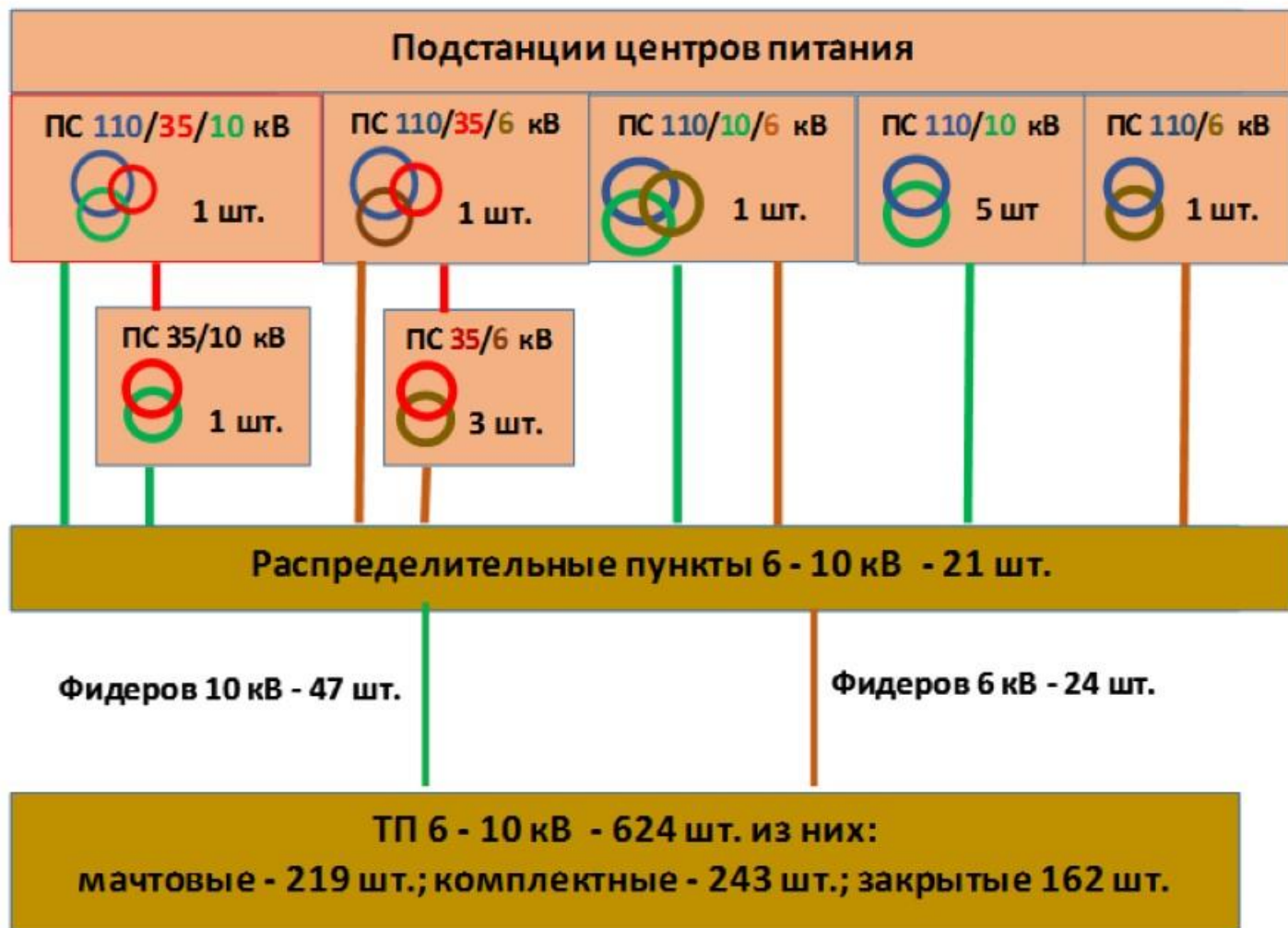
Электрические сети России

Общая протяженность электрических сетей России составляет 5349,15 тыс. км., в том числе:

- Сети ЕНЭС 220 – 1150 кВ – 158,14 тыс. км.;
- Распределительные сети 110 – 35 кВ – 1192,8 тыс. км.; 6/10/20 – 0,4 кВ – 3998,21 тыс. км.,
- Протяженность распределительных сетей, входящих в структуру ПАО «Россети» 2102 тыс. км.
- Трансформаторная мощность подстанций – 404573 МВА.
- Количество ТП 6-35/0,4 кВ - 465698 шт.
- Количество РЭС (входящих в структуру ПАО «Россети», включая ДЗО) – около 400 единиц
- Кроме того, сети данного класса напряжения обслуживают порядка 3000 ТСО, входящие в различные структуры (коммунальная сфера, потребители и самостоятельные бизнес – единицы).

Распределительные электрические сети имеют высокий уровень физического (более 50%) и морального износа, высокий уровень потерь (от 12%, а в отдельных районах до 25%), низкий уровень наблюдаемости и автоматизации, а также недостаточную степень взаимодействия со своими клиентами

Пример построения структуры сети в зоне обслуживания одного из РЭС ПАО «МОЭСК»

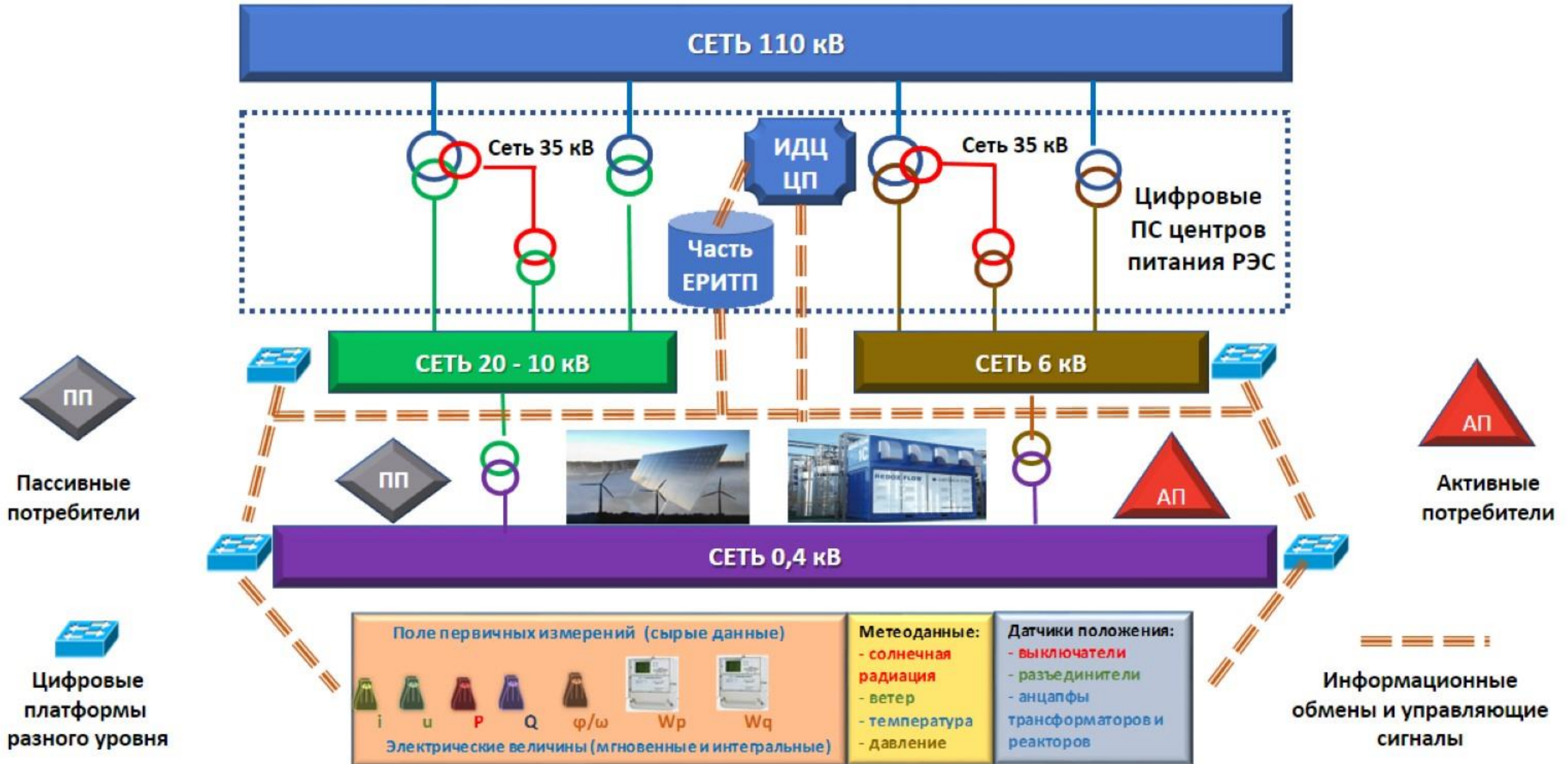


От 13 подстанций – центров питания отходит 71 фидер напряжением 10 – 6 кВ. При этом, количество фидеров, отходящих от этих ПС сильно отличается:

- минимум – 1 от ПС 35/6 кВ;
- максимум – 15 от ПС 110/10 кВ.

С учетом большого количества ТП 6-10 кВ (624 шт.), РЭС обслуживает разветвленную сеть 0,4 кВ. (количество фидеров 0,4 кВ неизвестно)

Вариант общей архитектуры цифрового РЭС



Условия, учитываемые при разработке программ цифровизации РЭС

Главное условие цифровизации – максимальное удовлетворение требований клиентов сети (клиентоориентированность). Для этого необходимо оценить:

- Масштабы и особенности территории, обслуживаемой РЭС: площадь, населенность, виды населенных пунктов, климат, геологию и возможно ряд других факторов;
- Текущее состояние производственных активов: подстанций питающих центров, сетей 20-10-6 кВ, количество, виды и состояние ТП 20-10-6/0,4 кВ, сетей 0,4 кВ;
- Количество, состав и характеристики клиентов сети, условия подключения и набор основных требований к сети;
- Направления развития территории: наличие бизнес – проектов, их характер (сфера деятельности), возможность привлечения инвесторов, в том числе в развитие сети;
- Готовность администрации территории участвовать или хотя бы поддерживать развитие сети в направлении цифровизации.

Разнообразие условий функционирования РЭС для территорий России определяет необходимость классификации (кластеризации) РЭС, объединяющих их в группы по основным характерным признакам.

ПАО «Россети» на базе ПАО «МОЭСК» выполняет работу по кластеризации с целью типизации работ по модернизации этого класса сетей (типовые решения), направленные на упрощение и ускорение процесса проектирования и снижение затрат на конкретные решения при выполнении работ по цифровизации РЭС. Отработка набора наиболее эффективных решений будет выполнена в рамках проекта «Прототип Mini/Microgrid».

Технологические решения для цифровых подстанций питающих центров

- Компактное силовое оборудование и РУ с встроенными системами диагностики,
- Оптические измерительные трансформаторы с цифровым выходом,
- Автоматические системы контроля и регулирования уровня и качества напряжения,
- Автоматические системы измерений и контроля параметров режима подстанции, включая системы удаленного сбора данных с ТП, подключенным к фидерам подстанции,
- Адаптивные многофункциональные системы защит и автоматики оборудования подстанции и отходящих линий,
- Автоматические системы учета электрической энергии и контроля исполнения услуг сети по фрагментам Mini/Microgrid,
- Информационные системы: сбор, передача, хранение и доступ к информации части общего ЕРИТП, закрепленного за данной цифровой подстанцией питающего центра,
- Системы автоматического управления фрагментом Mini/Microgrid (интеллектуальный диспетчерский центр ЦП), включая управление пропускной способностью сети на основе контроля загрузки ее элементов и изменения топологии сети путем использования активных элементов на подстанциях и ЛЭП, включения в систему управления спросом,
- Цифровые платформы с выходом на защищенные системы связи и обменов информацией, размещаемые на данной подстанции в рамках общей архитектуры цифрового РЭС.

Технологические решения для ЛЭП

- Оптимальные конструктивные решения: длина и тип линий (воздушные или кабельные), учитывающие характерные условия и особенности прокладки трасс линий: типы грунта, вид местности, тип опор или для кабельных линий вид прокладки (воздушный, подземный в коллекторе, подземный без коллектора),
- Использование геоинформационной системы при оперативном управлении сетью и при разработке программ развития,
- Использование автоматических интеллектуальных пунктов секционирования (переключения) для управления пропускной способностью сети и резервированием участков сети, включая переключение на дублирующий источник питания,
- Контроль состояния и пропускной способности линий электропередачи в зависимости от класса напряжения и видов линий с учетом условий прохождения трасс,
- Применение интеллектуальных управляемых присоединений с использованием силовой электроники при подключении различных видов НИВИЭ, накопителей энергии и потребителей,
- Применение устройств управления нагрузкой по фазам (симметрирование трехфазной системы) за счет переключения однофазной нагрузки в трехфазной сети 0,4 кВ.

Технологические решения для клиентов сети

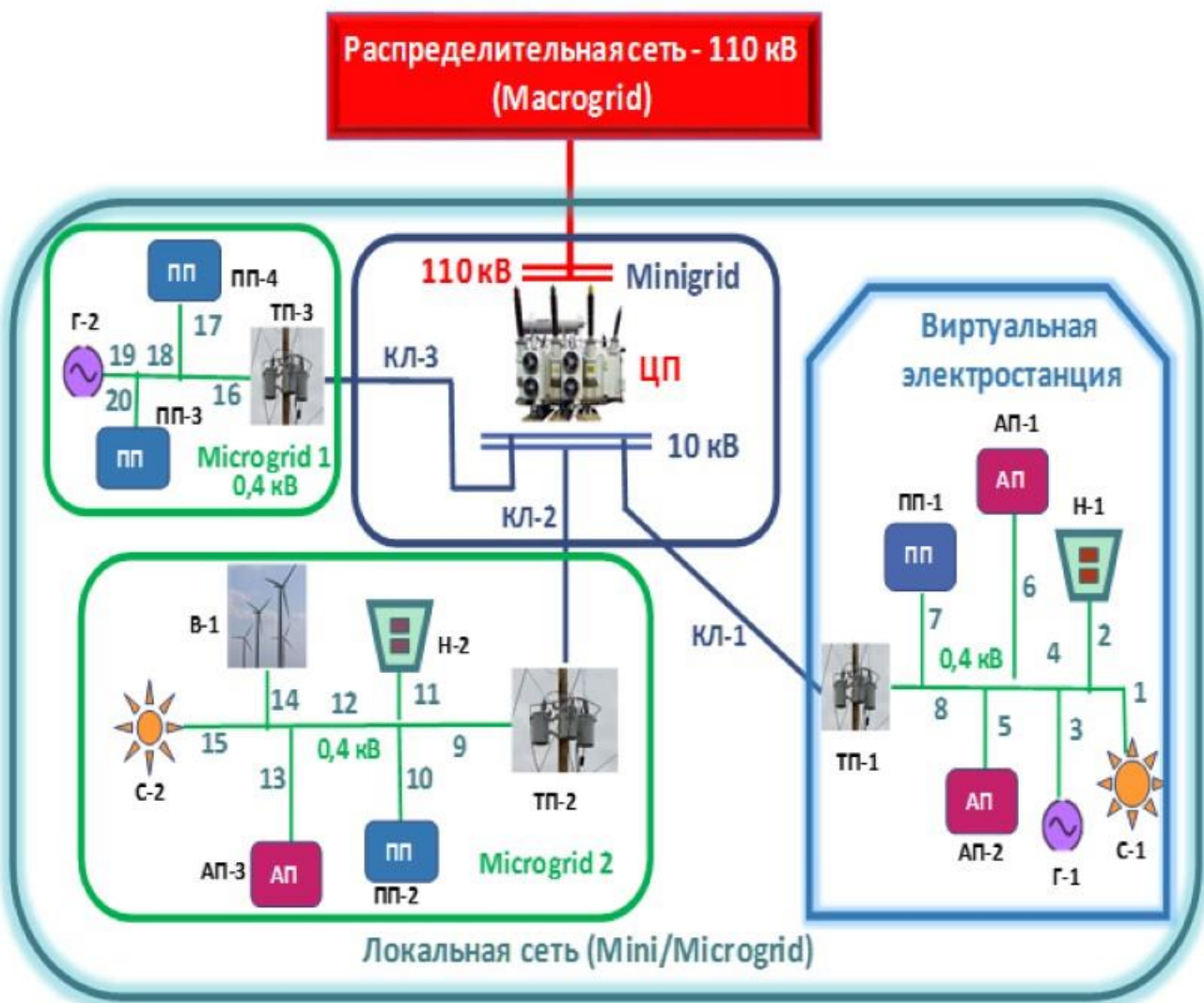
- **Учет и контроль исполнения характерных условий потребления при заключении договоров присоединения:**
 - возможность управления договорной мощностью подключения,
 - исполнение условий по надежности и качеству поставки электроэнергии,
- **Возможность участия потребителя в рынке услуг: управление спросом и регулирование нагрузки, включая использование накопителей энергии, поддержание качества электроэнергии (регулирование напряжения и использование активных фильтров подавления высших гармоник),**
- **Предоставление возможности оптимального использования потенциала различных видов генерации при соблюдении согласованных в договорах присоединения условий надежности и качества поставляемой электроэнергии:**
 - управление поставками э/э в сеть от НиВИЭ с учетом внешних факторов, включая изменение гидрометеословий,
 - возможность участия в резервировании поставок электроэнергии с учетом скорости подключения к сети и скорости изменения нагрузки по сигналам автоматики,
 - учет ценовых факторов рынка при поставках электроэнергии и оказании услуг;
- **Контроль сетью исполнения требований к качеству поставляемой электроэнергии: поддержание формы кривой напряжения и отсутствие (подавление) высших гармоник.**

Проект «Прототип Mini/MicroGrid» - основа для создания цифровых РЭС

Проект направлен на создание и отработку комплексных решений для цифровых РЭС и включает:

- ❖ Набор технологических решений, повышающих гибкость сети 6-10-20/0,4 кВ и ее взаимодействие с системами распределенной генерации, включая НиВИЭ;
- ❖ Разработку системы распределенного управления элементами Mini/Microgrid и ее взаимодействия с смежными (по горизонтали и по вертикали) системами управления;
- ❖ Отработку архитектуры и платформенных решений нижнего уровня цифровой сети;
- ❖ Разработку платформы для организации конкурентного локального (уровня РЭС) рынка электрической энергии и услуг;
- ❖ Организацию (разработку правил) развития конкурентных отношений субъектов на рынках этого уровня;
- ❖ Разработку основных приложений для субъектов локального рынка и инфраструктурных организаций электроэнергетики.
- ❖ Тестирование возможностей распределенных систем управления, в том числе использующих (рыночные) отношения на рынке электроэнергии и услуг на базе современных технических средств и программных продуктов.
- ❖ Тестирование производительности, возможности тиражирования и масштабирования предлагаемых комплексных решений, использованных при создании прототипа Mini/Microgrid .
- ❖ Опытно-промышленная эксплуатация фрагмента ИЭС с оценкой возможной эффективности комплексных решений, используемых при создании проекта.
- ❖ Обучение персонала, использующего предлагаемые комплексные решения.

Потенциальный состав субъектов уровня сети Mini/Microgrid в рамках РЭС



Вариант представления кластера РЭС:

- Центр питания - цифровая подстанция 110/20(10)(6) кВ;
- Сети напряжением 20/10/6 кВ - фидеры, отходящие от питающего центра;
- Трансформаторы 20-10-6/0,4 кВ (РП, КТП, МТП, ЗТП), присоединенные к указанным фидерам;
- Любые потребители, присоединенные к сети 20/10/6 кВ;
- Генерация всех типов, присоединенная к сети 20/10/6 кВ;
- Накопители электроэнергии, подключенные к сети 20/10/6 кВ.
- Сети 0,4 кВ – линии, отходящие от шин ТП 20/10/6 кВ;
- Любые потребители, присоединенные к сети 0,4 кВ;
- Генерация всех типов, присоединенная к сети 0,4 кВ;
- Накопители электроэнергии, подключенные к сети 0,4 кВ.

Комплекс инновационных решений для Mini/Microgrid

Новые решения в силовой части Minigrid

Увеличение пропускной способности и управляемости сети, снижение потерь:

- параллельная работа АББМ и малой генерации;
- активные силовые элементы с «искусственной параллельной работой» по реактивной мощности в режиме РВ;
- МАСУ силовых управляемых элементов сети (ВПТ, АББМ, СКРМ);
- Энергетические роутеры для управления потоками мощности и присоединения к сети генерации и потребителей.

Возможность реконфигурации сети 6-20 кВ за счет установки реклоузеров

Разгрузка «головных» силовых трансформаторов за счет включения в сеть источников распределенной генерации

«Умная» мультиагентная САУ (МАСУ) Mini/Microgrid

Распределенные синхронизированные измерения процессов по токам и напряжениям

Распределенная автоматика и МАСУ в темпе РВ:

- реконфигурацией топологии электрической сети;
- напряжением и реактивной мощностью по суммарной нагрузке узлов сети в темпе процесса;
- «умными» электроприемниками, используя технологическую сеть промышленного интернета;
- источниками распределенной генерации по ценовым сигналам торговой площадки Microgrid.

Платформа МАСУ и ее сопряжение:

- с технологическими агентами силового оборудования и устройств ССПИ, РЗА, ПА, АСУ;
- с коммерческими агентами субъектов рынка Mini/Microgrid и Macrogrid.

Электронная (мультиагентная) торговая площадка для рынка э/энергии и услуг .

Возможности развития бизнеса электросетевой организации (в т.ч. в РЭС)

- Предоставление информационных услуг клиентам сети;
- Развитие возможностей системы энергосервисных контрактов:
 - Услуги подключения к сети генерирующих источников распределенной генерации, включая НиВИЭ и накопители э/э,
 - Организация обслуживания этих видов генерирующих источников,
 - Предоставление маршрута поставки электроэнергии для реализации договоров прямых поставок электроэнергии,
 - Предоставление услуг по управлению этими видами генерации в части поставок электроэнергии на рынок и предоставления услуг регулирования мощности,
 - Выполнение функций оператора блокчейн на локальной сети РЭС.

Ожидаемые основные эффекты от цифровизации РЭС

Эффекты для электросетевой организации

- Возможность получения дополнительных доходов за счет:
 - увеличения полезного отпуска при подключении новых нагрузок (в том числе - зарядных станций электротранспорта);
 - развития новых видов услуг для участников рынка электроэнергии и энергетических услуг;
 - изменения роли в отношениях со сбытовыми компаниями.
 - Использование новых технологий управления сетевыми активами (обслуживание по состоянию, оценка рисков).
 - Возможные экономические эффекты от использования распределенных энергоресурсов и НиВИЭ за счет:
 - снижения затрат на технологическое присоединение;
 - снижения технических потерь электроэнергии;
 - снижения затрат на закупку электроэнергии для покрытия потерь.
 - Использование новых подходов к сокращению коммерческих потерь электроэнергии (мобильные измерения, ведение расчетной модели сети 10-0,4 кВ).

Эффекты для клиентов сети

- Изменение условий подключения к сети распределенной генерации, в том числе НиВИЭ,
- Создание возможности взаимодействия генерации и потребителей на основе локального рынка, включая возможность заключения прямых договоров при участии сети,
- Обеспечение доступа клиентов сети к использованию единого распределенного информационно – технологического пространства.

Заключение

- ❖ Цифровизация электроэнергетики – это путь к созданию высоко автоматизированной, действительно интеллектуальной энергосистемы.
- ❖ Процесс создания интеллектуальной энергосистемы – это кропотливая работа на достаточно длительном интервале времени, которая требует:
 - Изучения и освоения последних отечественных и зарубежных разработок этого направления;
 - Выполнения большого объема новых научно – исследовательских и опытно – конструкторских работ, направленных на разработку принципиально новых технологических, экономических и организационных решений;
 - Существенных финансовых затрат;
 - Создания моделей и прототипов фрагментов энергосистемы нового типа с отбором на основе этих моделей наиболее эффективных решений для последующего масштабирования и перехода к функционированию полноценной интеллектуальной энергосистемы,
 - Новых подходов к повышению квалификации персонала, как занятого разработкой решений, так и для последующей эксплуатации.
- ❖ Начинать процесс преобразований необходимо с ядра энергосистемы – электрической сети и самого массового ее звена – распределительных сетей уровня РЭС.