



РОССИЙСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ

РМЭФ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ФОРУМ



Включения установок возобновляемой энергетики в энергоузлы гарантированного электроснабжения

Тягунов Михаил Георгиевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия.

Перес Москоте Даниэль Адриан, к.т.н., доцент кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия.

29.03.2025

17.04.2025

1



РОССИЙСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ

РМЭФ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ФОРУМ



РИСКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- К РИСКАМ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОКТРИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ОТНЕСЕНЫ:
 - **УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ** В МИРОВОМ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ
 - **НЕСОГЛАСОВАННОЕ РАЗВИТИЕ ОТРАСЛЕЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ**, ВКЛЮЧАЯ ЭКСПОРТ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ ОРГАНИЗАЦИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ.

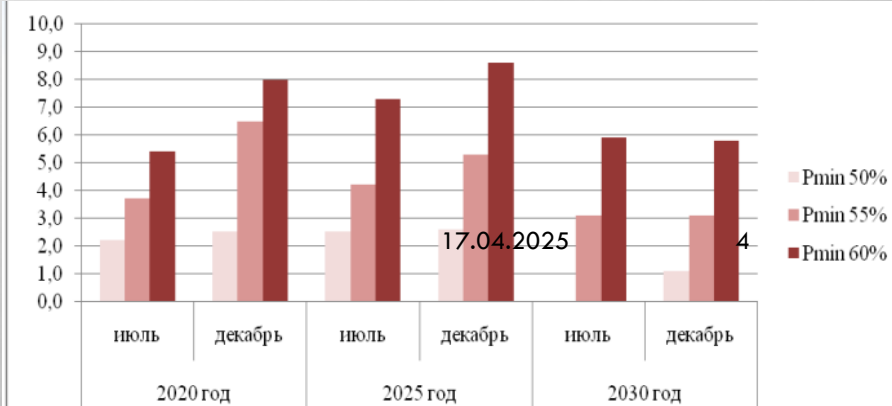
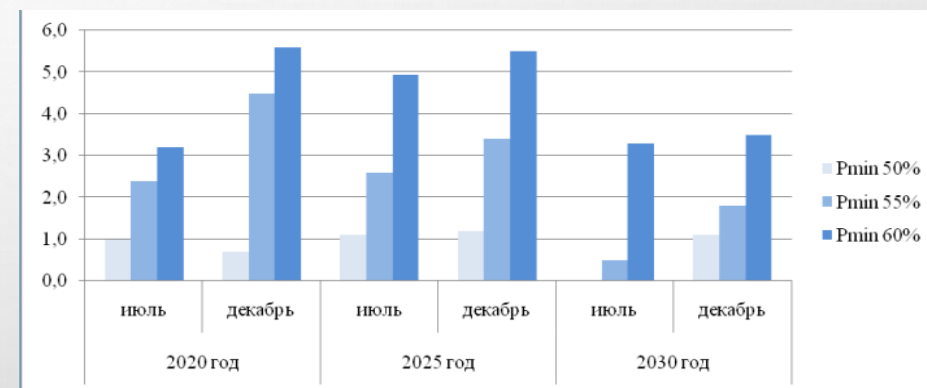
НАРУШЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ

1. ПОТЕРЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ НЕКООРДИНИРОВАННОМ ВВОДЕ АЭС И ВИЭ
2. НАРУШЕНИЕ ЗАКОНА РАЗНООБРАЗИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОДНОГО ВИДА ЭНЕРГИИ (ЭЛЕКТРИЧЕСТВО НА ТРАНСПОРТЕ, В УПРАВЛЕНИИ, ОТОПЛЕНИИ)
3. НАРУШЕНИЕ ПРИНЦИПА РАЗУМНОСТИ ОБЪЕМА ИНФОРМАЦИИ, КОТОРУЮ СПОСОБНЫ ПРЕОБРАЗОВАТЬ ЛЮДИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.

ПОТЕРЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ НЕКООРДИНИРОВАННОМ ВВОДЕ АЭС И ВИЭ

- В РЯДЕ ОЭС ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РФ НАБЛЮДАЮТСЯ ПРОБЛЕМЫ С БАЛАНСОМ МОЩНОСТИ В ПИКОВЫЕ НОЧНЫЕ ЧАСЫ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ (НЕКОМПЕНСИРОВАННЫЕ ИЗБЫТКИ МОЩНОСТИ).
- ИЗБЫТКИ МОЩНОСТИ ВОЗНИКАЮТ ПРИ НЕДОСТАТОЧНОЙ ГЛУБИНЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ АЭС И ВИЭ
- ВОЗМОЖНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЕЭС РОССИИ ПЕРЕТОКАМИ МЕЖДУ СМЕЖНЫМИ ОЭС ОГРАНИЧЕНЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ СЕЧЕНИЯ.

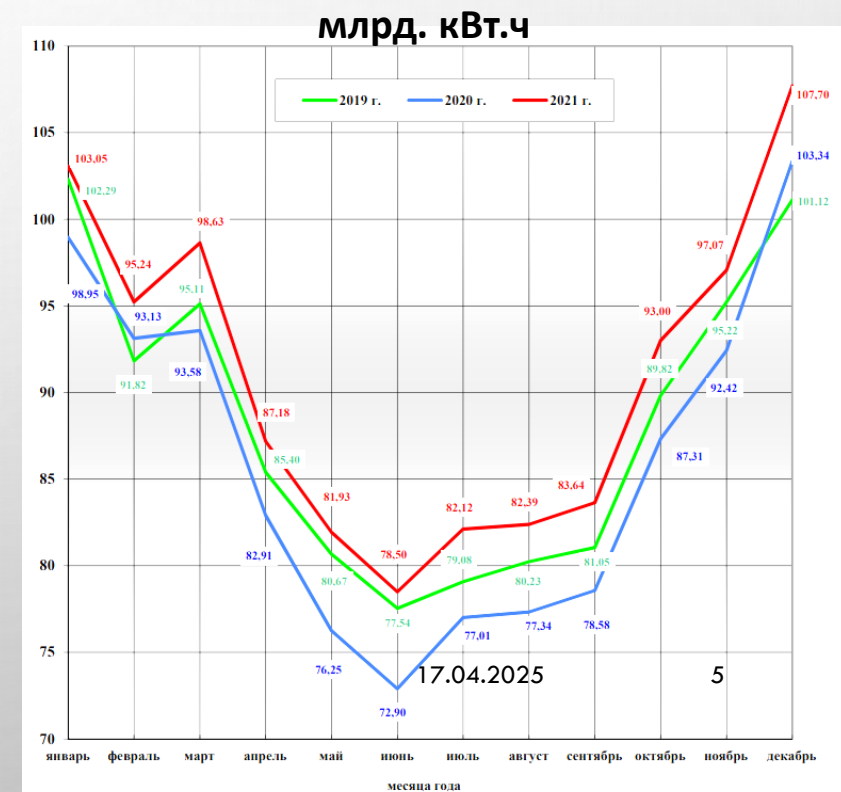
Некомпенсированные избытки мощности
рабочего и выходного дней



НЕСОГЛАСОВАННОСТЬ ВВОДИМОЙ МОЩНОСТИ И ЕЕ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

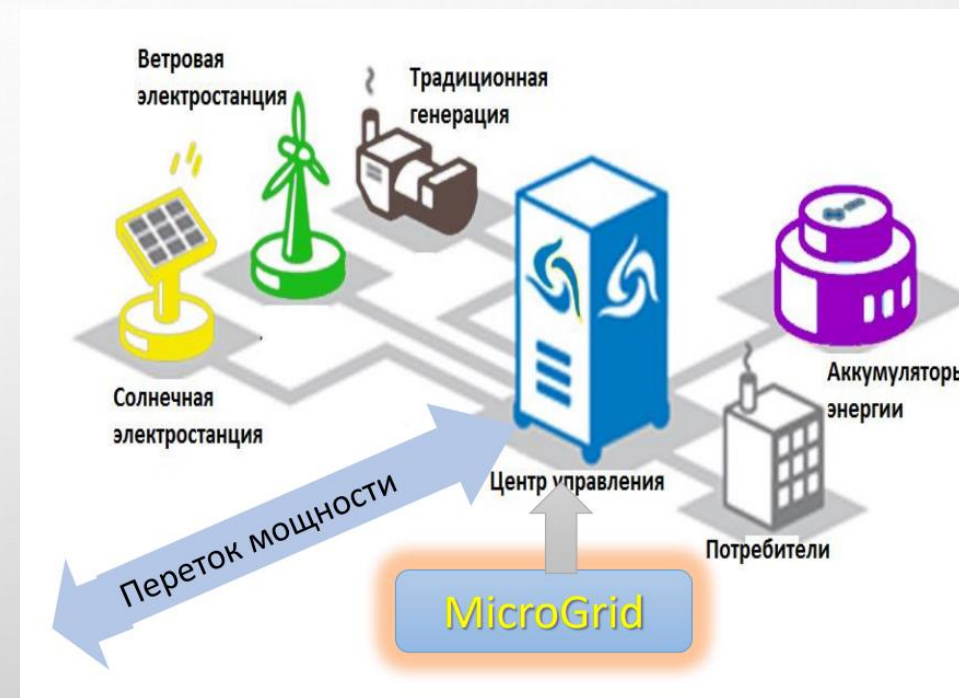
- ГОДОВОЙ МАКСИМУМ ПОТРЕБЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЕЭС РОССИИ В 2021 ГОДУ ЗАФИКСИРОВАН НА УРОВНЕ 161,4 ГВТ.
- ВЫПУСКАЕМЫЕ РЕЗЕРВЫ МОЩНОСТИ НА ЧАС ПРОХОЖДЕНИЯ ГОДОВОГО МАКСИМУМА ПОТРЕБЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЕЭС РОССИИ СОСТАВИЛИ 31,7 ГВТ, Т.Е. ОКОЛО 20%
- ТРЕБУЕМАЯ ГЛУБИНА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СОСТАВЛЯЕТ ПОРЯДКА 25%

Динамика потребления электроэнергии в ЕЭС России (2019, 2020, 2021 гг.)



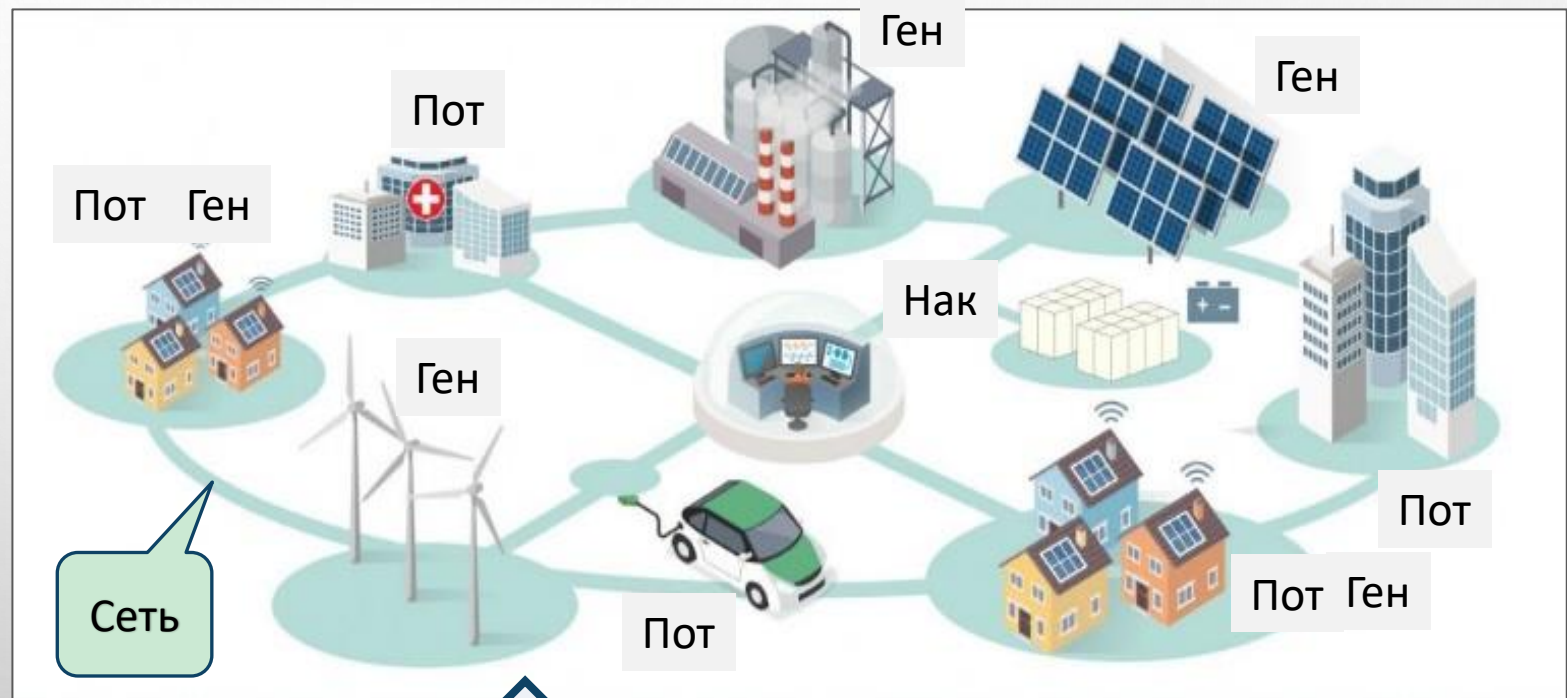
ЖИВУЧЕСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ И СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ СОХРАНЯТЬ ХОТЯ БЫ ЧАСТЬ ФУНКЦИОНАЛА ПРИ В АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НАЗЫВАЕТСЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЖИВУЧЕСТЬЮ, КОТОРАЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ.
- ЭТО ЗНАЧИТ, ЧТО ЧАСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ, НЕ ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЕЕ НОРМАЛЬНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ В ЧАСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ, ДОЛЖНЫ ДОПОЛНЯТЬСЯ СРЕДСТВАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОЙ МОЩНОСТИ



ПРИНЯТАЯ СТРУКТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

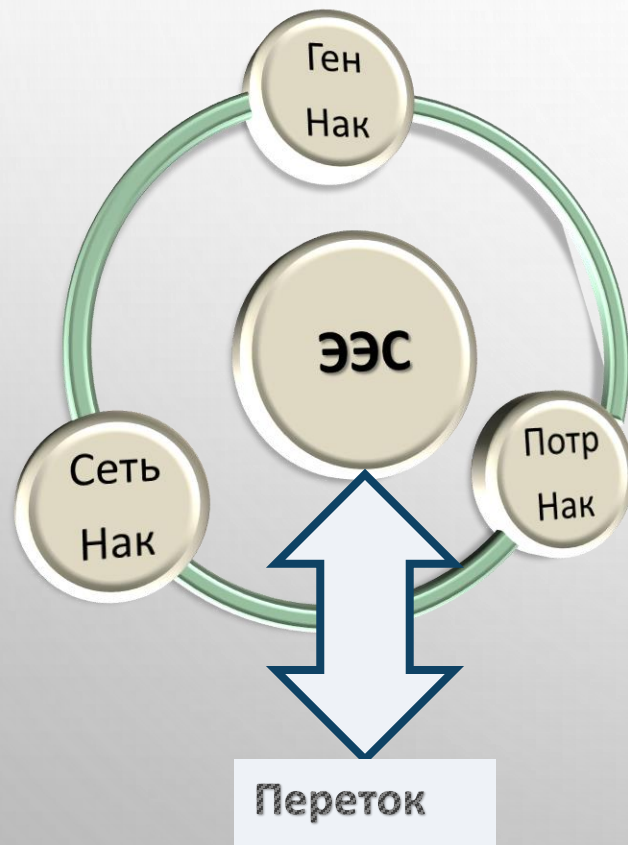
- ГЕН – ГЕНЕРАТОРЫ
- ПОТ – ПОТРЕБИТЕЛИ
- НАК – НАКОПИТЕЛИ
- ПОТ-ГЕН – ОБЪЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
- СЕТЬ – ТРАНСПОРТНАЯ-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ.
- ЭЭС – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА



ЭЭС

Переток

СТРУКТУРНЫЙ ИНВАРИАНТ ЭЭС



- Составляющие баланса мощности инвариантного узла ЭЭС:

Генератор-накопитель+

+передатчик/ распределитель-накопитель+

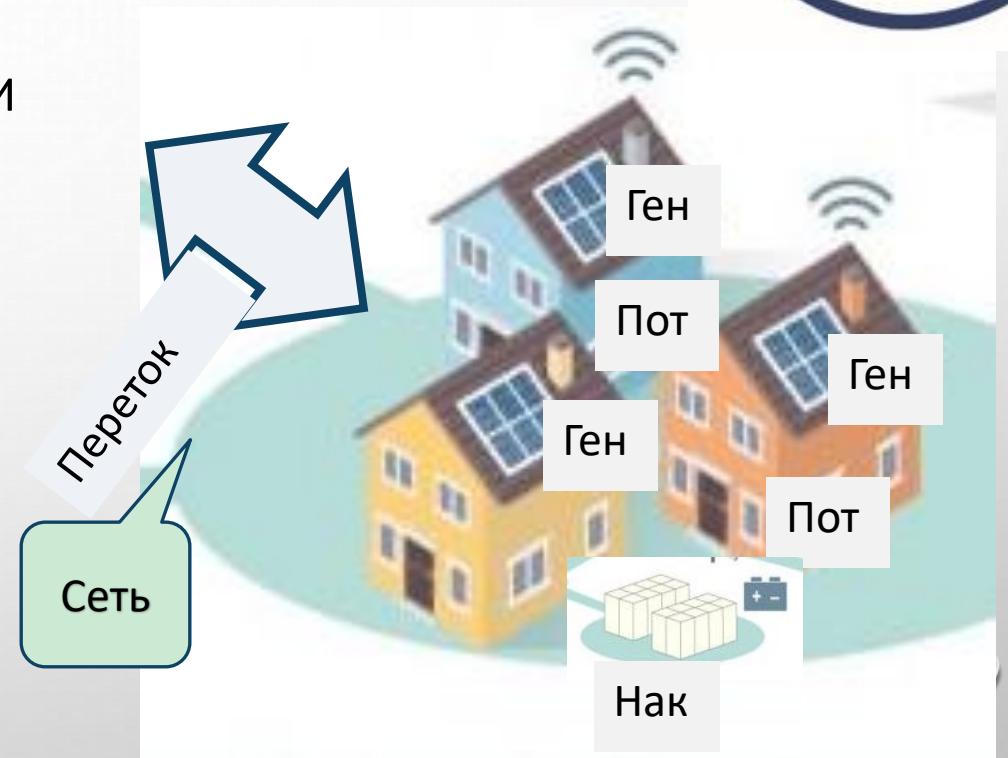
+потребитель-накопитель+ внешний переток ≤ 0

- Критерий формирования СИ ЭЭС:

$$P_{\text{ген}}^{\text{рег}} + P_{\text{пот}}^{\text{рег}} + P_{\text{пер}} = 0 \text{ при } P_{\text{пер}} \Rightarrow \min$$

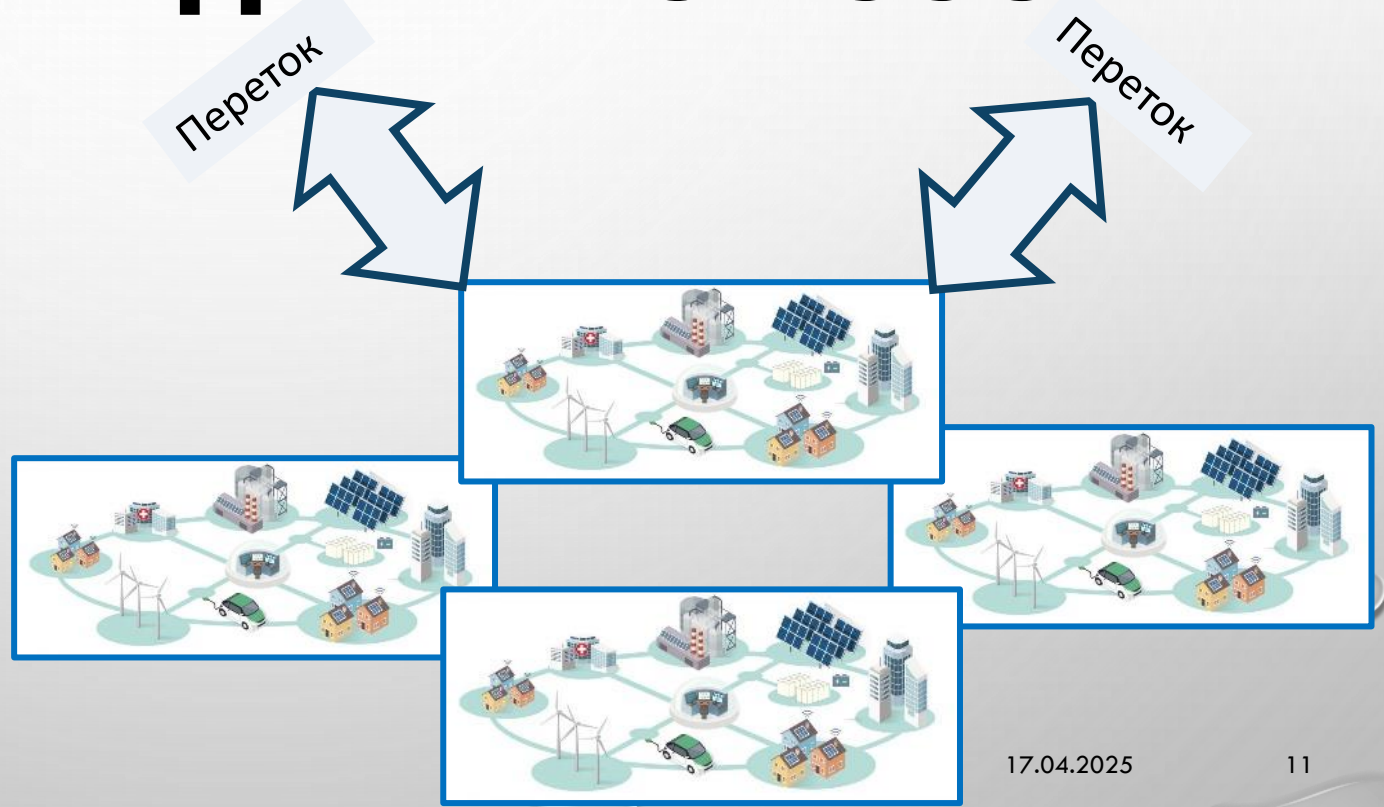
СТРУКТУРНЫЙ ИНВАРИАНТ В МИКРО-ЭЭС

- **ПОТРЕБИТЕЛЬ** -
МНОЖЕСТВО ПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПРИ
СОЕДИНЕННЫЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
- **ГЕНЕРАТОР** – УСТРОЙСТВО, ВЫРАБАТЫВАЮЩЕЕ КАКОЙ-
ЛИБО ВИД ЭНЕРГИИ (ОБЪЕКТ МИКРОГЕНЕРАЦИИ)
- **НАКОПИТЕЛЬ** ЭНЕРГИИ – УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРИЕМА,
ХРАНЕНИЯ И
- **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ** – СЕТЬ, ОБЪЕДИНЯЮЩАЯ
ПОТРЕБИТЕЛЯ, ГЕНЕРАТОРЫ И НАКОПИТЕЛИ (В СОСТАВЕ
ГЕНЕРАТОРОВ, ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИЛИ СЕТИ)
- **ПЕРЕТОК** – ОБМЕН ЭНЕРГИЕЙ С ВНЕШНИМИ
ИСТОЧНИКАМИ/ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ



СТРУКТУРНЫЙ ИНВАРИАНТ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭЭС

- ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ ИЕРАРХИЧЕСКИ ВЛОЖЕННОЙ ЭЭС В СОСТАВЕ СБАЛАНСИРОВАННЫХ ЭНЕРГОУЗЛОВ, СВЯЗАННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ ДВУХСТОРОННИМИ ВНЕШНИМИ ПЕРЕТОКАМИ



ОСНОВНОЕ СВОЙСТВО СТРУКТУРНОГО ИНВАРИАНТА ЭЭС

СТРУКТУРНО ИНВАРИАНТНАЯ ЭЭС ОБЕСПЕЧИВАЕТ ЖИВУЧЕСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ ЗА СЧЕТ:

- СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ТИПА В ВИДЕ **ИЕРАРХИЧЕСКИ ВЛОЖЕННОЙ СИСТЕМЫ СТРУКТУРНО ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ САМОБАЛАНСИРУЮЩИХСЯ ЭНЕРГОРАЙОНОВ**, РАБОТАЮЩИХ КАК ИЗОЛИРОВАННО, ТАК И СИНХРОННО,
- ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЖДОМУ ЭНЕРГОРАЙОНУ **ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БАЛАНСОМ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ** ВО ВСЕХ ЦИКЛАХ УПРАВЛЕНИЯ – ОТ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДО ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ.

17.04.2025

12





РОССИЙСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ

РМЭФ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ФОРУМ



Спасибо за внимание!

Михаил Георгиевич Тягунов

TiagunovMG@mpei.ru