

Школа молодых ученых –2025
«Системные исследования энергетических технологий»
г. Москва, 25 – 26 ноября 2025 г.

**ПОСТРОЕНИЕ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ
МИКРОСЕТЕЙ НА БАЗЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Докладчик: аспирант ИНЭИ РАН
Вольный Владислав Станиславович

Научный руководитель: д.т.н.,
Илюшин Павел Владимирович

г. Москва, 2025

Существующее положение, цель исследования

2

Систематическое повышение тарифов на электроэнергию, значительное удорожание стоимости подключения к централизованному электроснабжению, с увеличением роста электропотребления способствуют развития собственной микрогенерации, использующей технологии распределенных энергоресурсов (РЭР): распределенных источников энергии (РИЭ)+ управление нагрузкой

Рост РИЭ в распределительных сетях низкого напряжения (НН) позволяет применить концепцию микросетей – объединение географически близких РЭР распределенной сети НН, связанных единым подходом к построению системы автоматического управления (САУ)

Ключевой особенностью микросети является возможность работы как параллельно с энергосистемой – сетевой режим, так и изолированно от энергосистемы – островной режим

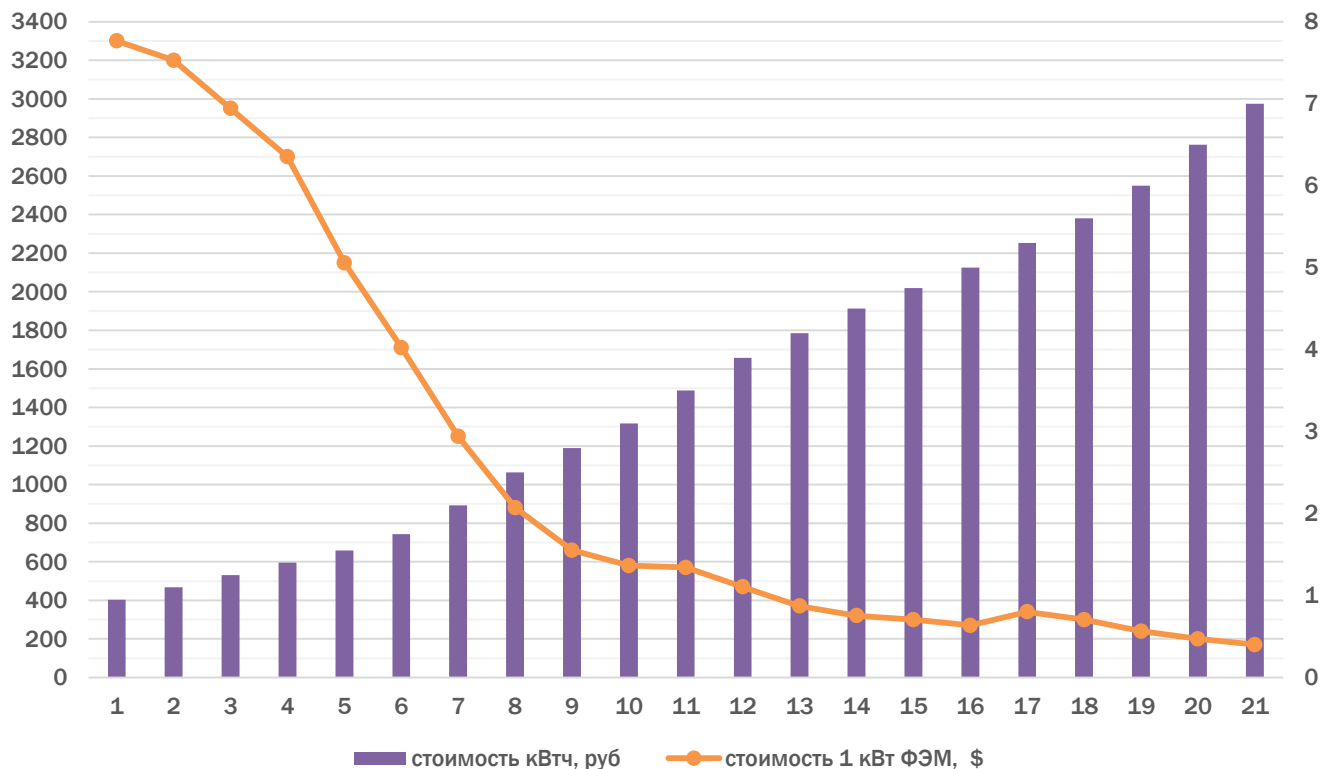
Переход микросети из сетевого режима в островной режим и наоборот обеспечивается САУ микросети, которая отличается подходами к своей реализации

Национальные НТД ограничивают использование топливных РИЭ у бытовых абонентов, поэтому тиражирование микросетей переменного тока на территории РФ будет осуществлено РИЭ на основе ВИЭ, которые интегрируются в распределительную сеть преимущественно через силовые электронные преобразователи (СЭП)

Цель исследования – определение оптимального размера микросети в зависимости от типов нагрузок !!!

Тенденция изменения тарифов на электроэнергию и стоимости ВИЭ на примере фотоэлектрических модулей

3



U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2024

Сохраняющейся тенденция к росту тарифов и снижению стоимости ВИЭ повышает спрос на микрогенерацию

Зарубежный подход к построению *microgrids*

4

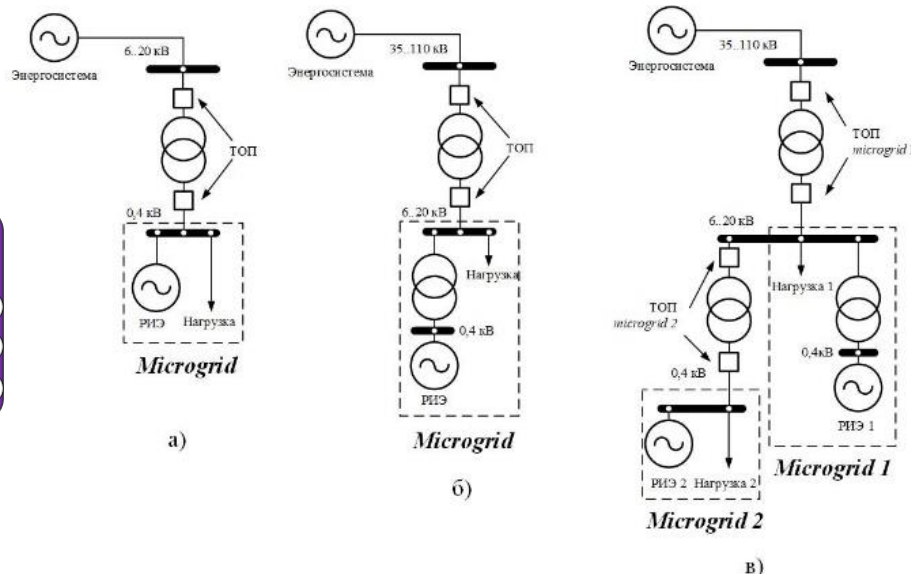
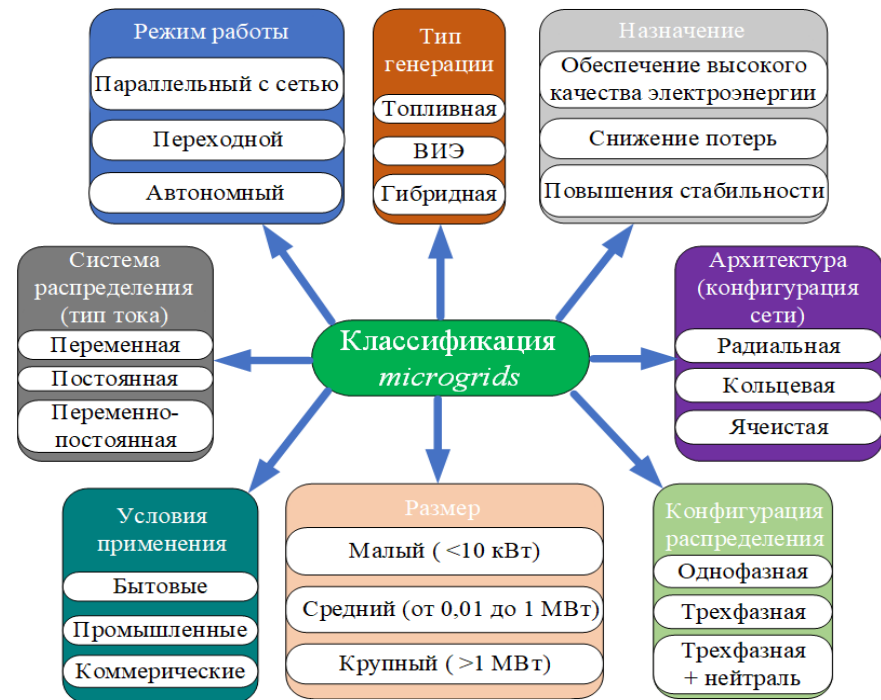


Mohd Fahmi Abdullah et al., International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8(7), July 2020, 3095 - 3103

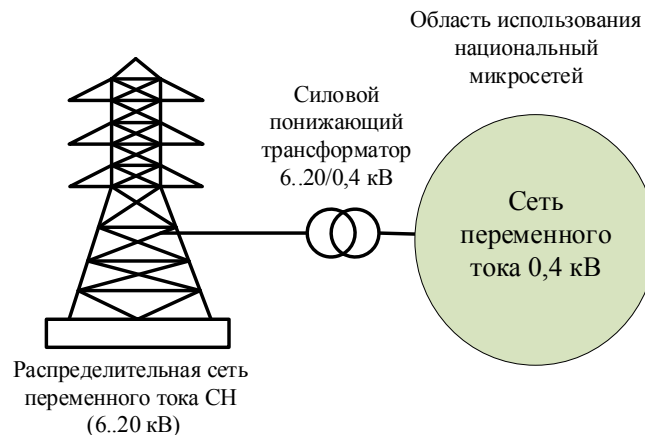
**В зарубежной практике микросети, как правило, реализуются на полном использовании технологий РЭР:
ГУ на базе ВИЭ+ СНЭЭ+ управляемая нагрузка**

Отличия международного опыта по использованию технологии *microgrids* от национальных микросетей

5



На территории РФ микросети могут быть сформированы только в распределительных сетях до 1 кВ!!!



Основные компоненты микросети

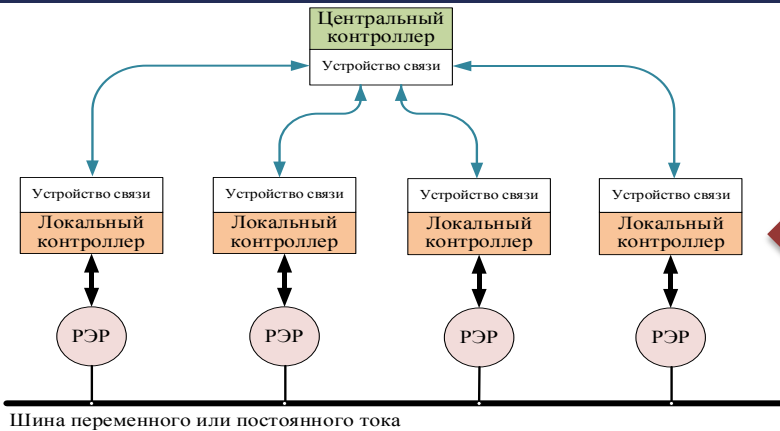
6



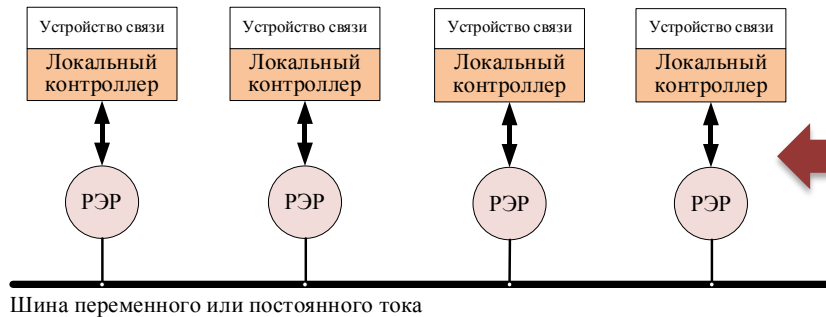
Отсутствие стандартов не позволяет регламентировать технические условия для расширения функциональных возможностей микросетей!!!

Архитектуры САУ микросети

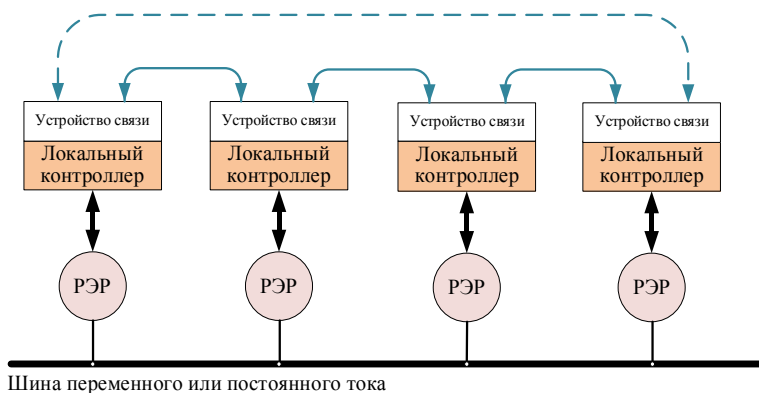
7



1. Централизованная: целесообразна для малых микросетей (≤ 15 РЭР и ≤ 5 МВт), где критичны плавные переходы между режимами микросети (сетевой и островной)



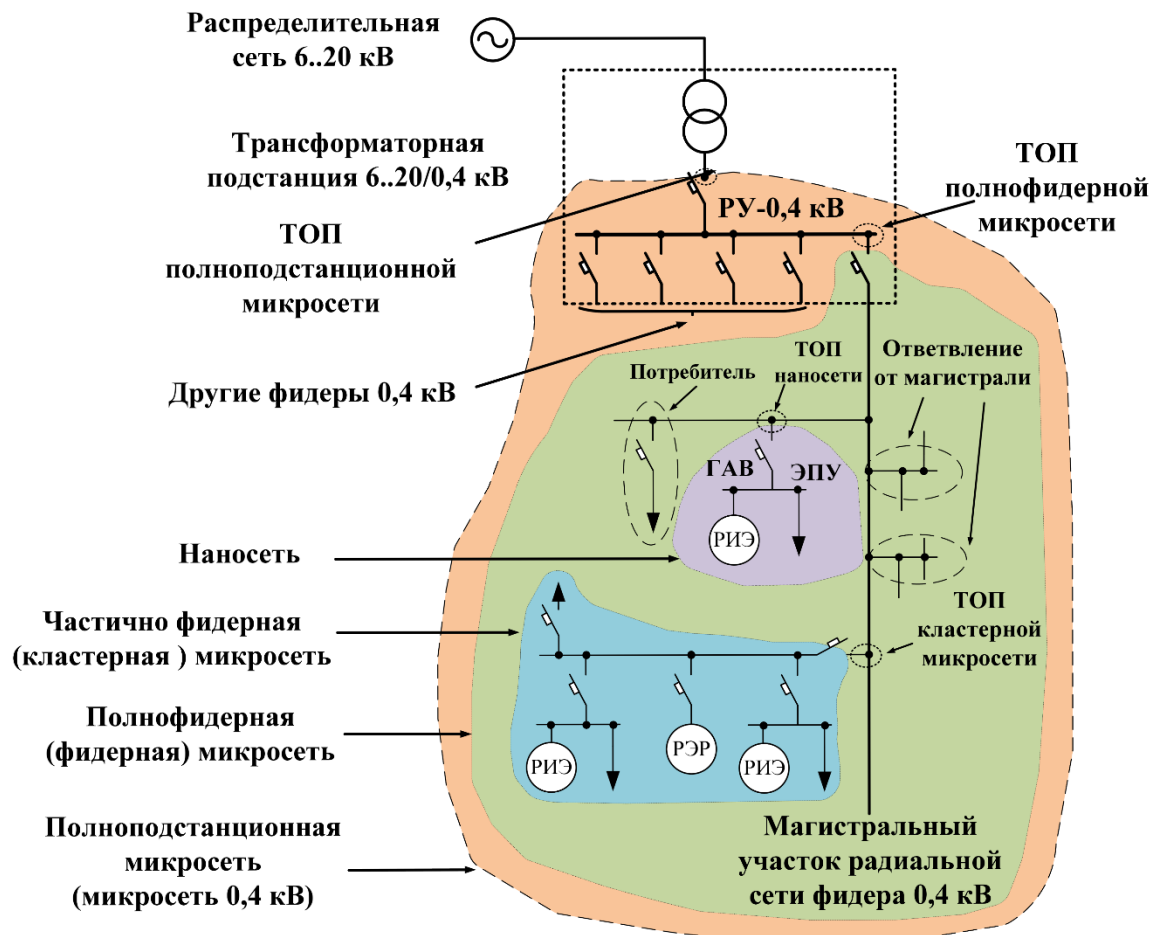
2. Децентрализованная: оптимальна для средних микросетей (≤ 50 РЭР и ≤ 20 МВт) с высокими требованиями к живучести, в которых не критично время перехода в сетевой режим микросети



3. Распределенная: перспективна для крупных и сложных микросистем (≤ 100 РЭР и ≤ 50 МВт), требующих адаптивности и отказоустойчивости

Классификация микросетей по размерности

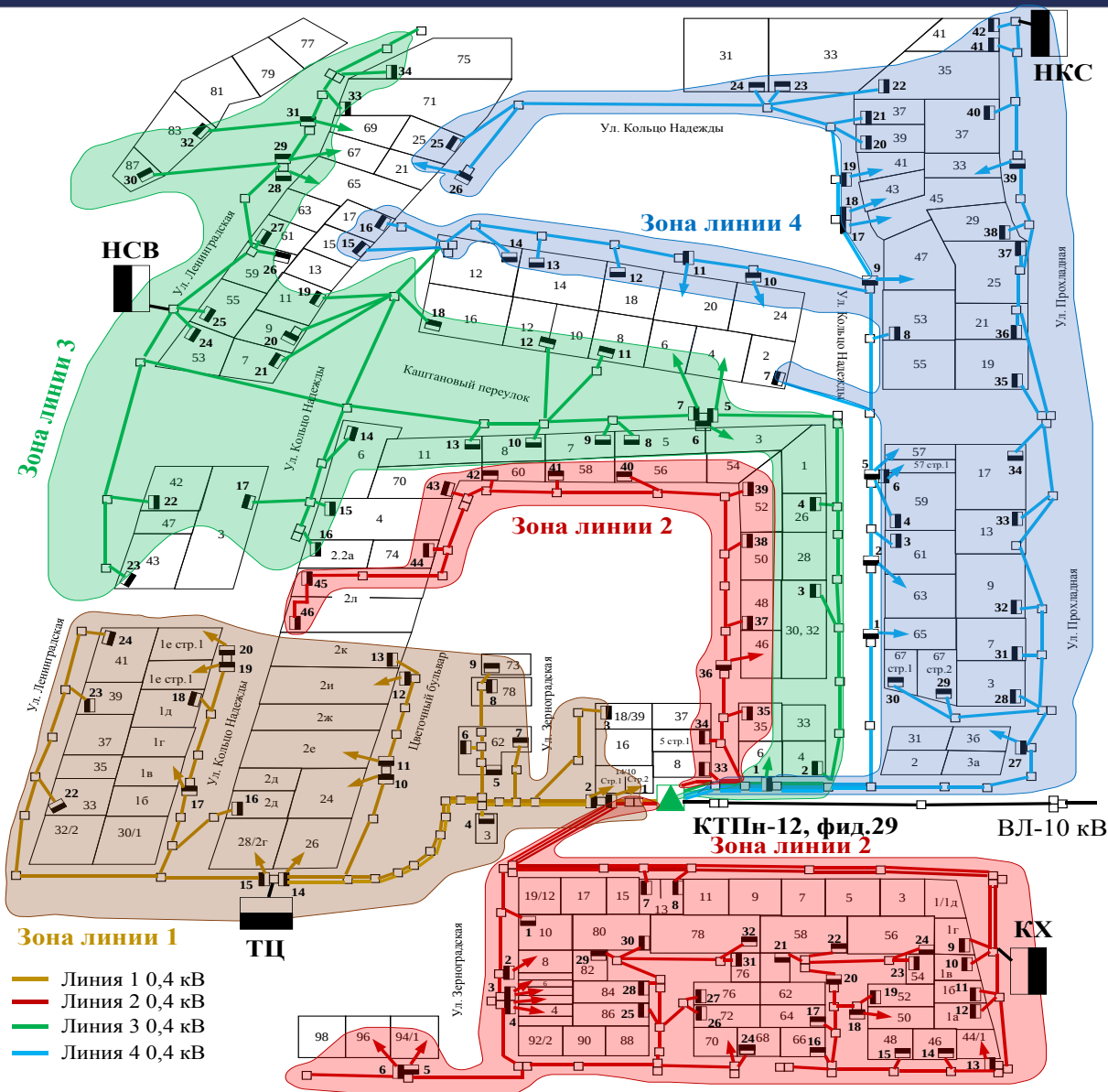
8



Классификация определяет границы управления и Точки Общего Присоединения (ТОП)

Сеть электроснабжения квартала В-25 г. Вологодонск

9



Бытовая нагрузка
 (от 2 кВт до 4 кВт):
 смешанная
 ($\cos\varphi = 0,8$ о.е.)

Коммунальная нагрузка
 (от 2 кВт до 7,5 кВт):
 на 100% двигательная

Коммерческая нагрузка
 (от 50 кВт до 100 кВт):
 двигательная
 (от 80% общего
 потребления)

Интеграция коммунальных нагрузок: Проблема и Решение

10

1. Проблемы:

- **Высокие пусковые токи:** коммунальные нагрузки (водоснабжение, канализация, очистные сооружения) — это двигатели мощностью 2-7.5 кВт. Их пусковые токи в 6-8 раз превышают номинальные, создавая критические нагрузки на инверторы.
- **Снижение эффективности:** для компенсации реактивной мощности инверторы вынуждены работать с пониженным коэффициентом мощности ($\cos\varphi < 1.0$), что однако позволяет инверторам сохранить высокий КПД и их выходную активную мощность!!!.

2. Невозможность отключения: исключение коммунальных нагрузок из микросети недопустимо!!!, так как это создает прямую угрозу населению (нарушение санитарно-гигиенических норм, деградация противопожарной инфраструктуры)

3. Решение: технически и экономически обоснованным решением является оснащение двигателей частотно-регулируемыми приводами (ЧРП), которые устраняют проблему высоких пусковых токов

Системные ограничения при интеграции коммерческих нагрузок

11

1. Ограниченная мощность резерва: коммерческие потребители используют резервные источники только для критически важного оборудования, что ограничивает их мощность.

2. Высокая мощность и проблемы с реактивной энергией: большая мощность потребления создает системные ограничения. Основная проблема — необходимость компенсации реактивной мощности для двигателей. Это приводит к перегрузке инверторов или снижению их эффективности использования активной мощности ВИЭ.

3. Динамические нагрузки и нестабильность частоты: включение/отключение мощных двигателей вызывает резкие колебания частоты, что требует от инверторов широкого диапазона регулирования и может приводить к их аварийным отключениям.

4. Высокая стоимость решений: использование СНЭЭ решает проблему, но значительно увеличивает капитальные затраты, ухудшая экономику проекта.

5. Частичная эффективность существующих мер: ЧРП решает проблему пусковых токов, но не устраняют системные проблемы с реактивной мощностью и динамической неустойчивостью!!!

6. Удаленность и потери: Электрическая удаленность потребителей от генерации увеличивает потери при передаче.

Выводы и перспективы

12

1. **Технологический фундамент:** национальные микросети целесообразно реализовывать исключительно на основе ВИЭ с применением ведущих инверторов, формирующих опорную сеть.
2. **Архитектура управления:** Архитектура САУ определяется размером микросети и состоянием ИКИ. Использование существующей инфраструктуры позволяет реализовать только децентрализованную САУ.
3. **Классификация и стандартизация:** Определена классификация по размерности (наносеть, кластерная, фидерная, полноподстанционная). На ее основе можно сформировать технические требования к просьюмерам для реализации микросетей различного назначения.
4. **Работа с нагрузками:**
 - Коммунальные нагрузки: Интеграция обязательна (требуются устройства частотного пуска). Исключение недопустимо по соображениям безопасности.
 - Коммерческие нагрузки: Интеграция в существующие микросети на ВИЭ сопряжена с критическим снижением эффективности и надежности. Требуются принципиально иные архитектурные решения!!!
5. **Перспективное направление:** Для интеграции коммерческих нагрузок с двигателями перспективно создание гибридных микросетей переменного/постоянного тока, что обеспечивает эффективную компенсацию реактивной мощности и изоляция динамических возмущений через подключение к шине постоянного тока.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ !

Вольный Владислав Станиславович
volnyyvs@yandex.ru