

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ В МИКРОГРИД

Шлапак М.Р.

Научный руководитель доцент А.А. Суворов

Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия

### Введение.

Электроэнергетическая система – это совокупность электроустановок, связанных общностью режима и осуществляющих бесперебойную выработку, преобразование, передачу и потребление электрической энергии [1]. Такое определение даётся классической модели электроэнергетической системы, концепция которой предполагает централизованную генерацию на электростанциях, передачу на повышенных напряжениях и распределение. Однако, в связи с развитием и улучшением генерирующего оборудования, а также с растущей тенденцией на возобновляемые источники энергии и декарбонизацию топливно-энергетического комплекса, в электроэнергетике сложилась новая модель энергосистемы, в зарубежной литературе данная модель встречается под термином «микрогрид». Таким образом, в данной статье будут рассмотрены особенности микрогрид-систем, их применение, а также проблемы устойчивости в сравнении с большой электрической сетью (макрогрид).

### О микрогрид-системах.

Микрогрид определяется как группа распределённых энергетических источников электроэнергии (включая возобновляемые, а также системы накопления энергии) и нагрузок. Ключевой особенностью таких систем является производство электроэнергии вблизи объектов-потребителей. Данная концепция предполагает уход от традиционных многокилометровых линий электропередачи, так как генерирующее оборудование находится вблизи потребителя. Именно поэтому объекты распределённой генерации всё чаще находят применение для электроснабжения удалённых населённых пунктов, для которых строительство протяжённых линий электропередач становится экономически нецелесообразным. В этом смысле также прослеживается возрастающая тенденция на развитие микрогрид-систем с внедрением возобновляемых источников энергии, водородными топливными элементами и т.д. [3]. Согласно статистике, с 2017 года рынок микросетей по всему миру стремительно разрастается [6].

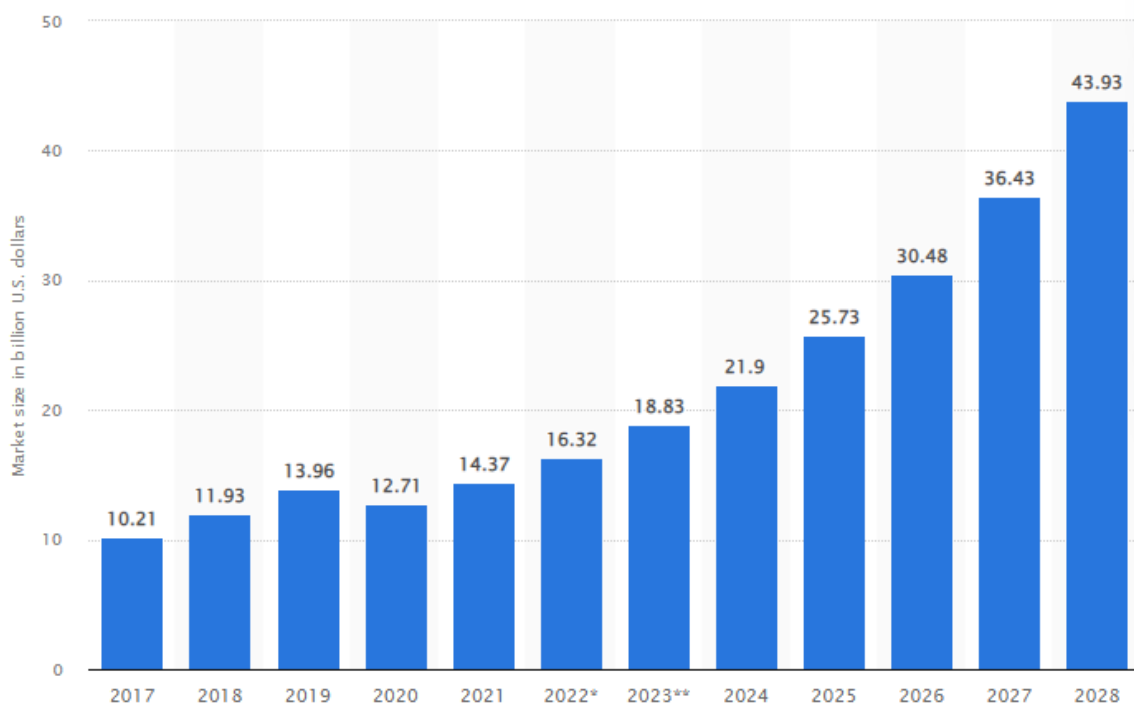


Рис. Объем рынка микросетей по всему миру с 2017 по 2021 год с прогнозом на период с 2022 по 2028 год

Таким образом, такой подход действительно имеет множество преимуществ. Стоит также упомянуть, что микрогрид-системы работают подключенными к основной энергосистеме, однако в случае чрезвычайных ситуаций они могут отключаться и работать автономно, что, несомненно, также является большим преимуществом.

### Проблемы устойчивости.

При эксплуатации микросетей возникает множество проблем, связанных с устойчивостью энергосистемы. Устойчивость – это способность системы возвращаться в установившийся режим после возмущений различного характера (короткие замыкания, переходные процессы при коммутациях, подключение или отключение генерирующего оборудования или линий электропередачи и т.д.). Это важнейший показатель сети, который необходимо не только обеспечивать на оптимальном уровне, но и иметь некий запас (запас устойчивости). Например, в микрогридах, в отличие от традиционных энергосистем, нагрузка может быть несбалансированной, и достигать

100 % между тремя фазами [4]. Устойчивость системы может быть нарушена при эксплуатации сети в таких несбалансированных условиях.

Микросистемы, которые, намного меньше по сравнению с обычными энергосистемами, обладают гораздо меньшей инерцией. Это также обусловлено большим распространением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в микрогридах. Очевидно, что наличие ВИЭ снижает инерцию энергосистемы (из-за меньшего влияния вращающихся частей электроустановок). Соответственно, возникновение ненормальных режимов в подобных системах гораздо сильнее нарушают устойчивость энергосистемы, что обязательно необходимо учитывать. Также отмечается, что микрогриды имеют гораздо большее отношение активного сопротивления к индуктивному R/X у питающих фидеров. Это обусловлено распространением кабельных линий в подобного рода системах. В традиционных же энергосистемах преобладают воздушные линии, где это отношение гораздо меньше. Преобладание индуктивной составляющей замедляет изменяющиеся процессы, соответственно, чем меньше её влияние, тем выше вероятность нарушения устойчивости.

Ранее упоминалось, что микросети могут отключаться от основной сети и работать автономно. Безусловно, это сопровождается сильными переходными процессами, которые приводят к каскадному отключению всех потребителей, а также к полному погашению всех генерирующих установок [2]. Для этого необходимо разрабатывать специальные алгоритмы перехода микрогрида из параллельной работы в изолированный. Также отмечается, что низкая пропускная способность силовых преобразователей в сетях микрогрид создаёт проблемы со стабильностью при совместной работе обычных синхронных генераторов и источников электроэнергии с инверторным интерфейсом, поскольку возмущения в этом случае могут привести к отключению инвертора [5].

#### **Заключение.**

Таким образом, малые сети действительно имеют огромный потенциал. Они обладают достаточным набором преимуществ, и данный набор делает технологию привлекательной для решения широкого спектра задач. Однако необходимо учитывать некоторую специфику при эксплуатации подобных систем, поскольку некоторые особенности отличают микрогриды от обычных, традиционных энергосистем, и их, безусловно, нужно учитывать.

#### **Литература**

1. Готман В.И. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008, 2009. – 240 с.
2. Димитриев А. А., Димитриев Р. А., Никифоров И. К. Проблемы выделения работы микрогрида в изолированный режим функционирования. – 2021.
3. Илюшин П. В., Куликов А. Л. Автоматика управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией. – 2019.
4. Arriaga Marin M. Long-term renewable energy generation planning for off-grid remote communities. – 2015.
5. Hajimiragha A. H., Zadeh M. R. D. Research and development of a microgrid control and monitoring system for the remote community of Bella Coola: Challenges, solutions, achievements and lessons learned //2013 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE). – IEEE, 2013. – С. 1-6.
6. Market size of microgrids worldwide from 2017 to 2021, with a forecast from 2022 to 2028 // statista URL: <https://www.statista.com> (дата обращения: 15.03.2023).

### **ПРИМЕНЕНИЕ УМНЫХ КОНТРАКТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Ясунов В. В.**

Научный руководитель ассистент А.Д. Брагин

**Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия**

Умные контракты – это техническая реализация программы, которая может помочь с обработкой данных. В этом случае, умный контракт на блокчейне может использоваться для автоматического учета и расчета потребления энергии. Контракт может автоматически создавать и отправлять счета на оплату, используя криптографию, чтобы обеспечить безопасность и надежность транзакций.

В рамках этого подхода, каждый раз, когда потребитель использует энергию, информация об этом вносится информация, где она может быть проверена и одобрена с помощью механизмов консенсуса<sup>1</sup>, таких как Proof-of-Work или Proof-of-Stake. Это помогает предотвратить мошенничество и обеспечивает надежность в учете потребления энергии.

Такой подход может быть особенно полезен для децентрализованных сетей, где производители и потребители энергии обмениваются энергией напрямую без участия централизованной системы управления. Благодаря этой технологии, учет потребления и оплата за потребленную энергию могут быть автоматизированы и безопасными, что улучшает эффективность и прозрачность в системе электроэнергетики.

Мы вносим в базу данных следующие данные:

- Идентификатор потребителя энергии;
- Данные о потреблении энергии, такие как объем, время и дата;
- Данные о транзакциях и оплате за потребленную энергию;
- Информация о статусе и подтверждении транзакций.

Эти данные будут храниться в блоках в зашифрованном виде. Каждый блок будет содержать хеш предыдущего блока, образуя цепочку, которая является неразрывной и невозможной для изменения.