

К.В. БУГАЕВ, студент гр. Э-24 (АлтГТУ им. И. И. Ползунова)
Е.О. МАРТКО, к.т.н., доцент (АлтГТУ им. И. И. Ползунова)
г. Барнаул

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Системы передачи и распределения электроэнергии (СПРЭ) представляют собой комплекс технических средств, предназначенных для транспортировки электрической энергии от генерирующих источников к конечным потребителям. Они являются кровеносной системой современной цивилизации, от бесперебойной и эффективной работы которой зависят все сектора экономики и качество жизни населения. Исторически сложившаяся структура СПРЭ, основанная на централизованной генерации и радиальном принципе распределения, сталкивается с новыми задачами, требующими глубокой модернизации и внедрения инновационных технологий.

Принципы построения и основные компоненты СПРЭ

Традиционно системы передачи и распределения электроэнергии СПРЭ делятся на две основные подсистемы:

1. Система передачи электроэнергии – это высоковольтные сети (110 кВ и выше), предназначенные для транспортировки больших объемов энергии на значительные расстояния, основными задачами которых являются:

- соединение крупных электростанций с центрами потребления;
- обеспечение связи между региональными энергосистемами для повышения надежности и экономической эффективности;

Основные элементы считаются воздушные и кабельные линии электропередачи (ЛЭП), повышающие и понижающие трансформаторные подстанции, устройства компенсации реактивной мощности, системы релейной защиты и автоматики. [1,5,6]

2. Система распределения электроэнергии – это сети среднего (6-35 кВ) и низкого (0,4 кВ) напряжения, которые доставляют энергию непосредственно к потребителям, основными функциями являются:

- разделение потоков мощности от узловых подстанций системы передачи;
- распределение энергии по территории населенных пунктов и промышленных зон;

- основные элементы: распределительные подстанции, линии электропередачи, коммутационные аппараты, распределительные устройства. [4,10]

Постоянный рост производственных мощностей развития и потребности людей формируют ключевые технологические вызовы современности:

1. Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Солнечные и ветровые электростанции имеют непостоянный, стохастический характер генерации. Их массовое подключение к распределительным сетям приводит к:

- изменению направлений потоков мощности (от потребителя к сети);
- проблемам с поддержанием частоты и напряжения;
- необходимости создания резервных мощностей для компенсации колебаний генерации.

2. Повышение требований к надежности и качеству электроэнергии. Современное цифровое оборудование и высокотехнологичные производства критически чувствительны к перерывам в питании, провалам напряжения и высшим гармоникам. Это требует внедрения систем мониторинга качества электроэнергии в режиме реального времени и быстродействующих устройств автоматики.

3. Старение инфраструктуры. Значительная часть сетевого оборудования в развитых странах эксплуатируется десятки лет, что приводит к росту аварийности и затрат на обслуживание.

4. Активное участие потребителей. Появление "просьюмеров" (потребителей, которые также производят электроэнергию) меняет классическую парадигму "производитель-потребитель", требуя от сетей двустороннего взаимодействия. [7-8]

Для решения поставленных задач, необходимы перспективные направления развития и технологии.

Ответом на вызовы является переход к интеллектуальным энергосистемам (Smart Grid).

1. Цифровизация и интеллектуализация сетей (Smart Grid). Это концепция, предполагающая оснащение сетей датчиками, средствами связи интеллектуальными системами управления. Ключевые элементы:

- АСКУЭ (AMI): интеллектуальные системы учета, позволяющие вести двусторонний обмен данными с потребителем;
- APBM (FACTS): гибкие системы передачи переменного тока для оперативного управления потоками мощности и повышения устойчивости сети;
- АСДУ: автоматизированные системы диспетчерского управления, работающие на основе данных в реальном времени.

2. Технологии высоковольтного постоянного тока (HVDC). HVDC-системы обладают значительными преимуществами для передачи больших мощностей на сверхдальние расстояния (снижение потерь), связи энергосистем с разной частотой и интеграции оффшорных ВИЭ.

3. Накопители электрической энергии (НЭЭ). Накопители (химические, гидроаккумулирующие и др.) являются ключевым элементом для компенсации неравномерности генерации ВИЭ, повышения надежности и оказания системных услуг (регулирование частоты).

4. Активное сетевое управление. Внедрение технологий, позволяющих динамически перераспределять потоки мощности, ограничивать генерацию ВИЭ в пиковые периоды и управлять спросом (DSM) для выравнивания графика нагрузки. [2,3,9]

В результате проведенного анализа был сделан вывод о том, что современные системы передачи и распределения электроэнергии находятся в процессе сильных изменений. От пассивных, централизованно управляемых сетей происходит переход к активным, гибким, цифровым и децентрализованным инфраструктурам. Успех этого перехода зависит от скоординированного внедрения широкого спектра технологий – от магистральных HVDC-систем до интеллектуальных счетчиков у конечных потребителей. Дальнейшее развитие СПРЭ будет определяться трендами декарбонизации, цифровизации и повышения устойчивости к внешним воздействиям, что в конечном итоге направлено на создание эффективной, надежной и экологически чистой энергетики будущего.

Список литературы:

1. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети : учебник для вузов / В. И. Идельчик. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с. : ил. – Библиогр.: с. 585-586. –Предм. указ.: с. 587-588. – ISBN 5-283-01012-0 (в пер.).

2. Веников, В.А., Путятин, Е.В. Проектирование и эксплуатация систем передачи и распределения электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 2010.

3. Флаксерман, Д.Ю. и др. Интеллектуальные электроэнергетические системы (Smart Grid). – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019.

4. Герасименко, А.А.. Передача и распределение электрической энергии : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140400 "Электроэнергетика и электротехника" / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – 4-е изд., стер. – Москва : КНОРУС, 2014. – 645 с. : ил., табл. : 24 см.; ISBN 978-5-406-03226-8 (В пер.).

5. Чистихин, А. А. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока на сверхвысоких напряжениях / А. А. Чистихин // Язык и

мировая культура: взгляд молодых исследователей : сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции, г. Томск, 26-28 апреля 2014 г. : в 2 ч. – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – Ч. 2. – С. 200-202.

6. Рыжов, Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения учебник для вузов, обучающихся по специальности "Электроэнергетические системы и сети" направления подготовки "Электроэнергетика" / Ю.П. Рыжов. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. – 486, [1] с. ил.; 22. – ISBN 978-5-383-00158-5.

7. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети : учебник для среднего профессионального образования / А. В. Лыкин. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 362 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-10376-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/565888> (дата обращения: 12.10.2025).

8. Ярош, В.А. Электрические системы и сети: курсовое проектирование: учебное пособие. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – (Высшее образование); ISBN 978-5-8114-5161-6.

9. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети / А.В. Лыкин; М-во образования Рос. Федерации, Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 246 с. ил.; 22. – (Учебники НГТУ); ISBN 5-7782-0383-7.

10. Глазунов, А.А. (отец). Электрические сети и системы: учеб. пособие для энергет. и электротехн. ин-тов и фак. СССР / А.А. Глазунов, А.А. Глазунов /. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1960. – 368 с. : ил.; 26 см.

Информация об авторах:

Бугаев Константин Владимирович, студент гр. Э-24, АлтГТУ, г. Барнаул, 656038, пр. Ленина, д. 46, vehhxbrr23@mail.ru

Мартко Екатерина Олеговна, к.т.н., доцент, АлтГТУ, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, Martnight@mail.ru