

УДК 621.311.

Савина Наталья Викторовна

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: nataly-savina@mail.ru

Янькова Марина Алексеевна

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: yankova_marina@mail.ru

N.V. Savina

Amur State University

Blagoveschensk, Russia

E-mail: nataly-savina@mail.ru

M.A. Yankova

Amur State University

Blagoveschensk, Russia

E-mail: yankova_marina@mail.ru

**ВЫБОР ФАКТОРОВ СРАВНЕНИЯ ДЛЯ ПЕРЕВОДА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ
В АКТИВНО-АДАПТИВНЫЕ СЕТИ**

**SELECTION OF COMPARISON FACTORS
FOR THE TRANSFER OF ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS
TO ACTIVE ADAPTIVE NETWORKS**

Аннотация. В работе показана целесообразность перевода распределительных электрических сетей на платформу активно-адаптивных электрических сетей, приведены факторы сравнения активно-адаптивных и традиционных сетей, выбраны инновационные технологии, которые способствуют этому переводу. Реализация концепции интеллектуальных электрических сетей позволит повысить надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей.

Abstract. The paper shows the feasibility of transferring distribution electric networks to the platform of active adaptive electric networks, provides factors for comparing active adaptive and traditional networks, and selects innovative technologies that contribute to this transfer. The implementation of the concept of intelligent electric networks will improve the reliability, quality and efficiency of power supply to consumers.

Ключевые слова: активно-адаптивная сеть, традиционная сеть, инновационные технологии, интеллектуализация, электроэнергетическая система, электроснабжение.

Key words: active-adaptive network, traditional network, innovative technologies, intellectualization, electric power system, power supply.

DOI: 10.22250/20730268_2022_97_111

Введение

В настоящее время распределительные электрические сети не обеспечивают требуемый уровень надежности и качества электроснабжения, обладают низким уровнем энергоэффективности, что является актуальной проблемой, требующей решения. В то же время в энергетической стратегии РФ на период до 2035 г. определена необходимость цифровой трансформации и интеллектуализации отраслей топливно-энергетического комплекса, в результате которых новое качество приобретут все процессы в сфере энергетики, новые права и возможности получают потребители продукции и услуг отраслей топливно-энергетического комплекса [10].

В российской концепции интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) представлены три основных направления развития электроэнергетики [2]:

1. Создание и применение улучшающей, новой и прорывной техники, обеспечивающей экономичность и управляемость электрической сети, разработка и использование технологий мониторинга и диагностики сетей.

2. Развитие современных и создание новых систем управления электроэнергетикой; проработка новых принципов информационного взаимодействия энергообъектов, включая и «информационное облако»; обеспечение их кибербезопасности.

3. Разработка принципов вовлечения в управление энергопотреблением как отдельных активных потребителей, так и коллективных интеллектуальных микросетей.

В ИЭС ААС важная роль отводится активно-адаптивной электрической сети как технологической инфраструктуре электроэнергетики, собственно, наделяющей интеллектуальную энергосистему принципиально новыми свойствами.

Одним из возможных решений указанной проблемы может стать переход традиционных электрических сетей на платформу активно-адаптивных сетей, которая улучшит показатели качества электроэнергии, надежности электроснабжения и станет более доступной и эффективной.

Активно-адаптивная сеть представляет собой совокупность подключенных к генерирующим источникам и потребителям энергии элементов электрических сетей и систем управления. Адаптивная сеть – это связанная сеть с гибкой инфраструктурой, которая способствует повышению безопасности и производительности, при этом уменьшая сложность инфраструктуры. Помимо этого, адаптивная сеть должна быть в виде открытой инфраструктуры, в которую при необходимости легко вносить изменения, а также интегрировать с новыми элементами системы, без необходимости переобучения специалистов [8].

К 2030 г. эксперты прогнозируют активное распространение активно-адаптивных интеллектуальных электрических сетей в развитых странах мира. Основным преимуществом таких электросетей является оптимизация спроса и производства. Электростанции будут способны поддерживать постоянную связь со всеми конечными потребителями электроэнергии [1].

Постановка задачи

Как показали расчеты, чтобы действующим электрическим сетям достичь необходимого технического уровня активно-адаптивных сетей, потребуются инвестиции, равные почти 1/3 валового национального дохода. Основными же источниками инвестиций для сетевых компаний являются плата за технологическое присоединение, снижение потерь электроэнергии в сетях и амортизационный фонд. Следует отметить, что в ряде сетевых компаний объем инвестиций на техническое перевооружение и реконструкцию электрических сетей сопоставим или превышает их остаточную стоимость. Фактические затраты на развитие на порядок меньше требуемых финансовых вложений. Необходимо оценить целесообразность и возможности перевода электрических распределительных сетей классического исполнения (традиционные сети) на платформу активно-адаптивных на основе их сравнительной характеристики. Для этого нужно ввести понятие адаптивности распределительной

электрической сети и выбрать элементы, с помощью которых сеть становится активной. Целесообразность перевода сетей на платформу активно-адаптивных определяется факторами сравнения сетей, возможность перевода – применимостью инновационных технологий к действующим электрическим сетям, их адекватностью по отношению к свойствам активно-адаптивной сети.

Под адаптивностью распределительной электрической сети будем понимать ее свойство адекватно в режиме реального времени реагировать на любые внутренние и внешние изменения. Для этого сеть должна из пассивной перейти в активную, т.е. быть наблюдаемой и автоматически управляемой.

Сравнительная характеристика принципов построения традиционной и активно-адаптивной электрической сети

В настоящее время архитектура электроэнергетической системы (ЭЭС) построена по технологическому и иерархическому принципам: централизованная генерация, магистральные электрические сети, распределительные сети, электрические сети потребителей (см. рис. 1).

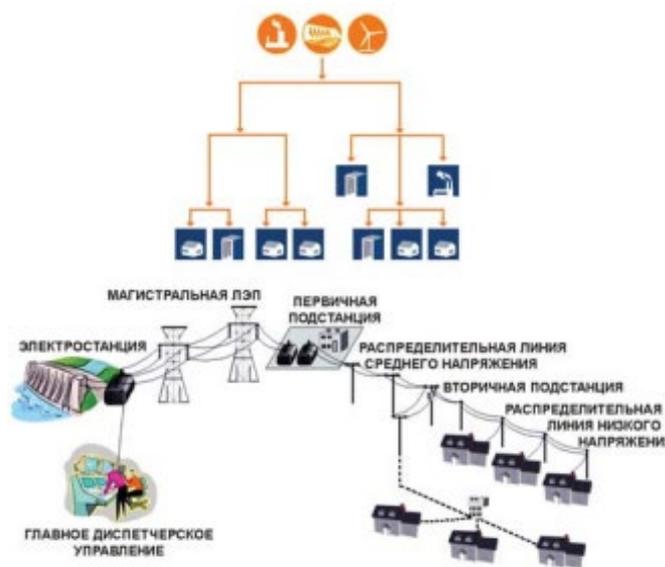


Рис. 1. Структура современной ЭЭС.

Источниками питания существующих сетей всех классов номинального напряжения является централизованная генерация. Это определяет принципы их построения и структуру, обеспечивающую передачу электроэнергии по сетям в одном направлении – от электрических станций к потребителям, несмотря на разную топологическую структуру основных и распределительных сетей. В большинстве случаев современные распределительные электрические сети состоят из магистральных и радиальных линий с односторонним потоком энергии. Лишь в некоторых случаях электрические сети замкнуты, но, как правило, работают в разомкнутом режиме [3].

Активно-адаптивные сети в качестве источников питания полагают комплексное использование централизованной и распределенной генерации в рамках единой интегрированной ЭЭС. При этом доля использования распределенной генерации в перспективе может достичь 20% от общего объема производства электроэнергии. Распределенная генерация технологически более гибкая, обладает более высокой степенью автоматизации, предполагает установку небольших генераторов в непосредственной близости к потребителям и участвует в розничном рынке энергии и мощности. Еще одним отличным от существующих принципом построения активно-адаптивных сетей является наличие активного потребителя, у которого появляются возможности самостоятельного изменения объема и функциональных свойств получаемой энергии [7]. Кроме того, потребитель, имеющий собственные генерирующие установки, может выступать в качестве продавца на розничном рынке энергии в часы пиковых нагрузок, т.е. он становится субъектом управления сетями.

Таким образом, активно-адаптивная сеть не имеет иерархической структуры, в ней крупные потребители перемешаны с большим количеством относительно маломощных источников энергии, а также и единичных мощных станций с автоматическими регулируемыми устройствами параметров режима и схемы. Такая сеть является сложнзамкнутой, неструктурированной и разветвленной. Потоки мощности в ней не являются строго детерминированными. Очевидно, что такая сложная неструктурированная сеть должна иметь мощную интеллектуальную управляющую систему, согласовывающую между собой работу всех многочисленных и разнородных компонентов сети. Коммуникация компонентов сети с управляющим центром и друг с другом должна быть обеспечена специальными системами связи на беспроводной основе.

Структура активно-адаптивной сети приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структура активно-адаптивной сети.

Сравнительный анализ принципов построения традиционной и активно-адаптивной сети приведен в таблице.

Сравнение традиционной и активно-адаптивной сети

№	Традиционная сеть	Активно-адаптивная сеть
1.	Централизованная генерация	Централизованная и распределенная генерация
2.	Радиально-лучевая топология	Сетевая и ячеистая структура
3.	Пассивный потребитель	Активный потребитель
4.	Изменение структуры сети при переходе к ремонтным и послеаварийным режимам	Динамичное автоматическое изменение структуры сети, в том числе нормальной схемы, как отклик на изменение генерации и потребления электроэнергии

Факторы сравнения традиционных и активно-адаптивных распределительных электрических сетей

Выбор факторов сравнения традиционных и активно-адаптивных сетей основан на следующих принципах: экономичности, надежности и управляемости. Индикатором экономичности электрической сети являются потери электроэнергии. Индикаторы сравнения сетей по надежности – ча-

стота и длительность отключений, ущерб от перерывов в электроснабжении потребителей. Управляемость при сравнении оценивается степенью автоматизации.

Сравним по выделенным факторам и их индикаторам традиционные распределительные и активно-адаптивные сети.

Экономичность функционирования электрической сети. Экономичность функционирования сети характеризуется потерями в ней электроэнергии.

В действующих распределительных электрических сетях наблюдается высокий уровень потерь, причем, чем ниже номинальное напряжение, тем выше значение потерь. В распределительных сетевых комплексах величина потерь достигает 20% и более, а по отдельным присоединениям 6-10 кВ – 40-50% [4]. Высокий уровень потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях обусловлен в основном неоптимальными режимами работы, характеризующимися завышенными отклонениями напряжения от номинального значения в узлах сетей высокого напряжения и заниженными – в удаленных от центров питания точках сетей; большими перетоками реактивной мощности, высокой неравномерностью графиков электрических нагрузок, что обусловлено недостатком регулирующих средств, отсутствием или неудовлетворительной компенсацией реактивной мощности; недостаточным и неэффективным учетом электроэнергии; широким внедрением электроприемников, приводящих к искажению качества электроэнергии, низкой управляемости [9]. Повышается экономическая значимость рассматриваемого индикатора сравнения из-за включения в тариф на электроэнергию нормативных значений потерь, снижения прибыли сетевых компаний, в сетях которых наблюдаются сверхнормативные потери.

Из новых свойств, присущих активно-адаптивным электрическим сетям и влияющих на потери электроэнергии, можно выделить: расширение рынков энергии и мощности до конечного потребителя путем обеспечения открытого доступа активного потребителя и распределенной генерации, т.е. изменение инфраструктуры рынков энергии и мощности. Эти свойства будут обеспечены следующими инновационными технологиями: распределенная генерация, интеллектуальный учет электроэнергии, активный потребитель, микросети.

При переводе действующих сетей на платформу активно-адаптивных ожидается резкое снижение потерь электроэнергии, величина которых планируется на уровне 7%. Разница в стоимости потерь – фактор оценки целесообразности и этапности перевода конкретных сетей в активно-адаптивные.

Надежность электроснабжения. Традиционная сеть характеризуется низкими значениями показателей надежности, большим ущербом от перерыва в электроснабжении для потребителей. Примером может служить отключение распределительных электрических сетей в центральной части России из-за ледяных дождей, когда ущерб составил миллионы рублей. Показатели надежности по России в целом находятся на уровне: SAIDI – 8,7 часа, SAIFI – 2,3 ед.

Обеспечение надежности электроснабжения в активно-адаптивных сетях возможно как организационно, так и технически. Организационно – переход от системно-ориентированного подхода к клиенто-ориентированному, поддержанию различных уровней надежности в различных сегментах. Технически – возможность противостояния физическим и информационным негативным воздействиям без тотальных отключений или высоких затрат на восстановительные работы, максимально быстрое восстановление сети путем ее цифровизации и интеллектуализации (самовосстановление) [5].

Самовосстановление при аварийных ситуациях присуще только активно-адаптивным сетям. Рекомендуемые инновационные технологии – переход от управления по факту возникновения аварийной ситуации к превентивному управлению ею, основанный на распределенных принципах управления с использованием вакуумных реклоузеров и иных автоматических переключателей для обеспечения гибкой реконфигурации электрической сети, на интеллектуальных системах контроля и

средствах визуализации, оборудовании для обеспечения альтернативного электроснабжения потребителей; удаленный мониторинг технического состояния элементов сети, основанный на цифровых технологиях.

Планируемые значения показателей надежности в активно-адаптивных сетях, следующие: SAIDI – 2,23 часа, SAIFI – 0,85 ед.

Управляемость электрической сети. Действующие распределительные электрические сети обладают низкой степенью управления. В лучшем случае в них применяется автоматическое регулирование напряжения под нагрузкой, управляемые батареи конденсаторов. Низковольтные электрические сети не управляемы.

Интеллект электрической сети в значительной степени определяется принятой системой управления. В традиционных распределительных электрических сетях интеллект отсутствует. В активно-адаптивной сети предусмотрен мультиагентный принцип управления. К рекомендуемым технологиям для перевода электрических сетей в активно-адаптивные относятся [6]:

мультиагентные системы управления – координация систем управления с использованием системы мониторинга переходных режимов (СМНР), самовосстановление распределительных сетей, управление спросом на розничных рынках;

искусственные нейронные сети (ИНС) и нейросетевые системы управления, ассоциативный поиск для идентификации и управления, экспертные системы – раннее обнаружение и локализация предаварийных режимов, виртуальное моделирование и понижение порядка моделей, советчики оператора, тренажеры;

технологии адаптивного векторного управления гибкими системами переменного тока – первичное и вторичное автоматическое управление напряжением и реактивной мощностью, дооптимизации режимов по реактивной мощности в границах графика нагрузки, установленного Системным оператором;

адаптивные моделирующие платформы реального времени – моделирование и оптимизация режимов по реактивной мощности, мониторинг топологии сетей и адаптация моделей, полигоны для отработки систем управления и мониторинга;

технологии проектирования, создания и поддержания в работоспособном состоянии крупномасштабных систем передачи информации – системный анализ, верификация и валидация системы, моделирование и мониторинг параметров информационной сети для своевременного определения проблемных участков в информационной структуре активно-адаптивных сетей;

технологии адаптивного автоматического управления для возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе ветровых, приливных, солнечных;

технологии создания современных человеко-машинных интерфейсов на основе применения персональных мобильных интеллектуальных устройств ввода – вывода информации (носимые и мобильные компьютеры, смартфоны) для обеспечения гибкого управления в распределенной структуре «ресурс – пользователь».

Заключение

На основе сравнительной характеристики действующих распределительных сетей, реализованных по традиционному или классическому принципу построения, и активно-адаптивных сетей, построение которых основано на принципах адаптивности и автоматической управляемости, обеспечивающей отклик сетей на любое изменение параметров режима и схемы, выбраны факторы и индикаторы их сравнения, позволяющие количественно обосновать целесообразность перевода распределительных сетей в активно-адаптивные.

1. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы [Электронный ресурс]: URL:

http://www.gurevich-publications.com/articles_pdf/smart_grid_1.pdf (дата обращения: 13.03.2022г).

2. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. Концепция рассмотрена и одобрена на совместном заседании НТС ОАО «ФСК ЕЭС» и Российской академии наук в октябре 2011г. – М., 2012. – 51 с.

3. О модернизации и развитии распределительных электрических сетей [Электронный ресурс]: URL: https://xn----glcfcctdci4bhow0as6psb.xn--p1ai/images/1-6/03_Zhulev_1_6.pdf (дата обращения: 13.03.2022г).

4. Оптимизация уровней напряжения в активно-адаптивных сетях с распределенной генерацией [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-urovney-napryazheniya-v-aktivno-adaptivnyh-setyah-s-raspredelennoy-generatsiyey> (дата обращения: 13.03.2022г).

5. Оптимизация режима работы распределительных сетей с активно-адаптивными элементами [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-rezhima-raboty-raspredelitelnyh-setey-s-aktivno-adaptivnyimi-elementami> (дата обращения: 13.03.2022г).

6. Применение технологий активно-адаптивных сетей для управления качеством электроэнергии в электрических сетях с тяговой нагрузкой [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tehnologiy-aktivno-adaptivnyh-setey-dlya-upravleniya-kachestvom-elektroenergii-v-elektricheskikh-setyah-s-tyagovoy> (дата обращения: 13.03.2022г).

7. Развитие активно-адаптивных сетей //Электроэнергия. Передача и распределение [Электронный ресурс]: URL: <https://eepir.ru/article/razvitie-aktivno-adaptivnyh-setej/> (дата обращения: 13.03.2022г).

8. Савина, Н.В. Инновационное развитие электроэнергетики на основе технологий Smart Grid: учебное пособие / сост. Н.В. Савина. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. – 136 с.

9. Савина, Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях в условиях неопределенности: монография – Новосибирск: Наука, 2008. — 228 с.

10. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р [Электронный ресурс]: URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (дата обращения: 13.03.2022г).