

Коновалов Юрий Васильевич,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: yrvaskon@mail.ru

Малинин Николай Константинович,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
обучающийся группы ЭЭ-22-1, e-mail: nikolaymalinin@gmail.com

Терехова Анна Андреевна, Хухрянская Александра Сергеевна,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
обучающиеся группы ЭЭ-22-1, e-mail: annaandreevnaterehova@mail.ru.

Марченко Дмитрий Александрович,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
обучающийся группы ЭЭ-23-1, e-mail: d.mch@rambler.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАДИЦИОННЫХ И ГИБРИДНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

**Konovlov Yu.V., Malinin N.K., Terekhova A.A., Khukhryanskaya A.S., Marchenko D.A.
WAYS TO INCREASE THE OPERATION EFFICIENCY OF TRADITIONAL
AND HYBRID DISTRIBUTION NETWORKS**

Аннотация. Рассмотрены основные цели, методология развития и имеющиеся проблемы в распределительных сетях. Установлено, что перспективным направлением развития электрических сетей является внедрение гибридных сетей постоянно-переменного тока, которые объединяют достоинства сетей переменного и постоянного тока. Гибридные сети являются перспективными, и уже на этапе проектирования на их базе можно создать «интеллектуальные» сети, которые смогут облегчить работу диспетчера энергосистемы, сократить затраты на персонал и обслуживание.

Ключевые слова: распределительные сети, цели, методология развития, проблемы, перспективные направления развития, интеллектуальные сети, энергосистемы.

Abstract. The main goals, development methodology and existing problems in distribution networks are considered. It has been established that a promising direction for the development of electrical networks is the introduction of hybrid DC-AC networks, which combine the advantages of AC and DC networks. Hybrid networks are promising, and already at the design stage, “smart” networks can be created on their basis, which can facilitate the work of the power system dispatcher, reduce personnel and maintenance costs.

Keywords: distribution networks, goals, development methodology, problems, promising areas of development, smart networks, energy systems.

Одним из основных звеньев электроэнергетических систем являются распределительные электрические сети, которые служат для непосредственного питания электроприемников. В целом электрические сети подразделяют по роду тока и уровню напряжения, по конфигурации, по назначению и по району обслуживания.

По роду тока основным видом электросетей являются сети трехфазного переменного тока. Постоянный ток, а, следовательно, и сети постоянного тока, применяют только в установках специального назначения. Постоянный ток очень

высокого напряжения применяется для передачи значительных мощностей на большие расстояния.

По напряжению электросети, как и все электроустановки, разделяют на сети напряжением до 1000 В и сети с напряжением выше 1000 В или условно на электросети низкого и высокого напряжения.

По конфигурации электросети подразделяют на разомкнутые или радиальные, и замкнутые.

По назначению электросети подразделяются на питающие и распределительные. Распределительные электросети служат для непосредственного питания приемников электрической энергии: электродвигателей, трансформаторов и т.п.

Питающие электросети служат для передачи электроэнергии на распределительные подстанции, от которых питаются распределительные сети. В некоторых сетях трудно бывает четко разделить сеть на питающую и распределительную.

По району обслуживания различают местные и районные электросети. Местными электросетями обычно называют сети напряжением до 35 кВ включительно, питающие потребителей электроэнергии в радиусе не более 15-30 км при передаваемой мощности на одноцепной линии до 10-15 МВА.

Районными электросетями являются сети напряжением 35-110 кВ и выше, состоящие из линий электропередачи, связывающих на параллельную работу отдельные электростанции и питающих районные подстанции.

Выделим основные цели, методологию развития и имеющиеся проблемы в распределительных сетях, которые являются основным компонентом электрических сетей.

Главной целью развития распределительных электрических сетей является повышение надежности, обеспечение качества и экономичности энергоснабжения потребителей путем постоянного их совершенствования на базе инновационных технологий с превращением их в интеллектуальные сети [1].

Для достижения этой цели, в рамках реализации технической политики, необходимо:

- разработать и применять новые типы силового электрооборудования;
- использовать новые методы и средства релейной защиты и автоматики, диагностики оборудования и учета электроэнергии на микропроцессорной основе;
- ввести в действие системы мониторинга технического состояния электрооборудования, управления режимами сети и оборудованием;
- использовать системы сбора, передачи и обработки информации, а также программные и технические средства адаптивного управления с возможностью воздействия в реальном масштабе времени на активные элементы сети и энергопринимающие устройства (ЭПУ) потребителей;

- обеспечить условия для защиты сетей от внешних воздействий и безопасность при эксплуатации;

- реализовать мероприятия по повышению надежности электроснабжения и качества электроэнергии, а также новые принципы построения и управления электрическими сетями с использованием системы мониторинга текущих режимных параметров и текущей оценки состояния сети в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах;

- скоординировать оптимальное взаимодействие сети с генерирующими установками независимых производителей электроэнергии;

- применять гибкие рыночные механизмы взаимодействия сетевых компаний и потребителей.

Достичь цели можно или через обновление сетей, вкладывая инвестиции в оборудование подстанций и линий среднего напряжения, или через развитие системы эксплуатации сетей. Техничко-экономический принцип выбора инвестиций заключается в оптимизации соответствующих показателей посредством программно-целевого планирования, включающего в себя инвестиции, потери, денежный эквивалент ущерба потребителя и другие показатели.

Для оптимизации процесса распределения электрической энергии должны быть доступны средства проведения макроэкономических исследований на основе применения различных гипотез технологического и методологического развития распределительных электрических сетей, которые должны закончиться:

- оценкой взаимосвязи различных технико-экономических факторов: между стоимостью реконструкции и качеством электроэнергии, и другими факторами;

- разработкой схем перспективного развития электрических сетей и инвестиционными планами строительства или реконструкции сетевых объектов;

- инвестиционными проектами внедрения инновационных технологий и оборудования.

В связи с этим необходимо разработать единые нормативные требования к оптимизации технологических и технических условий развития распределительных электрических сетей, учитывающие:

- методы оценки остаточной стоимости электросетевых объектов;
- количественные критерии оценки инвестиционной привлекательности распределительных электрических сетей;

- качество проектирования на базе применения систем автоматизированного проектирования сетевых объектов.

Оптимизация режимов электрической сети обеспечивает минимум затрат при заданной в каждый момент времени нагрузке потребителей и достигается:

- выбором конфигурации электрических сетей и выбором состава включенного в работу оборудования;

- управлением параметрами режима работы сети;

- созданием оптимальной системы распределительных напряжений.

Оптимизация режима электрической сети, приводящая к уменьшению суммарных потерь активной мощности в сетях, достигается в результате оптимального выбора мощности и места размещения компенсирующих устройств, выбора коэффициентов трансформации трансформаторов, учета технических ограничений и выбора оборудования в соответствии со схемой построения электрической сети. Оптимизация достигается решением уравнений для установившегося режима с использованием градиентного метода.

Цель оптимизации – максимально эффективное использование и комплексное развитие территорий, направленное на обеспечение общественных интересов, социальных гарантий, повышение качества среды обитания.

Перспективные сети должны обеспечивать:

- доступ любых видов генерации и потребителей электроэнергии к услугам электросетевой инфраструктуры;
- активность потребителей в оптимизации режимов сети через оснащение интеллектуальными системами учета с возможностью ситуационного управления составом и мощностью ЭПУ потребителей (управление спросом, многотарифные системы и т.д.);
- широкое применение децентрализованных источников энергии у потребителей (собственных генераторов, топливных элементов и пр.), обеспечивающих передачу электроэнергии и информации по сетям;
- обеспечение «цифрового» качества электроэнергии;
- оптимизацию производства и потребления электроэнергии за счет регулирования нагрузки с максимальным учетом требований потребителей;
- максимальную самодиагностику, предупреждение сбоев, развитие технологий с самовосстановлением схем электроснабжения;
- расширение рыночных возможностей инфраструктуры путем взаимного оказания широкого спектра услуг субъектами рынка и инфраструктурой;
- использование оптимальных инструментов и технологий эксплуатации и обслуживания активов;
- повышение наблюдаемости за текущим состоянием сети и ее элементов, включая внешние воздействия окружающей среды, а также обработку данной информации в режиме реального времени.

Для этого необходима развитая структура сети на базе информационных технологий с географической и временной координацией контроля и управления сетью. Иерархическая система строится от подстанций к зонам управления, регионам и сети в целом. Временная координация сочетает быстрый локальный контроль с более медленным анализом ситуации и общим управлением. Для контроля в режиме on-line и анализа в режиме off-line в целях прогнозирования, анализа динамики развития процессов в сети, анализа возможностей электропередач требуется разработка:

- системы эффективной оценки состояния сети;
- систем прогнозирования программ предотвращения возникающих проблем и восстановления режима в сети;
- плана форсированного оперативного управления и ввода резервов.

Разработки перспективных электрических сетей, решающих такие задачи для конкретных потребителей, активно ведутся в мире.

Российская концепция сети как структуры, обеспечивающей надежность и эффективность связи генерации и потребителя, рассматривается ПАО «Россети» (Федеральной сетевой компанией – Россети), прежнее название ФСК «ЕЭС», в виде комплекса управления энергосистемой, имеющего адаптивную реакцию на различные виды возмущений и отклонений режимов работы сети («активно-адаптивная» сеть). По экспертным оценкам, эффект от внедрения в России концепции «активно-адаптивной» сети позволит почти на четверть снизить удельные капитальные вложения в развитие сетей [1, 2].

При этом в сетях распределительного комплекса повышение управляемости сети позволит противодействовать аварийным ситуациям. В сети, обладающей средствами быстрого управления режимами, поддерживается стабильность напряжения при изменениях потоков мощности, осуществляется управление потреблением электроэнергии посредством выравнивания графиков нагрузки, обеспечивается высокое качество электроснабжения.

Преодоление всех внешних вызовов возможно на основе организации инфраструктуры с системами связи и обмена информацией, внедрения новых типов сетевого оборудования, непрерывного контроля режима во многих точках сети и выявления критических режимов в «интеллектуальных» сетях.

Ключевыми технологиями, развиваемыми в секторе распределительных сетей, являются:

- инновационные компоненты и технологии;
- технологии аккумулирования электроэнергии;
- технологии сверхпроводимости;
- токоограничивающие устройства;
- технологии цифровой подстанции;
- технологии передачи энергии постоянным током;
- технологии управляемых электропередач переменного тока;
- системы мониторинга и защиты от внешних воздействий;
- технологии контроля и защиты от внешних воздействий;
- технологии мониторинга и диагностики электрических сетей;
- системы управления;
- технологии адаптивного автоматизированного и автоматического управления;
- технологии интеллектуального управления.

Управляемость сетей в будущем будет характеризоваться разнообразием направлений развития, таких как:

- оптимизация распределения потоков мощности с целью снижения потерь и достижения экономической эффективности распределения электроэнергии;

- осуществление противоаварийных мероприятий;

- обеспечение высокого качества электроэнергии путем выравнивания графиков нагрузки, координации действий сети с объектами распределенной энергетики и источниками возобновляемой энергии.

Эти задачи решаются оптимизацией инфраструктуры с системами связи и обмена информацией, внедрением новых типов сетевого оборудования, мониторингом состояния сети во многих точках в режиме on-line, выявлением критических режимов и узлов сети для создания сетей нового поколения («интеллектуальных сетей»).

Внедрение технологий, применяемых для развития распределительных электрических сетей, может привести к возникновению следующих проблем:

1. Неконтролируемые ценовые скачки, потеря поставщика (или поставщиков), падение рынка, банкротство и др., что является результатом либерализации рынка электроэнергии.

2. Часто преобладает идея достижения надежности электроснабжения любой ценой и инвестирования в сети для повышения возможности их работы в критических условиях. Надежность сетевой инфраструктуры зависит от электрических режимов, и наоборот. Раздельные действия по использованию сетей и управлению режимами технологически не обоснованы и нерациональны. Инновационные, технические, инвестиционные и организационные решения соответствующих субъектов должны быть взаимосвязаны. Для оптимизации надежности электроснабжения ЭПУ потребителей следует предусмотреть определение оптимальной надежности систем электроснабжения потребителей, оценку предельного объема капиталовложений в повышение надежности и выбор наиболее эффективной системы электроснабжения (при ограничении инвестиций).

3. Зачастую учитывается одномоментная стоимость того или иного вида оборудования или предлагаемого пакета услуг. Однако следует рассматривать бизнес-процесс на различные расчетные сроки развития, т.е. в какие затраты обойдется оборудование на протяжении его срока службы: первоначальная стоимость, освидетельствование, допуск в работу, ремонтные и эксплуатационные затраты, последующая утилизация и т.д. Немаловажным фактором, если говорить о цене владения, является малообслуживаемость оборудования. Малообслуживаемое оборудование с точки зрения эксплуатации является приоритетным, позволяющим снизить не только эксплуатационные затраты, но и общую цену владения.

4. Оптимизация критериев надежности. Обеспечение надежности электро-снабжения ЭПУ потребителей предусматривает проведение процедуры анализа и расчетов показателей надежности для всех основных элементов доставки электроэнергии (производство-передача по сетям напряжением 220 кВ и выше – распределение по сетям первого уровня напряжением 35-110 кВ, – распределе-ние по сетям второго уровня напряжением 0,4-20 кВ).

Оценка надежности электрических сетей заключается в определении их оптимальной пропускной способности и надежности функционирования, вклю-чая проблемы возникновения и развития системных аварий. Оптимизация уровня надежности распределительных сетей заключается в формировании схемы, обеспечивающей передачу необходимых объемов мощности при одно-временном сохранении нормативных режимных параметров, статической и ди-намической устойчивости. Оптимальный уровень надежности распределитель-ных сетей, определенный по критерию минимума полной стоимости резервиро-вания при доходности инвестиционного капитала 6%, характеризуется вероятно-стью ограничения 2,74 ч/год. Оптимальное значение инвестиций на повышение надежности распределительных сетей составляет ~ 74,0 тыс. руб/МВт нагрузки этих сетей.

Для достижения главных целей развития распределительных электриче-ских сетей необходимо решить следующие первоочередные задачи:

- разработка концепции и перспективной программы развития, модерни-зации, технического перевооружения и реконструкции распределительных элек-трических сетей 0,38-110 кВ, средств и систем управления их режимами, ремонт-ным и эксплуатационным обслуживанием;
- переход от остаточного к приоритетному принципу выделения финансо-вых и материальных ресурсов по поэтапной практической реализации этой кон-цепции и программы с пониманием решающей важности опережающего разви-тия распределительных сетей и систем их управления для эффективного функ-ционирования не только розничного, но и оптового рынков электроэнергии;
- разработка современной, ориентированной на рыночные условия хозяй-ствования и управления, нормативно-методической базы развития распредели-тельных электрических сетей и систем управления ими;
- разработка экономически обоснованных требований к отечественной промышленности по производству современного оборудования электрических сетей и систем управления ими;
- организация системы сертификации и допуска в эксплуатацию отече-ственного и импортного оборудования для распределительных сетей и систем управления ими;
- реализация и анализ результатов внедрения пилотных проектов по от-работке новых перспективных технологий и систем автоматизированного управ-ления распределительными электрическими сетями. Разработка и внедрение

эффективных автоматизированных систем управления распределительными электрическими сетями – комплексная задача, требующая значительных капиталовложений.

Каждая распределительная компания и ПАО-энерго прежде чем начинать модернизацию и техническое перевооружение действующей системы управления электрическими сетями или создавать новую, должны ясно понимать набор решаемых задач, предполагаемый эффект от внедрения АСУ.

Перспективным направлением развития электрических сетей является внедрение гибридной сети постоянно-переменного тока. Данная сеть представляет собой совокупность двух видов сетей переменного и постоянного тока. Гибридная сеть объединяет достоинства сетей переменного и постоянного тока, чем может повысить качество, надежность электрической энергии, а так же уменьшить габариты сети.

Связь между сетями постоянного и переменного тока осуществляется через инверторы. Сеть постоянного тока может быть как промежуточным элементом сети (в случае передачи электроэнергии на большие расстояния, связи двух энергосистем), так и распределительным, когда в данной сети находится потребитель (например, военные суда и изолированные потребители с двигательной нагрузкой постоянного тока). Также данная сеть может использоваться как для более простого, модернизированного подключения частотных приводов и систем плавного пуска электродвигателей крупных предприятий.

Данная сеть будет более компактной, в связи с отсутствием емкостной проводимости между проводниками постоянного тока, что более выгодно для изолированных сетей, распределительных сетей многоквартирных домов, где габариты имеют решающее значение. Также проводник будет более дешевым, в случае с сетью постоянного тока из-за его меньшего сечения, по сравнению с сетью переменного тока.

Гибридная сеть сможет более гибко использовать источники нетрадиционной энергетики (ветроэнергетические станции, солнечные электрические станции) с подключением накопителей электрической энергии [3,4].

Проблема реализации данных перспективных сетей заключается в том, что это абсолютно новая разработка, для которой нет определенных комплексов расчета статической и динамической устойчивости. Существующие расчетные комплексы не позволяют моделировать данные сети, а точнее они не предназначены для этого. На данный момент стоит задача создания такого комплекса, который сможет помочь реализовать все идеи для внедрения данных установок в существующие сети.

На данном этапе, при имеющейся базе знаний и необходимых инвестициях гибридные сети являются перспективными, и уже на этапе проектирования на их базе можно создать «интеллектуальные» сети, которые смогут облегчить

работу диспетчера энергосистемы, сократить затраты на персонал, обслуживание и вывести экономику, а тем самым и престиж страны, на новый уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. Институт энергетических исследований РАН. Аналитический центр при Правительстве РФ [Электронный ресурс] URL: <https://www.hse.ru/data/2014/01/23/1325658082/prognoz-2040.pdf> (обращение 15.04.2024 г.).

2. **Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А.** Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 128 с.

3. Информационно-технологическое обеспечение интегрированных систем малой энергетики в сфере электро- и теплоснабжения. Отчет о НИР // Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН. – Иркутск, 2011. – 569 с.

4. **Лукутин Б.В. и др.** Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. Монография. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.