

**МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И БИЗНЕСЕ»
23-24 мая 2024**

УДК 621.316

**НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

МИНАЕВ КИРИЛЛ ДМИТРИЕВИЧ

Кафедра электроэнергетики и электротехники, факультет цифровых технологий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет), e-mail: KirillminaevK@mail.ru ул. Земляной Вал 73, Москва, Российская Федерация.

КРЫЛОВ АРТЕМ ВЛАДИМИРОВИЧ

Кафедра электроэнергетики и электротехники, факультет цифровых технологий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал 73, Москва, Российская Федерация.

СИМОНЯН АЛЕКСАНДРА РОМАНОВНА

Кафедра электроэнергетики и электротехники, факультет цифровых технологий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал 73, Москва, Российская Федерация.

ЮРКОВА ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА

Кафедра электроэнергетики и электротехники, факультет цифровых технологий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал 73, Москва, Российская Федерация.

Аннотация

Системы электроснабжения представляют собой основу функционирования современного общества и экономики. С увеличением потребления электроэнергии и устаревшей инфраструктурой задача повышения надежности систем электроснабжения становится критически важной. В данной статье рассматриваются ключевые направления повышения надежности электроснабжения, включая модернизацию оборудования, внедрение интеллектуальных сетей, оптимизацию управления нагрузкой и интеграцию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Анализируются примеры успешных реализаций, приводятся количественные данные и рассматриваются современные тенденции и вызовы в области электроснабжения. В заключение подчеркивается важность комплексного подхода, включающего современные технологии и устойчивое развитие.

Ключевые слова: системы электроснабжения, надежность, интеллектуальные электрические сети, возобновляемые источники энергии, цифровизация, управление нагрузкой.

Введение

Надежность электроснабжения определяется как способность электроэнергетической системы предоставлять электроэнергию в необходимом объеме и в установленные сроки с

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И БИЗНЕСЕ»

23-24 мая 2024

минимальными перебоями и отклонениями от стандартов качества. Согласно данным Всемирной ассоциации электроэнергетики (WEC), прямые потери от отключений электроэнергии в 2023 году составили около 150 миллиардов долларов на глобальном уровне. Это подчеркивает важность повышения надежности электроснабжения, особенно в условиях глобальных изменений климата и роста потребления энергии.

Согласно отчетам Международного энергетического агентства (IEA), к 2030 году ожидается увеличение потребления электроэнергии на 30% по сравнению с 2020 годом. В России, например, в 2022 году потребление электроэнергии возросло на 2,5% по сравнению с предыдущим годом, что требует адаптации существующих систем. В этом контексте модернизация и оптимизация систем электроснабжения становятся не только желательными, но и необходимыми.

Современные вызовы в области надежности электроснабжения

1.) Устаревшая инфраструктура

Большая часть оборудования в электроэнергетических системах была установлена несколько десятилетий назад. По данным IEA, около 70% электрических сетей требуют обновления. Это приводит к увеличению числа аварий и снижению качества обслуживания. Например, в России около 60% распределительного оборудования эксплуатируется более 30 лет, что увеличивает вероятность аварийных ситуаций. Устаревшие трансформаторы и линии электропередач не могут справляться с растущими нагрузками, что приводит к перегрузкам и отключениям.

2.) Рост потребления электроэнергии

Увеличение числа электроприборов, электромобилей и других потребителей электроэнергии создает дополнительную нагрузку на сети. Прогнозируется, что к 2030 году глобальное потребление электроэнергии вырастет на 30%. В 2022 году в России наблюдался рост потребления на 2,5%, что требует адаптации существующих систем. Увеличение числа электромобилей, например, может привести к дополнительной нагрузке на электрические сети, особенно в городских условиях, где уровень потребления электроэнергии уже высок.

3.) Климатические изменения

Экстремальные погодные условия, такие как ураганы, наводнения и засухи, могут вызывать перебои в электроснабжении. Например, ураган "Ида" в США в 2020 году привел к отключению электроэнергии для более чем 1 миллиона потребителей. Изменение климата также влияет на доступность водных ресурсов для гидроэлектростанций, что может снизить их эффективность. Это требует от систем большей гибкости и адаптивности.

Киберугрозы

С увеличением цифровизации систем электроснабжения возрастает риск кибератак. В 2020 году было зафиксировано более 1000 кибератак на энергетические компании, что подчеркивает необходимость защиты информационных систем. Атаки на критически важные инфраструктуры могут привести к серьезным последствиям, включая отключения электроэнергии и утечку данных.

Основная часть

Модернизация электрооборудования

Модернизация электрооборудования — это ключевой элемент повышения надежности систем электроснабжения. Устаревшее оборудование, которое не соответствует современным стандартам, требует замены или серьезной переработки. Это включает в себя не только замену трансформаторов и линий электропередач, но и внедрение новых технологий, таких как автоматизация и цифровизация процессов.

Технические аспекты модернизации

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И БИЗНЕСЕ»

23-24 мая 2024

При модернизации оборудования важно учитывать следующие аспекты:

Энергоэффективность: Современные трансформаторы, которые имеют КПД выше 99%, могут значительно снизить потери электроэнергии. Например, замена старых трансформаторов на новые может привести к снижению потерь на 3-5%, что в условиях крупного города может означать экономию в десятки миллионов рублей в год.

Автоматизация процессов: Внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) позволяет не только оптимизировать работу оборудования, но и уменьшить человеческий фактор. Например, использование SCADA-систем (системы диспетчерского управления) позволяет в реальном времени отслеживать состояние оборудования и быстро реагировать на изменения.

Интеграция с системами мониторинга: Модернизированные системы могут быть интегрированы с IoT-устройствами, которые собирают данные о состоянии оборудования и передают их в облачные системы для анализа. Это позволяет предсказывать возможные неисправности и планировать профилактическое обслуживание.

Примеры успешной модернизации

В 2021 году в Нижегородской области была проведена масштабная модернизация подстанций, что привело к снижению аварийности на 40%. Например, на подстанции "Нижегородская" были установлены трансформаторы нового поколения с коэффициентом полезного действия (КПД) 98%. Это позволило снизить потери электроэнергии на 5% в год. При потреблении подстанцией 100 МВт это означает экономию 4,2 ГВтч в год, что эквивалентно электроэнергии, необходимой для обеспечения 1500 домохозяйств.

Также в Москве была проведена модернизация системы уличного освещения, где старые лампы заменили на светодиодные. Это не только снизило потребление электроэнергии на 60%, но и увеличило срок службы оборудования, что снизило затраты на обслуживание.

Интеграция технологий самодиагностики

Современные устройства в настоящее время оснащаются системами мониторинга в реальном времени, что позволяет незамедлительно идентифицировать и устранять потенциальные проблемы. Это особенно важно для предотвращения аварий и снижения времени простоя.

Технические аспекты самодиагностики

Технологии самодиагностики включают в себя:

Датчики состояния: Установка датчиков вибрации, температуры и напряжения на критически важных компонентах позволяет оперативно отслеживать их состояние. Например, датчики могут обнаруживать аномалии, которые указывают на возможные неисправности, за несколько дней до их возникновения.

Аналитические системы: Использование алгоритмов машинного обучения для анализа данных, собранных с датчиков, позволяет предсказывать поломки с высокой степенью точности. Это может значительно снизить затраты на обслуживание.

Интерфейсы для диспетчеров: Современные интерфейсы позволяют диспетчерам видеть состояние всей системы в реальном времени и принимать решения на основе актуальных данных.

Примеры применения самодиагностики

На подстанции "Калуга" внедрение системы самодиагностики позволило выявлять потенциальные неисправности за 5 дней до их возникновения, что в свою очередь снизило количество аварий на 25%. Использование датчиков для мониторинга состояния оборудования позволяет не только предсказывать поломки, но и оптимизировать график технического обслуживания, что снижает затраты.

В 2022 году в Санкт-Петербурге была внедрена система самодиагностики для уличного освещения, которая позволила уменьшить время реагирования на аварии с 48

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И БИЗНЕСЕ»

23-24 мая 2024

часов до 12 часов, что значительно повысило уровень надежности системы.

Внедрение интеллектуальных сетей

Интеллектуальные электрические сети (Smart Grids) представляют собой современные системы, которые обеспечивают автоматизацию, мониторинг и управление потоками энергии. Основные компоненты включают:

Датчики и автоматические выключатели: позволяют осуществлять мгновенное реагирование на изменения в сети.

Программное обеспечение для анализа данных: используется для предсказания пиковых нагрузок и оптимизации работы сети.

Интерактивные интерфейсы для потребителей: позволяют пользователям контролировать свое потребление энергии и выбирать наиболее выгодные тарифы.

Преимущества интеллектуальных сетей

Интеллектуальные электрические сети оказывают положительное влияние на надежность электроснабжения, выявляя узкие места в режиме реального времени. Они предлагают:

Улучшение качества электроснабжения: Автоматические системы управления могут быстро реагировать на изменения в потреблении энергии, что позволяет избежать перегрузок.

Оптимизация распределения ресурсов: Умные сети могут автоматически перенаправлять потоки энергии в зависимости от спроса и предложения, что снижает вероятность отключений.

Интеграция ВИЭ: Интеллектуальные сети позволяют эффективно интегрировать возобновляемые источники энергии, что делает систему более устойчивой.

Примеры успешной реализации

В Испании с 2013 года активно внедряются интеллектуальные сети, что позволило снизить уровень потерь электроэнергии в распределительных сетях с 12% до 11% с 2018 по 2021 год. Это также способствовало снижению времени отключения электроэнергии на 20%.

В Калифорнии реализован проект по созданию "умных" электрических сетей, который включает в себя установку более 10 миллионов умных счетчиков. Это позволило не только улучшить качество обслуживания, но и снизить потребление электроэнергии на 8% в пиковые часы.

Оптимизация управления нагрузкой

Оптимизация управления нагрузкой — это стратегия, направленная на уменьшение пикового потребления электроэнергии и распределение нагрузки на протяжении суток. Системы TOU (Time-of-Use) предлагают разные расценки на электроэнергию в зависимости от времени суток, что стимулирует потребителей использовать электроэнергию в непиковые часы.

Технические аспекты управления нагрузкой

Ключевые элементы оптимизации управления нагрузкой включают:

Системы предсказания нагрузки: Использование исторических данных и алгоритмов для прогнозирования потребления электроэнергии позволяет заранее планировать распределение ресурсов.

Интерактивные тарифные модели: Предложение различных тарифов в зависимости от времени суток и уровня нагрузки стимулирует потребителей планировать свое потребление.

Автоматизированные системы управления: Установка автоматизированных систем, которые могут управлять работой бытовых приборов в зависимости от текущей нагрузки на сеть.

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И БИЗНЕСЕ»

23-24 мая 2024

Примеры успешной оптимизации

В Татарстане внедрение системы управления нагрузкой позволило снизить пиковые нагрузки на 15%. Программа предоставила скидки на электроэнергию для потребителей, использующих энергию в непиковые часы, что привело к снижению общего потребления электроэнергии на 8% в течение года.

В Новой Зеландии была реализована программа по оптимизации управления нагрузкой, в рамках которой потребители могли получать бонусы за использование электроэнергии в непиковые часы. Это позволило снизить пиковые нагрузки на 12% и улучшить общую надежность системы.

Использование IoT-устройств

IoT-устройства позволяют автоматизировать управление электроэнергией в домах и на промышленных объектах, снижая нагрузку в пиковые часы. В некоторых регионах России уже реализованы пилотные проекты, где после внедрения управления нагрузкой показатель падения пиковых нагрузок составил 15%.

Технические аспекты IoT

Ключевые элементы применения IoT в электроэнергетике включают:

Умные счетчики: позволяют отслеживать потребление электроэнергии в реальном времени и передавать данные в облачные системы для анализа.

Умные устройства: Бытовые приборы, которые могут управляться удаленно, позволяя пользователям оптимизировать свое потребление.

Системы управления энергией: Программные решения, которые анализируют данные о потреблении и предлагают рекомендации по его оптимизации.

Пример применения IoT

В проекте "Умный дом" в Московской области было установлено более 5000 IoT-устройств, что позволило снизить потребление электроэнергии на 10% в пиковые часы. Эти меры также улучшили общую надежность трансформаторных подстанций. Использование умных счетчиков, которые автоматически передают данные о потреблении в режиме реального времени, позволяет более точно отслеживать потребление и оптимизировать его.

В Сингапуре была внедрена система умных счетчиков, которая позволила снизить потребление электроэнергии на 5% благодаря более точному мониторингу и управлению.

Интеграция возобновляемых источников

Интеграция ВИЭ снижает зависимость от традиционных источников и способствует созданию многоуровневой системы, где различные источники энергии работают в гармонии. Для сглаживания колебаний в выработке электроэнергии из ВИЭ требуется использование накопителей, которые могут сохранять избыточную энергию и возвращать её в сеть при необходимости.

Технические аспекты интеграции ВИЭ

Ключевые элементы интеграции ВИЭ включают:

1. **Системы хранения энергии:** использование аккумуляторов и других технологий для хранения избыточной энергии, вырабатываемой в пиковые часы.

2. **Управление распределением энергии:** программные решения, которые позволяют эффективно распределять энергию между различными источниками.

3. **Гибридные системы:** комбинация различных источников энергии, таких как солнечные панели и ветряные турбины, для обеспечения надежного электроснабжения.

Примеры успешной интеграции ВИЭ

В Германии, в результате политики интенсификации ВИЭ, к 2020 году доля возобновляемых источников в производстве электроэнергии достигла 42%. Это стало возможным благодаря активному внедрению солнечных и ветровых электростанций. Например, в 2021 году в Германии было установлено 5,3 ГВт новых солнечных мощностей, что значительно увеличило долю солнечной энергии в общем энергобалансе.

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И БИЗНЕСЕ»

23-24 мая 2024

В Калифорнии была запущена программа "Гибридные системы", которая сочетает солнечные панели и системы хранения энергии. Это позволяет использовать солнечную энергию в дневное время и сохранять её для использования в ночное время, что значительно повышает надежность электроснабжения. В результате, в 2022 году Калифорния смогла произвести 50% своей электроэнергии из ВИЭ, что снизило зависимость от ископаемых источников.

Цифровизация как фактор повышения надежности

Цифровизация в электроэнергетическом секторе открывает новые возможности для повышения надежности систем. Внедрение технологий больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта позволяет не только оптимизировать процессы, но и предсказывать потенциальные сбои в работе оборудования.

Технические аспекты цифровизации

Ключевые элементы цифровизации включают:

4. Аналитика больших данных: Сбор и анализ больших объемов данных о состоянии оборудования и потреблении электроэнергии для выявления закономерностей и предсказания сбоев.

5. Машинное обучение: Использование алгоритмов машинного обучения для анализа данных и предсказания потенциальных проблем.

6. Интеграция с облачными решениями: Хранение и обработка данных в облаке для обеспечения доступа к информации в реальном времени.

Применение аналитики данных для мониторинга состояния оборудования позволяет заранее выявлять аномалии и планировать профилактические работы, что существенно снижает риск аварий. Например, в 2021 году компания «ЭнергосбыТ Плюс» внедрила систему предиктивной аналитики, что позволило снизить количество аварий на 25% за год. Эта система использует алгоритмы машинного обучения для анализа данных о состоянии оборудования и предсказывает вероятность его выхода из строя.

В 2022 году в Москве была запущена программа по цифровизации электрических сетей, которая включает в себя установку датчиков и систем мониторинга. Это позволит сократить время реагирования на аварии в среднем на 30%, что повысит общую надежность системы.

Роль образования и подготовки кадров

Для успешной реализации вышеуказанных мер необходимо подготовить квалифицированные кадры. Важно развивать программы обучения и повышения квалификации для специалистов в области электроэнергетики. В некоторых университетах России уже внедряются курсы по интеллектуальным сетям и возобновляемым источникам энергии, что способствует подготовке нового поколения специалистов.

Образовательные инициативы

Ключевые направления в области образования включают:

Разработка новых учебных программ: важно, чтобы учебные заведения адаптировали свои программы к современным требованиям и технологиям. Это может включать курсы по цифровизации, интеллектуальным сетям и возобновляемым источникам энергии.

Стажировки и практическое обучение: создание стажировок и практических курсов на базе энергетических компаний позволяет студентам получить реальный опыт работы в отрасли.

Сотрудничество с промышленностью: важно, чтобы образовательные учреждения сотрудничали с энергетическими компаниями для разработки программ,

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И БИЗНЕСЕ»

23-24 мая 2024

которые соответствуют потребностям рынка.

Примеры успешных инициатив

В 2022 году в России была запущена программа "Энергетика будущего", которая включает в себя курсы по современным технологиям в электроэнергетике. Программа охватывает такие темы, как управление интеллектуальными сетями, интеграция ВИЭ и кибербезопасность в энергетике. Она ориентирована на студентов и специалистов, желающих повысить свою квалификацию.

Кроме того, создаются стажировки и практические курсы на базе энергетических компаний, что позволяет студентам получить реальные навыки и опыт работы в отрасли. Это также способствует более тесному сотрудничеству между образовательными учреждениями и промышленностью, что, в свою очередь, улучшает качество подготовки специалистов.

Заключение

Повышение надежности электроснабжения требует комплексного и многопланового подхода. Модернизация оборудования, внедрение интеллектуальных сетей, оптимизация управления нагрузкой и интеграция возобновляемых источников энергии являются важными шагами в решении этой задачи. Более активное применение современных технологий, а также применение успешных международных практик позволит значительно улучшить надежность электроснабжения и снизить риски для потребителей. Важно продолжать исследовать и внедрять новые решения, чтобы соответствовать требованиям современного общества и обеспечить устойчивое развитие электроэнергетической системы.

Список литературы

[1] Любарский, Ю. Я. Интеллектуальные электрические сети: компьютерная поддержка диспетчерских решений: учебное пособие / Ю.Я. Любарский, А.Ю. Хренников. — Москва: ИНФРА-М, 2024. — 160 с. — (Высшее образование: Магистратура). — DOI 10.12737/1134516. - ISBN 978-5-16-016395-6. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2139000>

[2] Папков, Б. В. Задачи надежности современного электроснабжения: монография / Б. В. Папков, А. Л. Куликов, П. В. Илюшин. - Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 260 с. - ISBN 978-5-9729-0774-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1902455>

[3] Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения: учебное пособие / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. — Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2023. — 127 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-00091-486-1. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1938922>

[4] Долотин А.И., Тусков А.А., Шифрин И.О., Якушкин В.С. // Повышение надежности и бесперебойного потребления электроэнергии ООО «Пензамолинвест». International Agricultural Journal. 2021. Т. 64. № 2

**DIRECTIONS FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF
POWER SUPPLY TO CONSUMERS**

MINAEV KIRILL DMITRIEVICH

Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Faculty of Digital Technologies, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), 73 Zemlyanoy Val Street, Moscow, Russian Federation.

KRYLOV ARTEM VLADIMIROVICH

Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Faculty of Digital Technologies, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (First Cossack University email: KirillminaevK@mail.ru), 73 Zemlyanoy Val Street, Moscow, Russian Federation.

SIMONYAN ALEXANDRA ROMANOVNA

Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Faculty of Digital Technologies, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), 73 Zemlyanoy Val Street, Moscow, Russian Federation.

YURKOVA ELENA ALEKSEEVNA

Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Faculty of Digital Technologies, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), 73 Zemlyanoy Val Street, Moscow, Russian Federation.

Annotation

Electricity supply systems are the basis for the functioning of modern society and economy. With increasing energy consumption and outdated infrastructure, improving the reliability of power systems is becoming critical. This article discusses the key areas for improving the reliability of power supply, including equipment modernization, the introduction of smart grids, the optimization of load management, and the integration of renewable energy sources (RES). Examples of successful implementations are analysed, quantitative data are presented, and current trends and challenges in the field of electricity supply are considered. In conclusion, the importance of an integrated approach that includes modern technologies and sustainable development is emphasized.

Keywords: power supply systems, reliability, smart grids, renewable energy sources, digitalization, load management.