

Д.А. ИШИМОВ, студент гр. М-ЭО-24 (ЛГТУ)
Научный руководитель В.И. ЗАЦЕПИНА, д.т.н., профессор (ЛГТУ)
г. Липецк

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы оптимизации электрических сетей в современных условиях. Проанализированы основные проблемы, связанные с высоким уровнем потерь электроэнергии, интеграцией возобновляемых источников энергии и необходимостью модернизации инфраструктуры. Исследованы перспективные направления развития, включая внедрение интеллектуальных технологий (SMART GRID), оптимизацию реактивной мощности и напряжений, использование матмодели и методов искусственного интеллекта.

Введение

Оптимизация электрических сетей представляет собой комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности, надежности и экономичности работы систем электроснабжения. В условиях растущего спроса на электроэнергию, увеличения доли переменной генерации на основе возобновляемых источников и старения инфраструктуры эти задачи приобретают особую актуальность. Современные распределительные сети характеризуются значительной сложностью, так как обслуживают множество потребителей и интегрируют различные источники энергии. Эффективное управление такими сетями требует применения передовых методов расчета, анализа и оптимизации их режимов. Целью данной статьи является анализ ключевых проблем и перспективных направлений оптимизации электрических сетей, включая Smart Grid, управление реактивной мощностью и цифровизацию.

Основные проблемы оптимизации электрических сетей

Электрические сети сталкиваются с рядом серьезных вызовов, которые необходимо решить для обеспечения их устойчивой и эффективной работы:

1. Высокие потери активной мощности. Одной из наиболее значительных проблем являются технические потери электроэнергии при ее транспортировке, возникающие из-за сопротивления проводников. Высокие потери не только снижают экономическую эффективность работы се-

тей, но и указывают на необходимость оптимизации их режимов, включая выбор оптимального сечения проводов и управления нагрузкой.

2. Интеграция возобновляемых источников энергии. Активное внедрение фотоэлектрических систем и других видов распределенной генерации создает дополнительные сложности для управления сетевыми режимами. Колебания генерации от ВИЭ могут приводить к нестабильности напряжений, изменению направлений потоков мощности и необходимости пересмотра традиционных подходов к защите и автоматике. Это требует разработки новых адаптированных методик расчета и анализа.

3. Необходимость модернизации инфраструктуры. Ощутимая часть сетевого хозяйства физически и морально устарела. Факторы дискретности и динамики развития, многорежимность работы энергосистем, а также неопределенность исходных данных о будущих условиях развития осложняют планирование и оптимизацию сети. Отсутствие эффективного инструментария для решения оптимизационных задач развития сети на практике часто приводит к принятию неоптимальных решений, основанных преимущественно на опыте и интуиции проектировщиков.

4. Обеспечение надежности и устойчивости. Надежность электроснабжения потребителей остается критически важным требованием. Большинство аварийных отключений воздушных линий носит неустойчивый характер, что осложняет процесс поиска повреждения и восстановления нормального режима работы сети. Повышение точности и надежности приборов определения места повреждения является важной задачей для сокращения времени простоя.

Перспективные направления оптимизации

Для решения указанных проблем разрабатываются и внедряются различные перспективные методы и технологии:

1. Внедрение технологий Smart Grid. Интеллектуальные энергосистемы представляют собой одно из ключевых направлений трансформации электроэнергетики [1]. Они позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние сети, оперативно реагировать на изменения и управлять потоками мощности. Разрабатываются эффективные и алгоритмизированные методики расчета и анализа потерь электроэнергии, адаптированные к современным условиям формирования SMART GRID. Стандартизация и создание единого информационного пространства на основе концептуальных моделей (таких как CIM) являются важной основой для цифровой трансформации отрасли.

2. Оптимизация реактивной мощности и напряжения. Управление реактивной мощностью является действенным способом снижения потерь активной мощности и улучшения качества электроэнергии. Исследования показывают, что путем выбора оптимального набора напряжений узлов,

реактивных мощностей источников и коэффициентов трансформации трансформаторов можно достичь значительной экономии [2, 3]. Для этого применяются современные алгоритмы оптимизации, включая интеллектуальные алгоритмы.

3. Использование матмодели и тренажеров. Динамические модели энергообъединений, такие как режимный тренажер RETREN, позволяют моделировать электромеханические и длительные переходные процессы в турбинах-генераторах, системы регулирования частоты и напряжения [4]. Эти инструменты используются для обучения и тренировок оперативного персонала, а также для анализа различных сценариев работы сети, включая короткие замыкания и процессы синхронизации.

4. Структурный анализ и планирование развития. Для задач перспективного развития сетей применяются методы структурного анализа, которые позволяют упростить процедуру анализа режимов и устойчивости энергосистем [5]. Эти методы помогают определять максимальные и предельные мощности в сечениях сети и формировать совокупность рациональных вариантов ее развития с учетом технических и экономических ограничений.

5. Применение передовых алгоритмов и ИИ. В задачах оптимизации режимов электрических сетей все более широкое распространение получают современные вычислительные методы, такие как улучшенный алгоритм квантового роя частиц (Improved Quantum Particle Swarm Optimization) и алгоритм Big Bang-Big Crunch. Эти методы позволяют эффективно решать сложные многокритериальные задачи, например, оптимизацию реактивной мощности в активных распределительных сетях.

Таблица 1

Ключевые направления оптимизации
электрических сетей и их ожидаемые эффекты

Направление оптимизации	Ожидаемый эффект
Внедрение Smart Grid	Повышение наблюдаемости, управляемости и надежности сети, интеграция ВИЭ
Оптимизация реактивной мощности	Снижение потерь активной мощности, улучшение качества электроэнергии
Использование цифровых двойников	Снижение операционных рисков, улучшение подготовки персонала
Структурный анализ	Принятие более обоснованных решений по развитию сетевой инфраструктуры
Применение алгоритмов ИИ	Решение сложных оптимизационных задач в реальном времени

Заключение

Проведенный анализ показывает, что оптимизация электрических сетей является сложной и многогранной задачей, требующей системного

комплексного подхода. Ключевыми проблемами на пути к эффективной и надежной работе сетей остаются высокие потери активной мощности, сложности интеграции возобновляемых источников энергии и физическое старение инфраструктуры. Перспективы решения этих проблем связаны с активной цифровизацией отрасли, внедрением интеллектуальных технологий SMART GRID, оптимизацией режимов по реактивной мощности и напряжению, а также использованием современных математических методов и алгоритмов оптимизации. Успешная реализация этих направлений позволит не только снизить эксплуатационные затраты и повысить надежность электроснабжения, но и создаст основу для интеграции в энергосистему новых видов генерации и активных потребителей, что является необходимым условием для перехода к устойчивой и эффективной энергетике будущего.

Список литературы:

1. Отчет о НИР (заключительный) № ГР 20211269 «Разработка инновационных методов и технических решений анализа и оптимизации электрических систем и сетей» / Белорусский национальный технический университет и др. – Минск, 2023.
2. Кузнецов, О.Н. Оптимизация режима электрической сети по критерию минимума потерь активной мощности / Кузнецов О.Н., Каримов Н.А. // Вестник МЭИ. – 2023. – № 6. – С. 51-59.
3. Оптимизация режимов распределительных электрических сетей по реактивной мощности и напряжению / Оржанова Ж., Боканова А., Сулейменова Д., Исабеков Ж. // Вестник КазАТК. – 2024. – № 135(6). – С. 431–438.
4. Режимный тренажер диспетчера энергосистемы РЕТРЕН – базовый элемент тренажерной подготовки диспетчеров «Россети ФСК ЕЭС» / Рабинович М.А., Моржин Ю.И., Потапенко С.П., Каковский С.К. // Энергия единой сети. – 2022. – № 3(4). – С. 64-65.
5. Усов, И.Ю. Оптимизация развития основной электрической сети с использованием структурного анализа : дис. ... канд. техн. наук. : 05.14.01 – 2023. – 208 с.

Информация об авторах:

Ишимов Даниил Алексеевич, студент гр. М-ЭО-24, ЛГТУ, 398070, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, daniil.ishimpv@gmail.com

Зацепина Виолетта Иосифовна, д.т.н., профессор, 398070, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, vizatsepina@yandex.com