

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки 13.04.02 - Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы
Электроэнергетические системы и сети

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина

« ____ » _____ 20 ____ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Применение инновационных технологий при проектировании городских распределительных сетей

Исполнитель

студент группы 342-ом

подпись, дата

Юй Сяолун

Руководитель

профессор, канд. техн. наук

подпись, дата

Ю.В.Мясоедов

Руководитель

научного содержания
программы магистратуры,
профессор, докт. техн. наук

подпись, дата

Н.В.Савина

Нормоконтроль

старший преподаватель

подпись, дата

Л.А.Мясоедова

Рецензент

подпись, дата

Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав . кафедрой

_____ Н .В Савина

« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Юй Сяолун

1. Тема выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации):

Применение инновационных технологий при проектировании городских распределительных сетей (утверждено приказом от 06.03.2025 No 609 Уч.)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 09.06.2025

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе:

Материалы по производственной и преддипломной практике

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

Оптимизация эксплуатационных расходов распределительной сети с помощью анализа больших данных, Совместимость традиционных энергетических установок с новыми инновационными технологиями, Широко применяются технологии массового хранения энергии, Искусственный интеллект в распределительной сети

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т .п .)

Руководство по техническим решениям и проектированию при строительстве распределительной сети,

Интеграция блокчейна и технологий IoT в интеллектуальные сети Белая книга

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов)

7. Дата выдачи задания 22.02.2025

Руководитель выпускной квалификационной работы: Юрий Викторович Мясоедов, декан,
канд,техн,наук.

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 22.02.2025

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 125 с, 13 рисунков, 7 таблиц, 52 источников.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ГОРОДСКИЕ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ, РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГИКА,
ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И АНАЛИЗ
БОЛЬШИХ ДАННЫХ, МИКРОСЕТИ И БЛОКЧЕЙН

С ускорением урбанизации и ростом спроса на электроэнергию городские распределительные сети сталкиваются с новыми проблемами, когда традиционные энергосистемы не могут справиться с колебаниями нагрузки, интеграцией возобновляемых источников энергии и стабильностью поставок. В этой статье предлагается инновационный подход к проектированию и строительству распределительных сетей. Ключевыми элементами являются интеллектуальные системы управления, интеграция распределенной энергии с современными технологиями хранения и иерархическое управление нагрузкой. Учитываются особенности потребления электроэнергии в различных районах города. Предлагается решение, которое соответствует требованиям надежности и нормам распределения нагрузки. С помощью программ VISIO и CAD были созданы блок - схемы и дорожные карты, что улучшило визуализацию процесса. Приведены формулы расчета и анализа данных. Эти разработки помогают создавать гибкие и устойчивые решения для различных городских условий, обеспечивать надежное энергоснабжение и продвигать возобновляемые источники энергии.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПОТРЕБНОСТЕЙ ГОРОДСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	8
1.1 Анализ текущего состояния городских распределительных сетей	11
1.1.1 Основная структура и особенности городских распределительных сетей	12
1.1.2 Меры, принимаемые для решения проблем.....	14
1.1.3 Тенденции развития городских распределительных сетей в будущем	15
1.2 Потребности в строительстве городских распределительных сетей....	15
1.2.1. Современные проблемы и решения для устойчивого развития энергетики в городах	20
1.3 Выводы	23
2 ИДЕИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	24
2.1 Стратегия строительства городских распределительных сетей и применения технологий.....	26
2.1.1 Стратегия строительства распределительных сетей	27
2.1.2 Ключевые технологии для городских распределительных сетей.....	29
2.2 Инновационные технологические решения в строительстве распределительных сетей	36
2.2.1 Технология умных сетей (Smart Grid)	37
2.2.2 Интеграция распределенных энергетических и накопительных систем	38
2.2.3 Блокчейн и инновации в торговле электроэнергией	39
2.2.4 Интернет вещей (IoT) и технологии больших данных.....	40
2.2.5 Электромобили (EV) для совместного управления с сетью.....	40
2.2.6 5G Коммуникационные технологии	42
2.3 Выводы	45
3 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С УЧЁТОМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	46
3.1 Общее планирование и системная координация	53
3.2 Гибкость и масштабируемость	56
3.3 Надежность и безопасность	57
3.4 Окружающая среда и устойчивое развитие	59
3.5 Экономичность и потребности пользователей	60
3.6 Политическая поддержка и соблюдение	61
3.7 Выводы	63
4 РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	65
4.1 Цифровизация распределительной сети	69

4.1.1	Ключевые технологии оцифровки распределительных сетей	70
4.1.2	Применение цифровых распределительных сетей	74
4.2	Проблемы и решения в цифровизации распределительных сетей [J].	75
4.2.1	Проблемы цифровизации распределительных сетей	76
4.2.2	Решение проблем цифровизации распределительных сетей.....	78
4.3	Блокчейн и Интернет вещей	80
4.3.1	Применение технологии блокчейна и Интернета вещей	83
4.4	Выводы	91
5	УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	92
5.1	Планирование проектов и анализ потребностей.....	97
5.1.1	Проектирование.....	99
5.2	Управление рисками и планирование на случай непредвиденных обстоятельств.....	101
5.2.1	Выявление и оценка рисков.	101
5.2.2	Разработка планов действий в чрезвычайных ситуациях.....	104
5.3	Распределение ресурсов и управление ими.	105
5.3.1	Оптимизация распределения ресурсов.	107
5.3.2	Проблемы и решения в области управления ресурсами.....	108
5.4	Контроль за прогрессом и управление качеством	110
5.4.1	Контроль прогресса.	111
5.4.2	Управление качеством.....	112
5.4.3	Совместное управление прогрессом и качеством.	114
5.5	Закрытие проекта и последующее обслуживание	115
5.6	Выводы	116
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
	Библиографический список	120

Введение

Городские распределительные электросети – ключевой элемент современной энергетической инфраструктуры, обеспечивающий стабильное электроснабжение для нормальной жизни горожан и устойчивого экономического развития. Но традиционные сети сталкиваются с проблемами: высокими нагрузками, трудностями интеграции возобновляемых источников энергии, низкой операционной эффективностью и старением инфраструктуры, что угрожает надежности и эффективности энергосистемы и требует комплексной модернизации.

В соответствии с данными Международного энергетического агентства (МЭА), в мире насчитывается более 759 миллионов человек, которые до сих пор не имеют доступа к электричеству. Более 80% из них проживают в развивающихся странах Азии и Африки. В Китае, например, сельские районы с их 674,15 миллионами жителей (50,5% от общей численности населения страны) сталкиваются с недостатком электроснабжения из-за сложных географических условий и удаленности. Это препятствует не только повышению уровня жизни сельских жителей, но и сдерживает устойчивое развитие экономики в целом [1,2].

Основной задачей данной работы является анализ текущего состояния и перспектив развития городских распределительных сетей через призму инновационных технологий. Цель состоит в том, чтобы выявить ключевые проблемы, с которыми сталкиваются современные распределительные сети, и предложить эффективные решения на основе передовых технологий, таких как интеллектуальные сети, системы хранения энергии, интернет вещей, искусственный интеллект и технологии блокчейн.

Исследование охватывает несколько аспектов: анализ текущего состояния городских распределительных сетей, изучение инновационных технологий и их применения, определение общих принципов строительства

распределительных сетей с учетом инновационных решений, а также рассмотрение цифровых технологий и проблем их внедрения в распределительных сетях. Особое внимание уделяется вопросам управления проектами восстановления сетевой инфраструктуры, которые имеют ключевое значение для успешной модернизации распределительных сетей.

Целевая аудитория данной работы включает специалистов в области энергетики, инженеров, ученых, студентов и заинтересованы в развитии городских распределительных сетей и применении инновационных технологий в этой области. Результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегий и планов, направленных на повышение эффективности и надежности распределительных сетей, а также для образовательных целей в университетах и научных учреждениях. В целом, данная работа направлена на содействие переходу к более эффективным, интеллектуальным и экологически устойчивым энергетическим системам, способным удовлетворять современные требования к качеству и надежности электроснабжения.

В процессе обучения в магистратуре принято участие в двух конференциях: "Вестник Амурского государственного университет" и "XXXIV «День науки»". Опубликовано две работы: «Оптимизация режимов работы распределитеной сети» и «Использование суперконденсаторов в качестве накопителей электрической энергии».

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПОТРЕБНОСТЕЙ ГОРОДСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В настоящее время городская распределительная сеть сталкивается с рядом трудностей и проблем. Ускорение процесса урбанизации и рост экономической активности привели к увеличению спроса на электроэнергию, однако традиционные распределительные сети оказались перегруженными для удовлетворения этих потребностей. Существующие распределительные системы часто сталкиваются со старением оборудования и недостаточным техническим уровнем, что приводит к неэффективности энергосистемы и частым сбоям. Кроме того, из-за растущего доступа к возобновляемым источникам энергии, таким как солнечная энергия и энергия ветра, традиционные энергосистемы не имеют эффективной регулирующей способности, что затрудняет выравнивание влияния этих волатильных источников энергии на стабильность системы. Для удовлетворения будущих потребностей в области развития городская распределительная сеть нуждается во многих аспектах модернизации. Во-первых, сеть должна обладать большей надежностью и стабильностью для обеспечения эффективного энергоснабжения. Во-вторых, применение интеллектуальных технологий становится особенно актуальным, улучшая возможности мониторинга, планирования и устранения неполадок в энергосистеме с помощью больших данных, Интернета вещей и автоматизированного управления. Кроме того, с распространением электромобилей и ростом распределенных возобновляемых источников энергии, энергосистемы должны быть в состоянии гибко принимать эти новые формы энергии и иметь более сильную регулирующую способность. Наконец, электросети нуждаются в более широком масштабе, чтобы адаптироваться к растущему городскому масштабу и растущему спросу на электроэнергию.

В целом, городские распределительные сети сталкиваются со многими проблемами, такими как старение объектов, рост нагрузки и доступ к зеленой энергии, и существует настоятельная необходимость в более эффективном, интеллектуальном и устойчивом управлении электроэнергией с помощью инновационных технологий. Сравнение основных технических параметров современных городских распределительных сетей показано в таблице 1-1 ниже.

Таблица 1-1 Технические параметры городской распределительной сети

Параметр	Традиционные распределительные сети	Современные распределительные сети
Размер сетки	Малый	Большой
Распределение нагрузки	Нарушение равновесия	Относительно сбалансированное
Степень автоматизации	Низкая	Высокая
Интеллектуальное управление	Нет	Высокий уровень интеллектуальности (включая удалённый мониторинг, планирование)
Тип доступа к энергии	Один источник энергии (традиционная энергия)	Несколько источников энергии (ветер, солнце, накопители энергии и т.д.)
Время восстановления после сбоя	Длительное	Короткое (технология самовосстановления, автоматизированное восстановление)

Продолжение табл. 1-1

Параметр	Традиционные распределительные сети	Современные распределительные сети
Доля возобновляемых источников энергии	Низкая	Высокая
Надежность системы	Средняя	Высокая (резервные конструкции, отказоустойчивые технологии)
Параметр	Традиционные распределительные сети	Современные распределительные сети
Сбор и мониторинг данных	В принципе, нет сбора данных в режиме реального времени	Мониторинг в режиме реального времени и анализ больших данных
Возможности прогнозирования нагрузки	Слабые	Сильные (с использованием искусственного интеллекта и больших данных)
Методы оптимизации планирования	Отсутствуют	Оптимизированное планирование на основе искусственного интеллекта и машинного обучения
Расходы на реконструкцию и обслуживание сети	Высокие (ручное управление, старое оборудование)	Низкие (автоматизированное управление, умные устройства)

1.1 Анализ текущего состояния городских распределительных сетей

С прогрессом урбанизации городские распределительные сети испытывают все большее давление с точки зрения энергоснабжения, надежности и безопасности. Городская распределительная сеть является важнейшим компонентом энергетической системы, отвечающей за доставку электроэнергии из высоковольтных сетей конечным пользователям. Однако по мере роста экономики и роста спроса на энергию традиционные распределительные сети начинают демонстрировать многочисленные проблемы. Анализируя текущее состояние городских распределительных сетей, можно определить основные проблемы и направления их развития.

Одной из наиболее актуальных проблем является отсутствие гибкости и адаптивности. Они не могут быстро реагировать на изменения нагрузки, что может привести к перегрузке в некоторых районах и недостаточному использованию энергии в других. Еще одна проблема заключается в старении оборудования. Старые трансформаторы, кабели и другие компоненты системы имеют более низкую эффективность и требуют более частого ремонта, увеличивая затраты на обслуживание и потенциально вызывая сбои в электроснабжении. Кроме того, вопрос о совместимости различных элементов распределительной сети становится все более актуальным с появлением новых видов производства энергии, таких как солнечные и ветровые электростанции. Обеспечение их беспрепятственной интеграции в существующую инфраструктуру имеет важное значение для повышения общей стабильности и эффективности энергетической системы города.

Для решения этих проблем необходимо ввести инновационные подходы. Например, разработка и внедрение умных сетей (Smart Grid) может стать ключом к повышению гибкости и адаптивности городских распределительных сетей. Smart Grid позволяет использовать современные технологии мониторинга и управления, что позволяет операторам сети более точно предвидеть изменения нагрузки и эффективно распределять энергию.

Также актуален вопрос о замене старого оборудования на более современное с повышенной энергоэффективностью [3,4]. Это не только повысит надежность электроснабжения, но и сократит затраты на обслуживание. Кроме того, для обеспечения совместимости различных источников энергии необходимо создать единый стандарт взаимодействия между ними и существующей инфраструктурой. Это поможет в более плавном и эффективном внедрении новых технологий в энергетическую систему города.

1.1.1 Основная структура и особенности городских распределительных сетей

Городская распределительная сеть, как правило, включает в себя сеть высокого, среднего и низкого напряжения, а также трансформаторные подстанции. В отличие от сельских или удаленных районов, городские распределительные сети сталкиваются с более сложными и изменчивыми потребностями в энергии. Основные особенности городской распределительной сети можно резюмировать следующим образом:

1) Широкий охват и сложная структура

Городская распределительная сеть охватывает большие территории, включая жилые, коммерческие и промышленные районы. Потребности в электроэнергии различаются в зависимости от региона, и сеть должна гибко реагировать на различные нагрузки, чтобы обеспечить надежное электроснабжение.

2) Разнообразие нагрузок и большие колебания

Потребности в электроэнергии в городе разнообразны и могут значительно колебаться, особенно в периоды пикового потребления. Влияние факторов, таких как погода и праздничные дни, делает изменения в потреблении энергии еще более сложными, что требует более мощной регулирующей способности.

3) Старение оборудования и рост эксплуатационных затрат

Учитывая возраст инфраструктуры распределительных сетей, некоторые города страдают от устаревания оборудования, что приводит к увеличению

вероятности поломок. Поддержка и замена оборудования становится все более дорогой, что увеличивает эксплуатационные расходы.

4) Необходимость повышения уровня автоматизации

Хотя в некоторых крупных городах уже начали внедрять интеллектуальные технологии в распределительные сети, в целом многие города сталкиваются с проблемой недостаточной автоматизации. Из-за этого, в случае неисправности или чрезвычайной ситуации, сеть не может быстро адаптироваться или восстановить нормальную работу.

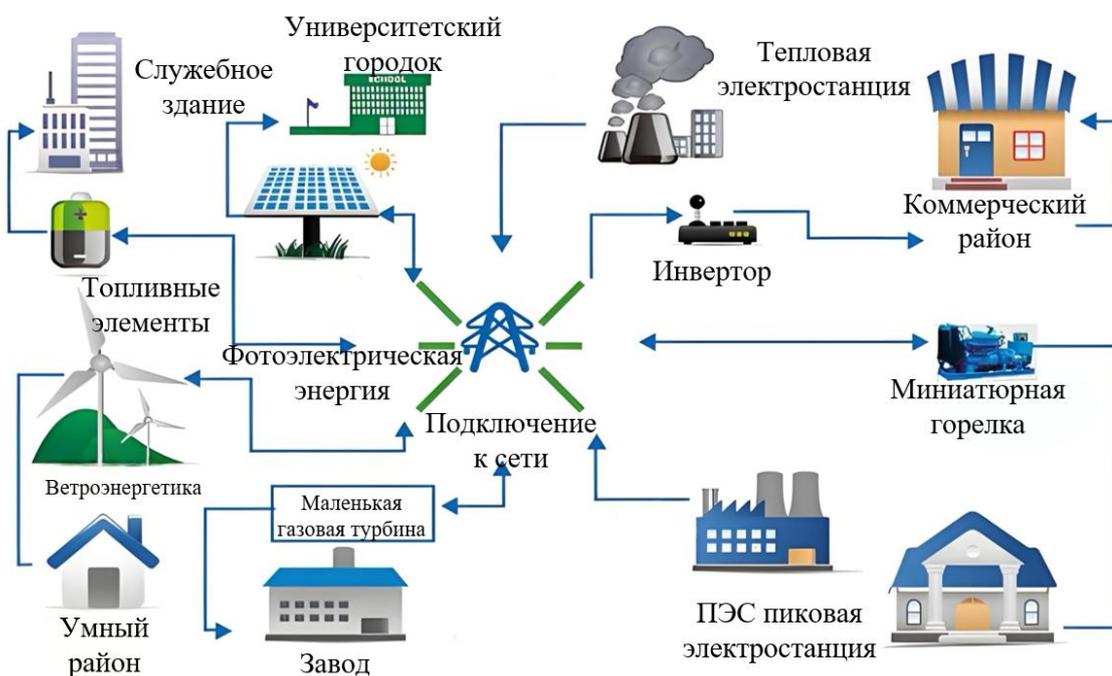


Рис 1-1 Интеллектуальная микросеть

Как показано на рисунке 1-1, это схема интеллектуальной микросети, которая является одной из схем структуры городской распределительной сети в Китае, с точки зрения структуры городской распределительной сети, интеллектуальная микросеть (Smart Microgrid) как высокоинтегрированная система управления энергией, интеллектуальная микросеть как важная часть городской распределительной сети, может повысить надежность, гибкость, экономичность и экологичность городской распределительной сети посредством сочетания распределенной энергии, интеллектуального управления и систем хранения энергии.

1.1.2 Меры, принимаемые для решения проблем

Для решения вышеуказанных проблем, многие города начали предпринимать меры по улучшению функционирования своих распределительных сетей. Основные меры включают:

1) Усиление интеллектуализации распределительных сетей

Многие города начали развивать интеллектуальные распределительные сети, внедряя умные счетчики, автоматические переключатели и системы интеллектуального управления. Эти технологии позволяют эффективно отслеживать состояние сети в реальном времени, быстро устранять неисправности и повышать надежность электроснабжения.

2) Обновление оборудования и модернизация технологий

Для решения проблемы изношенности оборудования, города активно инвестируют в модернизацию распределительных сетей, заменяя устаревшие устройства на более эффективные и стабильные. Это помогает повысить пропускную способность сети и уменьшить вероятность поломок.

3) Оптимизация энергетической структуры

Учитывая рост использования возобновляемых источников энергии, городские распределительные сети начинают подключать солнечные и ветровые электростанции. Для эффективного управления возобновляемыми источниками энергии внедряются системы распределенного управления энергией (DERMS), которые позволяют сбалансировать и оптимизировать интеграцию этих источников [5].

4) Развитие инфраструктуры зарядных станций для электромобилей

В связи с увеличением числа электромобилей, города активно развивают сети зарядных станций, а также разрабатывают системы управления зарядкой для оптимизации нагрузки на распределительную сеть. С помощью интеллектуальных технологий управление зарядкой становится более гибким и снижает риски перегрузки сети.

5) Укрепление самовосстанавливающих способностей сети

Внедрение технологий самовосстановления позволяет распределительным сетям быстро выявлять и изолировать неисправности, восстанавливая подачу энергии. Это сокращает время простоя и значительно повышает надежность энергоснабжения.

1.1.3 Тенденции развития городских распределительных сетей в будущем

С развитием технологий, в будущем городские распределительные сети будут становиться все более интеллектуальными, экологичными и эффективными. Основные тенденции развития:

1) Полная автоматизация и интеллектуализация

В будущем распределительные сети станут полностью автоматизированными, что позволит им не только отслеживать состояние сети в реальном времени, но и оптимизировать распределение энергии в зависимости от потребностей.

2) Широкая интеграция возобновляемых источников энергии

Городские распределительные сети будут способны интегрировать большее количество возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Эти источники будут эффективно управляться и распределяться благодаря интеллектуальным системам.

3) Глубокая интеграция электромобилей и сетевой инфраструктуры

Электромобили станут не только потребителями энергии, но и активными участниками распределительных сетей. Технология взаимодействия сети и автомобиля (V2G) позволит использовать аккумуляторы электромобилей для поддержки энергосистемы в периоды пикового спроса.

1.2 Потребности в строительстве городских распределительных сетей

С ускорением процесса урбанизации, развитием экономики и улучшением уровня жизни населения в городах, потребность в электроэнергии постоянно растет и изменяется. Для того чтобы

гарантировать бесперебойное электроснабжение, соответствующее требованиям современного города, строительство и модернизация распределительных сетей имеют огромное значение. В данной статье рассматриваются различные аспекты потребностей в строительстве городских распределительных сетей, направленных на удовлетворение растущих потребностей в электроэнергии, повышение качества снабжения, а также на решение проблем, связанных с интеграцией возобновляемых источников энергии и умных технологий.

В то время как спрос на электроэнергию показывает устойчивую тенденцию роста, данные Пекинского центра торговли электроэнергией на конец 2023 года показывают, что в 2023 году общая установленная мощность производства электроэнергии в Китае составит 2,92 млрд. кВт, в том числе 1,39 млрд. кВт, или 40%, гидроэнергетика - 420 млн. кВт, или 14% от общего объема, ядерная энергия - 0,60 млрд. кВт, или 2% от общего объема, ветровая энергия - 440 млн. кВт, или 15%, а солнечная энергия - 610 млн. кВт, что составляет 21% от общего объема [6,7,8].



Рис 1-2 Ситуация с установленной мощностью электростанций и выработкой электроэнергии в Китае в 2023 году.

На рисунке 1-2 мы видим, что рост спроса на электроэнергию проявляется не только в увеличении общего потребления, но и в постепенном повышении зависимости от электроэнергии во всех отраслях и регионах. Постоянный рост спроса на электроэнергию создает огромные проблемы для глобальных систем производства, передачи и управления электроэнергией. В то же время он также способствует инновациям и развитию энергетических технологий, особенно в таких областях, как возобновляемые источники энергии, интеллектуальные сети и хранение энергии. Столкнувшись с ростом спроса на электроэнергию, страны должны обеспечить устойчивость и безопасность глобального энергоснабжения путем оптимизации энергетической структуры, повышения эффективности энергоснабжения и укрепления инфраструктуры.

Мы также можем узнать формулу роста спроса на электроэнергию:

$$P_{future} = P_{current} \times (1 + g)^t \quad (1,1)$$

P_{future} -Это будущий спрос на нагрузку (KW) ; $P_{current}$ -Это текущий спрос на нагрузку (kw); g -Это годовые темпы роста; t -Это прогнозируемые годы.

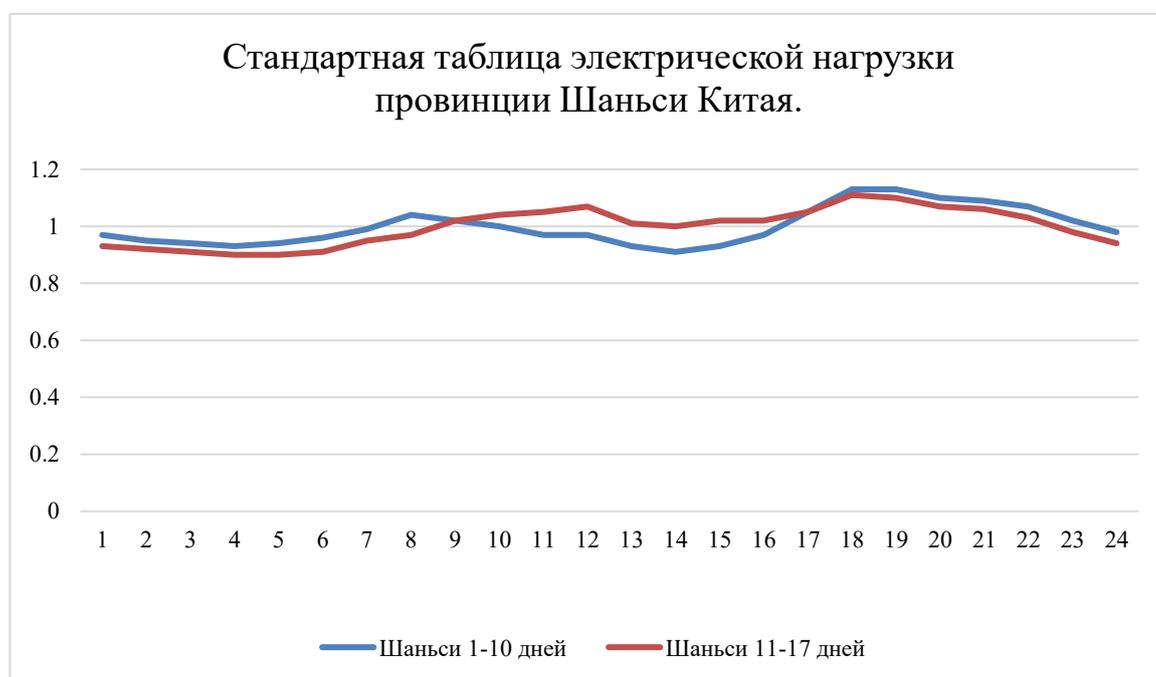


Рис 1-3 Стандартная таблица электрической нагрузки провинции Шаньси Китая.

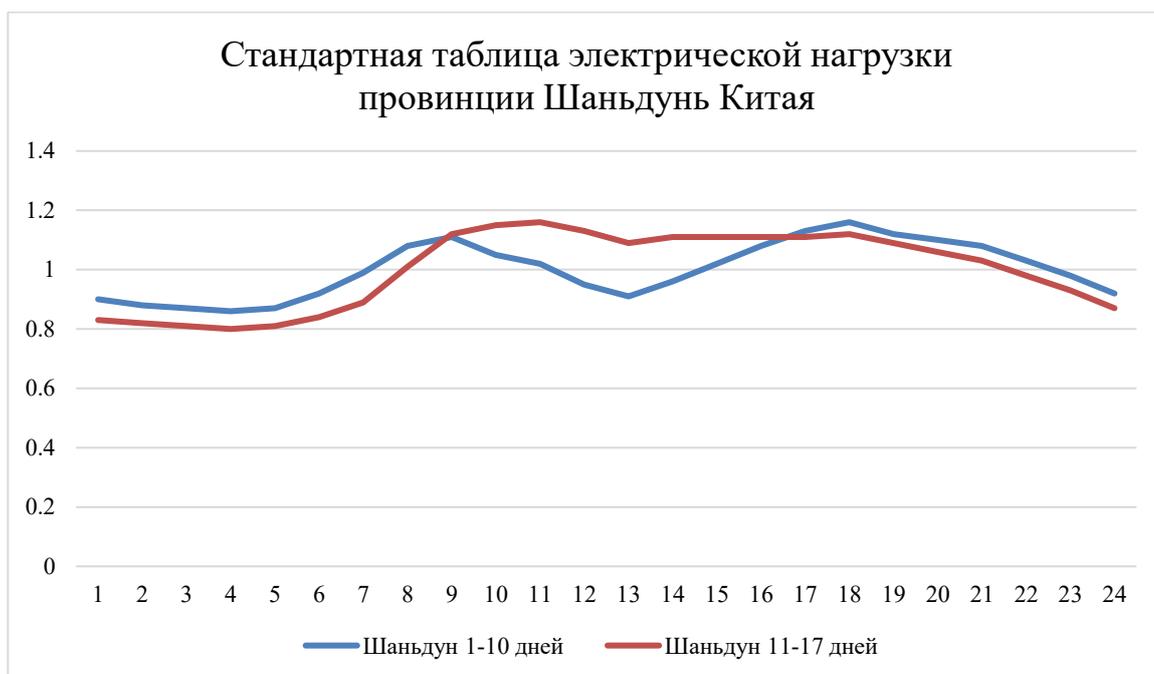


Рис 1-4 Стандартная таблица электрической нагрузки провинции Шаньдунь Китая

Согласно изображениям 1-3 и 1-4, показано новое наблюдение за энергетическим рынком Китая: торговля электроэнергией в холодную волну и характеристики региональной нагрузки, в холодную волну, единый вызов электрической нагрузки в Шаньси и Шаньдуне сталкивается с испытанием. В этой волне холода нагрузка Шаньси достигла рекордно высокой, за ней следует Шаньдун. Это не только подчеркивает давление спроса на электроэнергию в обеих провинциях в зимний период, но и демонстрирует проблемы, с которыми сталкиваются холодные волны для стабильного энергоснабжения в регионе.

Формула повышения надежности распределительной сети:

$$R_{new} = R_{old} \times e^{kt} \quad (1,2)$$

R_{new} -Это новые показатели надежности; R_{old} -Это первоначальный показатель надежности; k -Это постоянная скорости подъёма; t -Это время.Это коэффициент температурной чувствительности; Эта формула часто используется для количественной оценки эффективности мер по повышению надежности.

Формула расчета нагрузки:

$$P_{load} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot D_i) \quad (1,3)$$

P_{load} -Это общая нагрузка; P_i -Это спрос на энергию для пользователей или регионов; D_i -Это коэффициент спроса пользователя или региона; n -Это общее количество пользователей или регионов.

Эта формула является обычной формулой, которая может быть рассчитана с помощью модели прогнозирования нагрузки.

Формула увеличения нагрузки является:

$$G = \frac{P_{load}(t+1) - P_{load}(t)}{P_{load}(t)} \times 100\% \quad (1,4)$$

G -Это темп роста нагрузки; $P_{load}(t)$ и $P_{load}(t+1)$ - Это означает необходимость загрузки в данный момент и в следующий момент соответственно.

Учитывая, что в следующем раунде холода ситуация спроса и предложения в Северном Китае, как ожидается, будет напряженной, а спрос в Центральном и Восточном Китае значительно возрастет, нельзя недооценивать проблему энергоснабжения. Это требует не только позитивного реагирования со стороны энергетического сектора, но и соответствующих руководящих указаний и норм на правовом уровне. Для электросетевых предприятий вопрос о том, как обеспечить стабильность электроснабжения в соответствии с законом в особых обстоятельствах, таких как холодная волна, будет предметом углубленного изучения и реагирования.

С переходом к энергетической структуре и быстрым развитием возобновляемых источников энергии правовая база в области энергетики также должна идти в ногу со временем. Например, для подключения новых источников энергии к сети, распределенного доступа к энергии и других аспектов, соответствующие законы и правила должны постоянно пересматриваться и совершенствоваться [9,10]. Это не только академическая тема для юристов, но и важный вопрос национальной энергетической безопасности и устойчивого развития.

Для этого нужно оптимизировать структуру энергоснабжения. Одним из ключевых аспектов оптимизации энергетической структуры является выбор оптимального местоположения и мощности распределительных подстанций. Это требует тщательного анализа плотности населения, распределения экономической деятельности и прогнозирования будущих потребностей в энергии. Также необходимо учитывать факторы, такие как доступность источников энергии, инфраструктуру электропередачи и условия окружающей среды [11].

Для достижения эффективной оптимизации энергетической структуры, разработка и внедрение новых стратегий управления энергосистемами становится важной задачей. Эти стратегии должны учитывать не только текущие потребности в электроэнергии, но и перспективы их изменения. Например, с развитием электроники и цифровой экономики, возникают новые потребности в энергии для обеспечения работы различных устройств и систем.

Помимо этого, оптимизация энергетической структуры требует активного участия различных участников энергетического рынка, таких как энергетические компании, предприятия-потребители и государственные органы. Взаимодействие между ними должно быть основано на принципах сотрудничества, прозрачности и эффективности, чтобы достичь общего целевого результата - обеспечения надежной и экологически чистой энергии для городского населения и экономики [12].

1.2.1. Современные проблемы и решения для устойчивого развития энергетики в городах

Автоматические выключатели и интеллектуальные системы защиты способны быстро обнаруживать сбои и аварийные ситуации, минимизируя их последствия.

Оптимизация распределения энергии и управление нагрузкой: Интеллектуальные распределительные сети могут оптимизировать распределение энергии, учитывая реальные данные о нагрузке, погодные

условия и другие факторы. Это способствует снижению потерь энергии, повышению эффективности работы сети и уменьшению энергозатрат.

Интеграция возобновляемых источников энергии: Тенденция перехода на экологически чистые и возобновляемые источники энергии влияет на городские распределительные сети. Интеграция солнечных и ветряных электростанций в общую сеть требует от распределительных сетей гибкости и стабильности.

Интеграция распределенных источников энергии: С каждым годом все больше домашних хозяйств и коммерческих зданий устанавливают солнечные панели или малые ветряные турбины. Это создает новые вызовы для распределительных сетей, которые должны уметь интегрировать нестабильную и переменную электроэнергию, поступающую от таких источников, и обеспечивать стабильность работы всей сети.

Потребность в аккумуляторах и технологиях накопления энергии: Поскольку выработка энергии из возобновляемых источников зависит от погодных условий, важно разработать системы накопления энергии, такие как аккумуляторы или гидроаккумулирующие станции, которые будут компенсировать периоды низкой выработки и балансировать нагрузку в сети.

Экологичность и снижение углеродных выбросов: Современные тенденции в области экологии и устойчивого развития требуют от распределительных сетей не только повышения эффективности, но и снижения углеродного следа, а также сокращения потерь энергии [13,14].

Снижение потерь электроэнергии и повышение энергоэффективности: Сети должны быть спроектированы так, чтобы минимизировать потери электроэнергии, особенно в процессе передачи на дальние расстояния. Современные технологии позволяют снизить потери и повысить общий КПД системы.

Развитие «умных» сетей и использование зеленой энергии: «Умные» сети, благодаря своей способности эффективно управлять спросом и предложением энергии, могут способствовать широкому использованию

возобновляемых источников энергии, снижению выбросов углекислого газа и переходу на низкоуглеродное развитие [15].

Контроль затрат и потребности в инвестициях: Строительство и модернизация распределительных сетей требуют значительных финансовых вложений. Важно сбалансировать капитальные затраты с долгосрочной эффективностью системы [16].

Оптимизация ресурсов и минимизация затрат: Для эффективного использования средств необходимо разрабатывать тщательно продуманные проекты, которые исключают дублирование инфраструктуры и избыточные расходы. Интеллектуальные системы управления энергией могут помочь в оптимизации работы сети и сокращении эксплуатационных затрат.

Многообразие источников финансирования: Строительство распределительных сетей требует больших капиталовложений, и для этого можно привлекать не только государственные средства, но и частные инвестиции через модели государственно-частного партнерства (ГЧП), а также через рынок капиталов. Важно разработать эффективную модель финансирования для поддержки таких проектов [17,18].

Координация с другими инфраструктурными проектами города: Современные города требуют интеграции всех элементов городской инфраструктуры, включая распределительные сети. Строительство распределительных сетей должно учитывать не только электроснабжение, но и другие аспекты, такие как транспорт, связь, водоснабжение и т. д [20].

Комплексное планирование и координация: Важно, чтобы распределительные сети, транспортные и телекоммуникационные системы были спроектированы с учетом общей координации и взаимосвязанности. Это позволяет избежать избыточных затрат, улучшить управление ресурсами и повысить эффективность функционирования городской инфраструктуры в целом [21].

1.3 Выводы

Городские распределительные сети сталкиваются со старением оборудования, недостаточной гибкостью и проблемами доступа к возобновляемым источникам энергии, что требует повышения надежности и эффективности системы с помощью интеллектуальных технологий и обновлений оборудования. Будущая городская распределительная сеть будет полностью автоматизирована, широко интегрирована в возобновляемые источники энергии и оптимизирована планировка зарядных установок для электромобилей.

2 ИДЕИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

В ходе урбанизации и увеличения потребления электроэнергии традиционные городские распределительные сети сталкиваются с возрастающими проблемами, включая резкие колебания нагрузки, устаревание инфраструктуры и недостаточную интеграцию возобновляемых источников энергии. Для преодоления этих трудностей и улучшения эффективности и надежности распределительных сетей необходимо срочно внедрить инновационные строительные концепции и передовые технологии, способствующие интеллектуальному, гибкому и устойчивому развитию энергосистем. Эти технологии помогут оптимизировать распределение ресурсов в энергосистеме, повысить её надежность и способность реагировать на чрезвычайные ситуации, а также адаптироваться к усложняющимся потребностям в электроэнергии и трансформации энергетической структуры.

Одной из таких инновационных технологий является внедрение сетей с распределенным управлением. Они позволяют более равномерно распределять нагрузку по различным участкам сети, что существенно снижает риск резких колебаний. Кроме того, применение более современных материалов для инфраструктуры, например сверхпроводящих кабелей, может значительно повысить эффективность передачи энергии и уменьшить потери на этом этапе [22]. Также ключевым аспектом оптимизации энергетической структуры является разработка улучшенных методов мониторинга и управления системой. Это включает в себя создание комплексных систем мониторинга, способных мгновенно реагировать на любые изменения в нагрузке или состоянии инфраструктуры, а также использование

искусственного интеллекта для прогнозирования потребностей в энергии и планирования дальнейшего развития сетей. [23]



Рис 2-1 блок - схема системы автоматизации распределительной сети

Что касается инновационных технологий распределительных сетей, то широкий доступ к распределенной энергии и более высокие требования к надежности и эффективности энергосистем, такие как система автоматизации распределительных сетей (DAS), привели к быстрому развитию и инновациям. Как показано на рисунке 2-1, системы автоматизации распределительных сетей играют важную роль в повышении надежности, гибкости и интеллекта распределительных сетей. Система автоматизации распределительной сети может собирать большое количество эксплуатационных данных в режиме реального времени, а также анализировать и поддерживать принятие решений. Аналогичным образом, система автоматизации распределительной сети может осуществлять мониторинг рабочего состояния сети в режиме реального времени, обнаружение неисправностей, автоматическое восстановление и оптимизацию планирования, является одной из основных технологий строительства современной сети. Существующая распределительная сеть в основном использует стратифицированную распределенную структуру,

состоящую из трех частей: основной уровень станции, уровень распределительной подсистемы, уровень устройства измерения и управления распределительной сетью. Такие технологические инновации будут способствовать устойчивому развитию энергосистемы, способствовать энергетической трансформации, оптимизации распределения ресурсов и заложить прочную основу для будущих интеллектуальных сетей. [24,25]

2.1 Стратегия строительства городских распределительных сетей и применения технологий

С ускорением процесса урбанизации и увеличением потребности в электроэнергии, строительство городских распределительных сетей сталкивается с беспрецедентными вызовами. От обеспечения стабильности электроснабжения в городах и повышения эффективности работы сетей до интеграции возобновляемых источников энергии и продвижения умных сетей и зеленого развития, строительство распределительных сетей теперь не ограничивается лишь совершенствованием инфраструктуры, а также фокусируется на том, как с помощью передовых технологий достичь интеллектуализации, автоматизации и целей по снижению углеродных выбросов. Далее рассматриваются основные направления строительства городских распределительных сетей и применения технологий. внедрить системы искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших объемов данных о работе сетей. Эти системы могут прогнозировать нагрузку на сеть, выявлять аномалии и предотвращать сбои. Например, алгоритмы машинного обучения могут анализировать *historische* информацию о потреблении энергии, а также факторы, влияющие на нее, такие как погода и сезонность, чтобы предсказать будущие потребности. Это позволяет оперативно планировать работу персонала, обеспечивать стабильность электроснабжения и эффективно использовать ресурсы. повышение энергоэффективности оборудования. Новые технологии и материалы позволяют создавать более энергоэффективные трансформаторы, кабели и другие элементы распределительных сетей. Это не

только снижает потери энергии на передаче, но и повышает экологичность работы сетей. Кроме того, внедрение энергосберегающих устройств на потребительской стороне, таких как энергоэффективные светильники и приборы бытовой техники, также способствует уменьшению общего потребления электроэнергии в городе и оптимизации энергетической структуры распределительных сетей.

2.1.1 Стратегия строительства распределительных сетей

Эффективное планирование электроснабжения должно основываться на точном прогнозировании реальных потребностей в электроэнергии. Это требует комплексного подхода к особенностям потребления энергии в различных районах города, включая коммерческие зоны, высокотехнологичные парки, жилые районы и т. д. Разумное проектирование сетей не только повышает их адаптивность, но и позволяет оптимизировать распределение энергетических ресурсов. Для точного прогнозирования потребности в электроэнергии и планирования управления сетью необходимо использовать технологии больших данных. Использование алгоритмов искусственного интеллекта позволяет более точно предсказать колебания потребления энергии, что поможет компаниям распределения энергии заранее подготовиться к пиковым нагрузкам или непредвиденным ситуациям.

Таким образом, стратегия строительства распределительной сети включает в себя следующие элементы:

- 1) Повышение безопасности и надежности, обеспечение стабильности электроснабжения

Энергоснабжение является краеугольным камнем для жизни и экономики города, и надежность распределительных сетей в этом контексте является первоочередной задачей. Поэтому проектирование распределительных сетей должно включать резервные системы, особенно в районах с важными пользователями или ключевыми объектами, где требуется гарантировать непрерывность электроснабжения. Что касается проектирования устойчивости к чрезвычайным ситуациям, городские

распределительные сети должны обладать высокой способностью к реагированию на бедствия. Например, можно использовать многоконтурные системы электроснабжения, интеллектуальные выключатели и автоматизированное оборудование для обеспечения быстрого восстановления нормальной работы сетей после природных катастроф или технических неисправностей [26].

2) Переход к интеллектуализации и автоматизации, повышение эффективности работы сетей

Традиционные распределительные сети должны постепенно переходить к интеллектуальным и электрическим технологиям. Умные сети могут в реальном времени отслеживать состояние сети, автоматически обнаруживать и устранять проблемы с электроснабжением, сокращая количество человеческих ошибок. Также важно развивать автоматическое управление и контроль: системы автоматизированного управления распределением электроэнергии (ADMS) могут в реальном времени регулировать работу сети, оптимизировать распределение энергии и быстро реагировать на сбои, минимизируя их воздействие на пользователей. Кроме того, автоматизированные системы могут обеспечивать удаленное управление и обслуживание сетей, снижая зависимость от человеческого вмешательства и повышая эффективность обслуживания.

3) Зеленая энергия и поддержка интеграции возобновляемых источников энергии

Строительство городских распределительных сетей должно учитывать интеграцию возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнце. С увеличением доли возобновляемых источников в энергетической системе сети должны быть достаточно гибкими, чтобы справляться с их нестабильностью и обеспечивать стабильное электроснабжение. Системы накопления энергии могут хранить избыточную электроэнергию в периоды низкого спроса и отдавать ее в периоды пиковой нагрузки, регулируя баланс

спроса и предложения. Технологии аккумуляторных систем хранения энергии (BESS) и гидроаккумулирующих электростанций станут важными компонентами функционирования будущих сетей, особенно в условиях высокого ввода возобновляемых источников энергии [27].

4) Снижение затрат и повышение инвестиционной эффективности

Строительство распределительных сетей должно учитывать не только первоначальные инвестиции, но и контроль над долгосрочными операционными затратами. Оптимизация проектирования, предотвращение ненужных затрат, а также использование энергосберегающего и эффективного оборудования может значительно снизить операционные расходы сетей. Важным аспектом является управление полным жизненным циклом распределительной сети, от строительства до обслуживания и модернизации. Благодаря научному управлению проектами и операционной стратегии можно добиться сокращения затрат, одновременно увеличив срок службы сети и повысив общую эффективность. На рис. 2-2 методы и процессы планирования активных распределительных сетей. Это один из способов планирования активных распределительных сетей.



Рис 2-2 Методы и процессы планирования распределительной сети

2.1.2 Ключевые технологии для городских распределительных сетей

Ключевые технологии современных городских распределительных сетей включают в себя следующие аспекты:

1) Умные счетчики и системы удаленного сбора данных

Умные счетчики: С помощью умных счетчиков компании распределения энергии могут в реальном времени получать данные о потреблении электроэнергии каждого пользователя и точно их учитывать. Это не только улучшает управление потреблением, но и позволяет компаниям оперативно мониторить нагрузку и своевременно корректировать подачу энергии.

Платформа сбора и анализа данных: С использованием современных технологий связи умные счетчики могут передавать данные в реальном времени в центральную систему компании. С помощью платформы анализа данных компания может в реальном времени получать информацию о состоянии сети, что помогает при диспетчеризации, диагностике неисправностей и прогнозировании нагрузки.

2) Система автоматизированного управления распределением энергии (ADMS)

Когда в сети происходит сбой, система ADMS может обнаружить точку неисправности и автоматически изолировать проблемную зону, минимизируя продолжительность отключений. Система также может автоматически переключить путь подачи энергии, чтобы быстрее восстановить электроснабжение в других районах. ADMS не только контролирует работу распределительных сетей в реальном времени, но и в периоды пиковых нагрузок автоматически регулирует распределение энергии, избегая перегрузок и поддерживая стабильность сети [28].

3) Зарядные станции для электромобилей и интеллектуальные системы зарядки

С ростом популярности электромобилей распределительные сети сталкиваются с проблемой подключения зарядных станций. Интеллектуальная система зарядки может оптимизировать процесс зарядки электромобилей, избегая перегрузки сети при высокой потребности в зарядке.

Электромобили не только потребляют энергию, но и могут возвращать её в сеть с помощью технологии «автомобиль-сеть» (V2G), поддерживая стабильность работы электросети. Эта технология позволяет в периоды пиковых нагрузок использовать аккумуляторы электромобилей для балансировки спроса на энергию.

4) Интеграция систем хранения энергии

Используя технологии аккумуляторных систем хранения энергии (BESS), распределительные сети могут хранить избыток энергии в периоды низкой нагрузки и отпускать её в периоды пиковых нагрузок, помогая сбалансировать предложение и спрос на электроэнергию. Особенно важно, что эти системы могут эффективно работать в распределительных сетях, где значительная доля энергии поступает от возобновляемых источников. Эти традиционные системы хранения энергии могут быть объединены с современными аккумуляторными системами для повышения регуляторных способностей сети, гарантируя её стабильность в любых условиях.

5) Блокчейн и технологии Интернета вещей (IoT)

Технология блокчейн: В торговле электроэнергией блокчейн может гарантировать безопасность, прозрачность и неизменность данных транзакций. Особенно в случае торговли распределенной энергией блокчейн может снизить затраты на посредников и повысить эффективность сделок.

С развитием цифровых технологий распределительная сеть может осуществлять мониторинг в реальном времени и анализ данных с помощью интеллектуальных датчиков, устройств Интернета вещей (IoT), а модель цифровой оптимизации распределительной сети (анализ стабильности напряжения):

$$V_{new} = V_{old} + \frac{1}{\beta} \cdot (V_{desired} - V_{old}) \quad (2,1)$$

V_{new} -Это обновленное напряжение; V_{old} -Это текущее напряжение; β -Это контрольный фактор, обычно от 0 до 1; $V_{desired}$ -Это напряжение цели.

Рассчитать напряжение обновления, как напряжение тока: $V_{old}=210\text{В}$;
Целевое напряжение $V_{desired}=220\text{В}$; Коэффициент регулирования $\beta=0.5$;

$$V_{new}=210+\frac{1}{0.5}\cdot(220-210)=210+20=230\text{В}$$

Коррекция: Если V_{new} превышает допустимый предел (например, 230 В), система автоматически снижает β до 0.2:

$$V_{new}=210+\frac{1}{0.2}\cdot(220-210)=210+20=260\text{В(Недопустимо!)}$$

Решение: Итеративная регулировка β для достижения $V_{new}\approx 220\text{ В}$.

Формула расчета повышения надежности распределительной сети при распределенном доступе к энергии:

$$R_{new} = R_{old} \times \left(1 + \frac{a \times P_{DG}}{P_{load}}\right) \quad (2,2)$$

R_{new} - Это надежность доступа к распределенной распределительной сети; R_{old} -Это надежность доступа к распределенной энергосистеме; a -Это коэффициент повышения надежности распределенной энергии, отражающий резервную поддержку распределенной энергии в случае сбоя, P_{DG} -Это установленная мощность распределенной энергии; P_{load} -Это мощность распределительной сети.

Текущие технологии в строительстве распределительных сетей показаны в таблице 2-1 ниже.

Таблица 2-1 применение технологий в строительстве
распределительных сетей

Технология	Описание	Эффект от применения
Технология самовосстановления	Использование интеллектуальных датчиков, выключателей и системы связи для мониторинга и автоматического восстановления сетевых аварий.	Сокращение времени отключений, повышение стабильности и надежности сети.
Интеграция распределенной энергии	Подключение распределенной энергии (например, солнечной, ветровой, аккумуляторной) к распределительной сети с поддержкой двустороннего потока энергии.	Повышение доли возобновляемых источников энергии, снижение зависимости от традиционных источников.
Автоматизация распределения	Использование автоматизированных устройств (например, автоматических выключателей, интеллектуальных конечных устройств распределения) для сбора данных в реальном времени и удаленного управления.	Повышение эффективности работы сети, сокращение ручного вмешательства и ошибок.

Продолжение табл. 2-1

Технология	Описание	Эффект от применения
Интеллектуальная система диспетчеризации	Оптимизация распределения нагрузки в сети с использованием больших данных, искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения.	Снижение операционных затрат, балансировка нагрузки, сокращение потерь энергии.
Интеллектуальные счетчики	Цифровые счетчики, устанавливаемые на стороне потребителя, для сбора данных в реальном времени и поддерживающие дистанционное считывание и расчет.	Повышение удобства для пользователей, улучшение управления ресурсами и распределение энергии.
Сетевые коммуникационные технологии	Использование оптоволоконной связи, 5G или специализированных беспроводных сетей для обеспечения эффективной связи между оборудованием и системами управления.	Повышение скорости и надежности передачи данных в сети, обеспечение мониторинга в реальном времени.

Продолжение табл. 2-1

Технология	Описание	Эффект от применения
Технология микросетей	Создание автономных сетей в отдельных районах или на предприятиях, которые могут работать независимо от основной сети или быть подключены к ней.	Повышение гибкости и надежности поставок энергии в локальных областях, поддержка региональной автономии в энергетике.
Технология накопления энергии	Использование аккумуляторов, маховиков и других технологий для хранения энергии с целью выравнивания колебаний спроса.	Обеспечение резервных источников энергии, стабилизация колебаний нагрузки, повышение стабильности сети.

Технология Интернета вещей (IoT): Через IoT все элементы распределительных сетей могут быть взаимосвязаны, позволяя собирать в реальном времени данные о работе сети, что дает более точное представление о её функционировании. Это также повышает уровень интеллектуализации оборудования, обеспечивая более эффективное удаленное управление.

2.2 Инновационные технологические решения в строительстве распределительных сетей

С ускорением процесса урбанизации и трансформацией энергетической структуры традиционные модели распределительных сетей уже не могут полностью удовлетворять растущие потребности в электроэнергии и доступе к возобновляемым источникам энергии. Вследствие этого, все больше инновационных технологий внедряются в строительство распределительных сетей с целью достижения более эффективных, интеллектуальных, безопасных и экологичных энергосистем. Вот несколько ключевых инновационных технологических решений, играющих важную роль в повышении эффективности работы распределительных сетей и удовлетворении современных потребностей в электроэнергии. Новые материалы для аккумуляторов и энергосистемы с высокой емкостью позволяют сохранять избыточную энергию, полученную от возобновляемых источников, и использовать ее в периоды повышенного спроса или когда производство энергии возобновляемыми источниками снижается. Например, аккумуляторы на основе литий-ионных батарей разработаны с учетом высокой емкости, долговечности и быстрого заряда, что позволяет сетям более гибко управлять энергией. Также разрабатываются гибридные системы хранения энергии, которые комбинируют различные типы аккумуляторов, такие как электромеханические, химические и электростатические, обеспечивая более надежное и устойчивое хранение энергии для распределительных сетей [29,30].

2.2.1 Технология умных сетей (Smart Grid)

Интеллектуальная сеть, объединяющая информационные технологии с традиционными энергосистемами, значительно повышает эффективность, надежность и гибкость работы сети. Интеллектуальная электронная система, как показано на рисунке 2-3 как одна из интеллектуальных сетевых структур

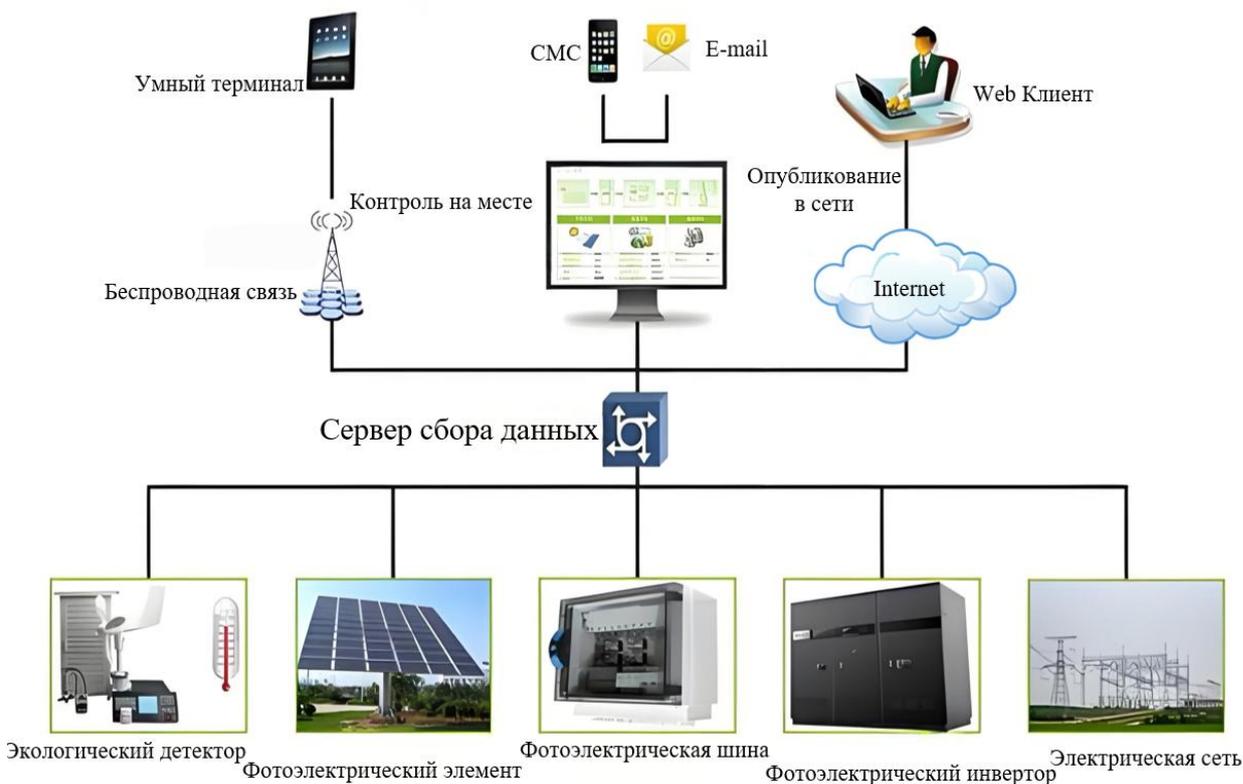


Рис 2-3 интеллектуальная электронная система

Основные преимущества включают в себя:

1) Режим реального времени для мониторинга и планирования данных: Интеллектуальная сеть оснащена множеством интеллектуальных счетчиков и датчиков, которые способны отслеживать состояние всех элементов сети в режиме реального времени. Эти устройства передают данные в центральную систему, что позволяет персоналу анализировать нагрузку энергосистемы, качество электропитания и т.д. в реальном времени, обеспечивая точное планирование и своевременное выявление проблем.

2) Способность к самовосстановлению: При возникновении сбоя в сети, интеллектуальная сеть может быстро обнаружить и автоматически

изолировать зону отказа, минимизируя масштабы отключений и сокращая время восстановления с помощью функции автоматического восстановления. Система самовосстановления повышает устойчивость энергосистемы к стихийным бедствиям и эффективность ее эксплуатации.

3) Управление спросом: Более гибкий механизм реагирования на спрос может быть реализован через интеллектуальную сеть. Во время пиковой нагрузки на энергосистему, система может корректировать боковую нагрузку потребляемой электроэнергии в режиме реального времени, стимулируя пользователей использовать электроэнергию в нерабочее время, снижая давление в энергосистеме и повышая стабильность энергоснабжения.

2.2.2 Интеграция распределенных энергетических и накопительных систем

Благодаря широкому использованию возобновляемых источников энергии, распределенный доступ к распределительным сетям становится важной задачей. Из-за неустойчивости возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнечная энергия, распределительные сети должны обладать большей гибкостью, чтобы регулировать колебания этих источников энергии.

Солнечные фотоэлектрические и малые ветроэнергетические системы могут быть распределены по распределительным сетям, что снижает нагрузку на энергосистему и повышает энергоэффективность. Однако прерывистость и нестабильность этих источников энергии требуют, чтобы распределительная сеть обладала достаточной регулирующей способностью для устранения неопределенности в энергоснабжении. Технологии хранения энергии позволяют энергосистемам лучше сбалансировать спрос и предложение. Например, аккумуляторные системы хранения энергии могут накапливать избыточную энергию в периоды низкого спроса на электроэнергию и высвобождать ее в периоды пикового спроса. Внедрение систем хранения энергии может эффективно решить проблему волатильности электроэнергии из-за нестабильности возобновляемых источников энергии.

Микросеть — это небольшая электрическая сеть, которая может функционировать автономно. Она может подключаться к нескольким распределенным источникам энергии и регулировать их, гарантируя, что в случае проблем с внешней сетью локальная область может продолжать нормально питаться. Кроме того, возможности саморегулирования микросетей и сильные автономные функции также вносят новые идеи в строительство распределительных сетей [31].

2.2.3 Блокчейн и инновации в торговле электроэнергией

Технология blockchain может привести к совершенно новым моделям торговли электроэнергией в распределительных сетях, особенно в распределенных энергетических транзакциях.

Децентрализованные платформы для торговли электроэнергией: с помощью технологии блокчейна распределительные сети могут создавать децентрализованные платформы для торговли электроэнергией, где пользователи и производители энергии могут напрямую торговать электроэнергией, не полагаясь на традиционных операторов рынка электроэнергии. Такая платформа не только снижает посреднические издержки, но и повышает эффективность транзакций.

Смарт - контракты: в блокчейне смарт - контракты могут автоматически выполнять транзакции с электроэнергией, а когда условия выполняются, система автоматически завершает расчеты и доставку транзакций с электроэнергией, уменьшая вмешательство человека и обеспечивая прозрачность и справедливость транзакций.

Управление и оптимизация распределенной энергии: Блокчейн также может оптимизировать доступ и планирование распределенной энергии в распределительной сети. Благодаря децентрализованному обмену данными и управлению блокчейн может обеспечить эффективное распределение и использование энергии и повысить гибкость и стабильность распределительных сетей.

2.2.4 Интернет вещей (IoT) и технологии больших данных

Сочетание Интернета вещей (IoT) и технологий больших данных обеспечивает комплексное интеллектуальное управление распределительной сетью. Благодаря сбору данных в реальном времени и точному анализу, распределительная сеть способна функционировать более эффективно. Интеллектуальные устройства, такие как датчики и интеллектуальные счетчики, развернутые по всей сети, позволяют собирать данные о работе сети в режиме реального времени (например, напряжение, ток, мощность и т. д.). Эти данные передаются на центральную платформу данных через Интернет вещей, что помогает энергетическим компаниям осуществлять контроль работы сети в режиме реального времени и своевременно обнаруживать потенциальные сбои. Технология больших данных позволяет проводить глубокий анализ собранных массивных данных, что способствует прогнозированию нагрузки, диагностике неисправностей и планированию электросетей. С использованием алгоритмов машинного обучения распределительная сеть может точно прогнозировать колебания спроса на электроэнергию, оптимизировать режим работы сети и предотвращать потенциальный риск отказа.

Применение технологии IoT также позволяет распределительным сетям осуществлять дистанционный мониторинг и планирование. Операторы могут отслеживать работу сети в любое время с помощью облачной платформы и дистанционно настраивать сеть по мере необходимости, что повышает эффективность и гибкость планирования электроэнергии.

Широкое внедрение этой технологии еще больше снизит стоимость зеленой электроэнергии, повысит ее конкурентоспособность на рынке и ускорит зеленую трансформацию глобальной энергетической структуры.

2.2.5 Электромобили (EV) для совместного управления с сетью

С распространением электромобилей распределительные сети должны реагировать на новые потребности в нагрузке и проблемы управления сетью. Интеллектуальная зарядка и обратная зарядка электромобилей предлагают

совершенно новые решения для распределительных сетей. Интеллектуальная система зарядки, взаимодействуя с сетью, корректирует стратегию зарядки в соответствии с нагрузкой сети, избегая чрезмерной зарядки в часы пик нагрузки сети, тем самым уменьшая давление в сети. Эта технология помогает сбалансировать спрос и предложение энергосистемы. Технология «От автомобиля к сети» позволяет электромобилям перенаправлять энергию от батареи в сеть в обратном направлении. При более высокой нагрузке на сеть электромобиль может возвращать энергию из батареи в сеть, помогая сети сбалансировать нагрузку и избежать чрезмерной зависимости от традиционных систем выработки электроэнергии.

Электромобили, управляемые совместно с сетью (Vehicle - to - Grid, V2G) - это инновационная техническая и бизнес - модель, предназначенная для тесной интеграции электромобилей (EV) с энергосистемами для обеспечения двустороннего потока электроэнергии [33]. Суть концепции заключается в том, что электромобили могут не только заряжаться от сети, но и возвращать энергию, хранящуюся в батарее, в сеть, когда это необходимо, помогая сбалансировать нагрузку на сеть. Традиционные электромобили являются только потребителями электроэнергии, в то время как технология V2G позволяет электромобилям заряжаться и разряжаться. Владельцы могут заряжаться в периоды низких цен на электроэнергию (например, в ночное время) и возвращать заряд батареи в сеть в периоды пикового спроса на электроэнергию (например, в дневное время), помогая снизить давление в сети. Когда сеть сталкивается с перегрузкой, технология V2G может облегчить это давление, извлекая энергию из электромобиля. Это может эффективно снизить риск сбоев в энергосистеме, особенно в случае больших колебаний возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнечная энергия. Участвуя в V2G, владельцы электромобилей могут получить определенную финансовую компенсацию, возвращая заряд батареи в сеть [34]. Это обеспечивает дополнительный источник дохода для автовладельцев, особенно когда цены на электроэнергию выше. Для V2G

требуется интеллектуальная система управления, которая координирует обмен энергией между электромобилями и сетью. Система оптимизирует время зарядки и разряда в зависимости от спроса на электроэнергию, потребностей владельца (например, нужно ли использовать автомобиль) и нагрузки сети в реальном времени. Благодаря интеллектуальному планированию и оптимизации использования энергии V2G помогает улучшить использование возобновляемых источников энергии в энергосистемах и снизить выбросы углерода. С распространением электромобилей V2G может стать частью управления электроэнергией в умных городах для более эффективного планирования энергии. V2G предлагает эффективное решение проблемы волатильности производства электроэнергии из возобновляемых источников, которое позволяет хранить нестабильную зеленую энергию и высвобождать ее при необходимости. Технология V2G может реагировать на колебания спроса на рынке электроэнергии с помощью интеллектуального управления, снижая спрос на электроэнергию в пиковые периоды и сглаживая нагрузку на электроэнергию. В целом, технология V2G не только полезна для владельцев электромобилей, но и обеспечивает важную поддержку стабильной работы энергосистемы и является частью будущей трансформации энергосистемы [35,36].

Уменьшение пикового давления во время холодной волны:

$N_{EV}=1000$ (Автомобили, участвующие в V2G)

Мощность разряда на автомобиль: $P_{\text{discharge},i}=10 \text{ kW}$;

Пиковая нагрузка: $P_{\text{peak}}=15 \text{ MW}$; Базовая нагрузка: $P_{\text{base}}=10 \text{ MW}$

Проверка: $1000 \times 10 \text{ kW} = 10 \text{ MW} \geq 15 - 10 = 5 \text{ MW}$ (Удовлетворение потребностей).

2.2.6 5G Коммуникационные технологии

Высокая скорость и низкая задержка, присущие технологии 5G, обеспечивают мощную поддержку интеллектуальному развитию распределительных сетей. Высокоскоростная пропускная способность 5G

позволяет тысячам интеллектуальных устройств в распределительной сети загружать данные в режиме реального времени, быстро реагировать и планировать в режиме реального времени. Эта технология особенно подходит для мониторинга в режиме реального времени, обнаружения неисправностей и реагирования в энергосистеме. Сеть 5G поддерживает одновременный доступ к большому количеству устройств и может удовлетворить потребности в режиме реального времени для различных типов датчиков, интеллектуальных счетчиков, устройств автоматизации и других устройств в распределительной сети. Это заложило основу для интеллектуального и автоматизированного управления всей сетью. Технология 5G также может поддерживать технологию дополненной реальности (AR), предоставляя операторам виртуальное представление сетевого оборудования в режиме реального времени, помогая им выявлять и ремонтировать неисправности на месте и повышать эффективность и точность.

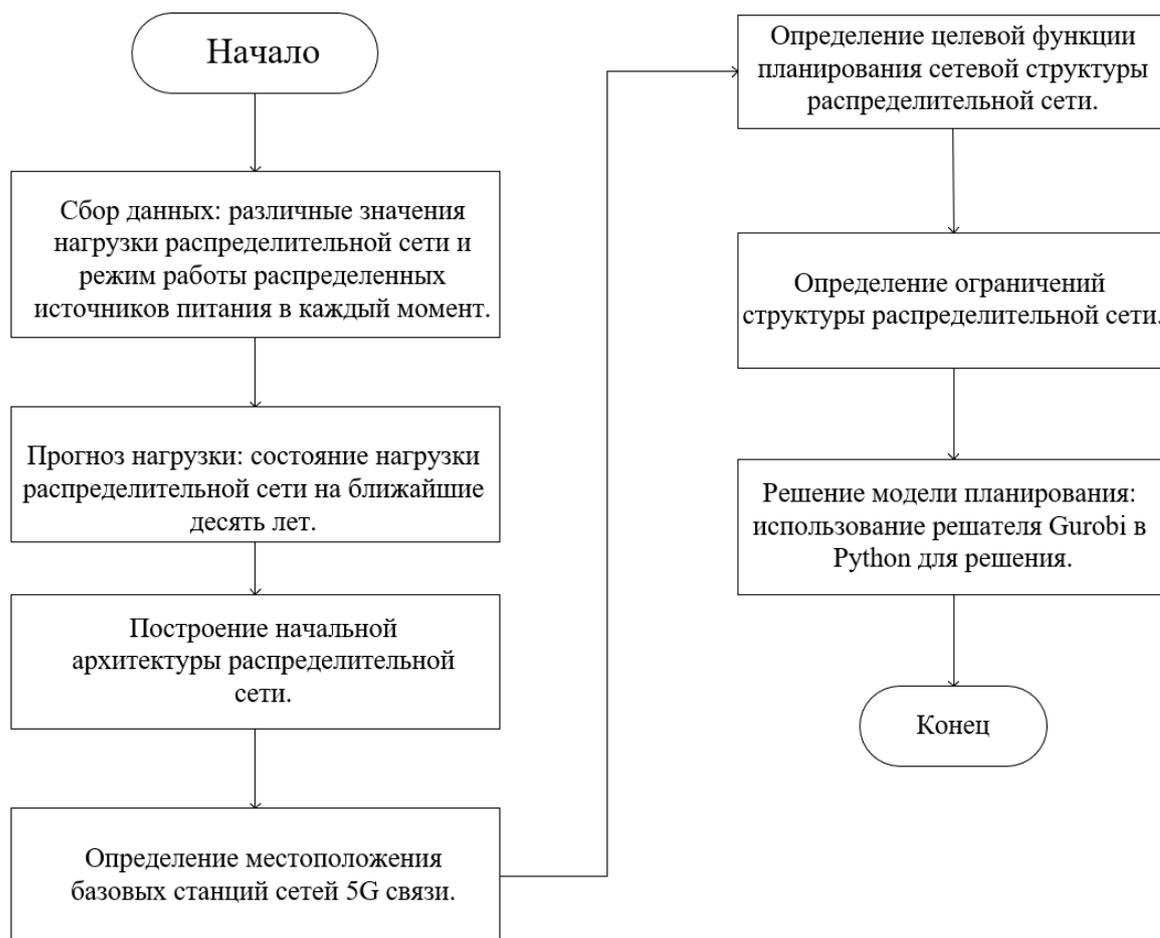


Рис 2-4 Координация процесса планирования распределительной сети для доступа к базовой станции связи 5G

На рис. 2-4 показана в документе Министерства промышленности и информационных технологий Китая « План развития информационно - коммуникационной отрасли (2016 - 2020 гг.) », опубликованном в 2016 году, четко указано, что в 2020 году сеть связи 5G начнет крупномасштабное применение в коммерческом секторе Китая. Максимальное расстояние между станциями сети связи 5G составляет от 180 до 260 м, что меньше, чем расстояние между базовыми станциями связи 4G. Из - за уменьшения расстояния между базовыми станциями связи 5G и значительного увеличения объема передачи данных в эпоху связи 5G, чтобы достичь идеального покрытия сети, необходимо интенсивно разворачивать базовые станции связи 5G. Данные исследования показывают, что одна станция 5G потребляет примерно в 3 - 4 раза больше энергии, чем обычная станция 4G.

При строительстве большого количества базовых станций подключение базовой станции связи 5G к распределительной сети в качестве электрической нагрузки создаст новые проблемы и проблемы для управления энергией энергосистемы, безопасной и надежной работы распределительной сети и существующей структуры распределительной сети. В связи с этим необходимо изучить методы планирования стеллажей распределительных сетей с учетом доступа к базовым станциям связи 5G [37,38,39].

2.3 Выводы

Инновационные технологии, такие как интеллектуальные сети, распределенная энергия, блокчейн и Интернет вещей, широко используются в строительстве распределительных сетей и имеют множество решений для повышения эффективности, надежности и гибкости распределительных сетей. В то же время такие технологии, как V2G (интерактивные автомобильные сети), 5G коммуникационные технологии и системы хранения энергии также предлагают новые направления для будущего управления энергией и зеленой трансформации.

3 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С УЧЁТОМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Важнейшую роль в строительстве распределительных сетей играет внедрение инновационных технологических решений. По мере диверсификации спроса на энергию и усложнения энергосистем, традиционные модели распределительных сетей уже не соответствуют требованиям современных городских энергосистем. Для обеспечения того, чтобы эти технологии успешно внедрялись и эффективно повышали производительность энергосистемы, необходимо придерживаться ряда системных и стратегических принципов. Эти принципы гарантируют не только то, что новые технологии значительно повысят эффективность, надежность и гибкость работы энергосистемы, но и достаточную адаптивность и устойчивость энергосистемы перед лицом все более сложных энергетических потребностей и чрезвычайных ситуаций.

Во-первых, внедрение инновационных технологий должно быть нацелено на системную оптимизацию и интегрировано через глобальную перспективу, чтобы избежать системных дисбалансов, вызванных локальной оптимизацией. Например, применение интеллектуальных датчиков и технологий автоматизации должно сочетать в себе платформу анализа больших данных и облачных вычислений, чтобы сформировать систему поддержки принятия решений на основе данных, которая обеспечивает полный мониторинг и динамическую настройку работы сети. Это повысит способность энергосистемы реагировать на различные нагрузки и повысит ее стабильность в различных условиях эксплуатации.

Во-вторых, внедрение технологий должно иметь долгосрочную перспективу. Распределительная сеть строится не только для удовлетворения текущих потребностей в электроэнергии, но и для учета будущих технологических разработок и изменений в энергетической структуре. Поэтому при выборе технологий следует сосредоточиться на гибкости и масштабируемости, чтобы гарантировать, что сеть может адаптироваться к будущему доступу к большому количеству распределенных источников энергии и интеллектуальных энергетических устройств, таких как электромобили (EV), взаимодействующие с сетью, а также оптимальное планирование систем хранения энергии. Эти технологии могут эффективно уменьшить зависимость сети от традиционного централизованного энергоснабжения и повысить устойчивость системы к чрезвычайным ситуациям и ее способность к автономному регулированию.

Кроме того, не менее важна безопасность технологических приложений. Внедрение передовых технологий связи и управления должно сопровождаться усилением защиты сетевой безопасности электросетей от утечек информации и кибератак. На основе информатизации, электрификации и автоматизации, создать надежный механизм безопасности для обеспечения стабильной работы системы электросети. В частности, открытость и взаимосвязанность интеллектуальных распределительных сетей приводят к большому риску кибербезопасности, и необходимо одновременно с внедрением технологий укреплять механизмы безопасности и реагирования системы.

Наконец, применение инновационных технологий должно соответствовать концепции устойчивого развития и способствовать развитию зеленой энергетики и низкоуглеродной экономики. В строительстве распределительных сетей приоритет должен отдаваться применению технологий, которые соответствуют экологическим стандартам и поддерживают доступ к возобновляемым источникам энергии. Например, разработка решений, таких как распределенная энергия, технологии хранения

энергии и интеллектуальные счетчики электроэнергии, может эффективно повысить эффективность использования энергии, способствовать поглощению чистой энергии и способствовать достижению цели углеродной нейтральности.

При анализе качества электроэнергии оценка качества электроэнергии включает такие вопросы, как гармоника, отклонение напряжения и т. Д., Обычно для оценки производительности распределительной сети используется коэффициент мощности:

$$Power\ Factor = \frac{P_{real}}{P_{apprent}} \quad (3,1)$$

P_{real} -Это энергия; $P_{apprent}$ -Это видимая мощность.

Оптимизация целевой функции:

$$\min (\sum_{i=1}^n (V_i - V_{nominal})^2) \quad (3,2)$$

V_i -Это напряжение узла; $V_{nominal}$ -Это номинальное напряжение системы.

Для распределительных сетей целевой $PF \geq 0.95$. Коррекция достигается установкой конденсаторов.

Активная мощность $P_{real}=800\text{кВт}$; $P_{apprent}=1000\text{кВт}$

$$Power\ Factor = \frac{800}{1000} = 0.8 \text{ (Низкий КМ, требуется коррекция)}$$

Можно использовать формулу 3 - 2 для автоматической регулировки трансформаторов, чтобы минимизировать отклонение

Номинальное напряжение: $V_{nominal}=10\text{ кВ}$; Измеренные напряжения: $V=[9.8,10.1,9.9]\text{ кВ}$

$$(9.8-10)^2+(10.1-10)^2+(9.9-10)^2=0.04+0.01+0.01=0.06\text{ кВ}^2$$

В целом, инновационные технологические решения в строительстве распределительных сетей требуют не только высокоэффективных, надежных и гибких характеристик, но также должны уделять больше внимания систематизации, устойчивости и безопасности, продвигать развитие энергосистемы в направлении интеллектуального, зеленого и

низкоуглеродистого развития для удовлетворения меняющихся социальных и энергетических потребностей, следуя научно-техническим принципам. Инновационные технологические решения и эффекты показаны в таблице 3 - 1 ниже.

Таблица 3-1 Инновационные технологические решения и результаты

Инновационная технология	Описание технологии	Ожидаемый эффект
Технология блокчейн	Использование децентрализованной платформы блокчейн для управления сделками с электричеством и энергетическими активами, обеспечивая прозрачность и безопасность сделок.	Повышение прозрачности сделок с электроэнергией, снижение рисков мошенничества, обеспечение безопасности энергетических активов.
Интернет вещей (IoT)	Установка интеллектуальных датчиков и конечных устройств в энергосистему для сбора данных в реальном времени, диагностики неисправностей и проведения технического обслуживания.	Повышение способности мониторинга сети, своевременное обнаружение неисправностей и принятие мер для повышения стабильности сети.

Продолжение табл. 3-1

Инновационная технология	Описание технологии	Ожидаемый эффект
Искусственный интеллект (ИИ)	Использование алгоритмов машинного обучения и глубокого обучения для оптимизации прогноза нагрузки, управления диспетчеризацией и диагностики неисправностей в сети.	Повышение точности управления нагрузкой, оптимизация распределения ресурсов, снижение человеческих ошибок и затрат на эксплуатацию.
Технологии больших данных	Использование технологий больших данных для анализа информации о работе сети, прогнозирования изменений нагрузки и потребности в электроэнергии.	Повышение точности прогноза нагрузки сети, оптимизация поставок электроэнергии, снижение рисков перегрузок и отключений.

Продолжение табл. 3-1

Инновационная технология	Описание технологии	Ожидаемый эффект
Интеллектуальная энергосистема (умная сеть)	Создание саморегулирующейся энергосети с обратной связью в реальном времени, основанной на интеллектуальных датчиках, автоматических устройствах и информационно-коммуникационных технологиях.	Повышение уровня автоматизации и интеллектуализации сети, сокращение времени восстановления после неисправностей, повышение общей эффективности сети.
Технология виртуальной электростанции	Централизованное управление несколькими распределенными источниками энергии и аккумуляторами через платформу для оптимизации производства и распределения электроэнергии.	Эффективное использование распределенной энергии, повышение гибкости диспетчеризации сети, снижение потерь энергии.

Инновационная технология	Описание технологии	Ожидаемый эффект
Технологии связи 5G	Использование сети 5G для удаленного контроля, мониторинга и передачи данных в энергосистемах, обеспечивая высокоскоростную и низколатентную связь.	Повышение эффективности и точности управления энергосистемой, обеспечение передачи данных в реальном времени, оптимизация диспетчеризации сети.
Цифровой двойник сети	Создание цифровой модели энергетической сети для отображения текущего состояния в реальном времени, мониторинга и оптимизации работы.	Предсказание неисправностей в сети, оптимизация технического обслуживания и работы сети, повышение ее стабильности.

3.1 Общее планирование и системная координация

Создание распределительной сети представляет собой сложный системный проект, в котором различные технические решения должны быть эффективно интегрированы в общую архитектуру. Внедрение инновационных технологий не может быть рассмотрено лишь как отдельный компонент, но должно быть комплексным, чтобы обеспечить совместимость технологий друг с другом. В отношении совместимости систем, каждая инновационная технология должна учитывать свою совместимость с существующими системами, избегать технологической изоляции и обеспечивать плавную интеграцию старых и новых технологий. В то же время важно уделить внимание общему повышению эффективности. Цель технического применения заключается в улучшении общей эффективности работы энергосистемы и предотвращении потерь ресурсов и несовместимости функций после внедрения новой технологии.

Хотя инновационные технологии могут привести к значительным прорывам, их внедрение должно учитывать зрелость технологий и их совместимость с существующими системами. Перед тем как технология получит широкое распространение, необходимо провести пилотные испытания для обеспечения её стабильности и надежности в реальных условиях. Внедрение инновационных технологий должно обеспечить плавный переход к существующим системам и избежать нестабильности или сбоев в работе из-за неправильной интеграции технологий.

Например, в деревне Шаньинтун, поселок Сюаньпин, район Ваньцюань, Чжанцзякоу, для пилотного проекта по распределению и передаче линии низкого напряжения в деревне Шаньинтун, распределенные фотоэлектрические ресурсы богаты, тип нагрузки охватывает потребление электроэнергии в сфере общественного питания, использование электроэнергии в небольших сельскохозяйственных мастерских, использование электроэнергии в промышленных парках, потребление электроэнергии в сельском хозяйстве и т.д., тип нагрузки является

всеобъемлющим, имеет различные элементы для создания новой энергосистемы, подходит для проведения различных типов совместных исследований по хранению и хранению энергии в сети источника. В сочетании с доступом к распределенному источнику питания и характеристиками распределения нагрузки основное внимание уделяется распределенному фотоэлектрическому доступу в деревне Shangyingtun для анализа, в Shangyingtun F изменения, Shangyingtun H изменения, Shangyingtun промышленной зоны D в общей сложности для строительства низковольтного распределенного хранилища энергии 350 кВт [40,41].



Рис 3-1 Распределенное фотоэлектрическое управление

На рис. 3-1 показана использование схемы « Фотоэлектрический контроллер + интеллектуальный выключатель + интеллектуальный терминал слияния + 5G», как показано на рисунке ниже: добавить интеллектуальный выключатель на фотоэлектрический инвертор, установить фотоэлектрический контроллер рядом с фотоэлектрическим инвертором и установить интеллектуальный терминал слияния на станции. Фотоэлектрический контроллер использует RS485 для сбора информации о

фотоэлектрических инверторах и интеллектуальных выключателях и загружает ее через HPLC на терминал интеллектуального слияния; Интеллектуальный терминал Тайваня загружается на платформу системы автоматизации распределения с помощью 5G APN; Распределенная фотовольтаика принимает инструкции по регулированию платформы главной станции для достижения гибкого регулирования [42].

Формула верхнего предела проникновения распределенного источника питания:

$$\gamma_{\max} = \frac{S_{DG}}{S_{K3}} \leq 0.3 \sim 0.5 \quad (3,3)$$

S_{DG} -Это распределенная мощность; S_{K3} -Это мощность короткого замыкания.

Эта формула используется для предотвращения колебаний напряжения, вызванных высокой долей новых источников энергии, и расчета фактической проницаемости, чтобы избежать высокой доли фотоэлектрического доступа, приводящего к нестабильности напряжения.

Расчет распределенной фотоэлектрической мощности: $S_{DG}=50\text{MVA}$; $S_{K3}=125\text{MVA}$.

Фактическая проницаемость: $\gamma = \frac{50}{125} = 0.4$ (Для достижения критической величины требуется расширение или накопление энергии).

Распределение нагрузки в распределительной сети требует оптимизации энергетических ресурсов с помощью рациональных алгоритмов распределения. Можно использовать модели распределения нагрузки для минимизации потерь:

$$\min \sum_{i=1}^n L_i^2 \quad (3,4)$$

L_i -Это означает потерю мощности на линии.

Моделирование зоны электроснабжения:

$$C_{loss} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i}{S_i}\right) \quad (3,5)$$

C_{loss} -Это стоимость потерь в каждом распределительном районе; R_i -Это линейное сопротивление; S_i -Это общая мощность линии.

3.2 Гибкость и масштабируемость

Для создания распределительных сетей, способных адаптироваться к будущим изменениям, особенно в быстро развивающемся энергетическом секторе, инновационные технологии должны быть гибкими и масштабируемыми. Распределительные сети должны быть способны реагировать на будущие изменения нагрузки, реструктуризацию энергетики и техническую модернизацию. Выбор новых технологий должен быть масштабируемым и отвечать потребностям различных масштабов. По мере того, как новые технологии продолжают развиваться, распределительные сети также должны иметь гибкий доступ к новым технологиям, таким как электромобили, системы хранения энергии и т. Д., Чтобы гарантировать, что будущее может беспрепятственно связываться с новыми потребностями [43].

Инновации в строительстве распределительных сетей обычно включают в себя применение некоторых инновационных технологий (таких как интеллектуальные сети, технологии хранения энергии и т. Д.), решения которых сосредоточены на повышении эффективности, сокращении потерь, повышении гибкости и т. Д. Таким образом, мы можем использовать модель оптимизации потока электроэнергии:

$$P_{opt} = \min (\sum_{i=1}^n P_i^2) \quad (3,6)$$

P_{opt} -Это оптимизированный поток энергии; P_i -Это поток мощности узла.

К примеру, современная гибкая технология распределения постоянного тока (Flexible DC Distribution Technology) - передовая система распределения постоянного тока с высокой гибкостью, регулируемостью и эффективностью. Это особенно важно с учетом того, что современная энергетическая инфраструктура предъявляет все более высокие требования к распределенной энергетической интеграции, устойчивости систем и высококачественному энергоснабжению. Эта технология представляет собой значительный

прогресс в области интеллектуальных сетей (Smart Grids), доступа к возобновляемым источникам энергии и оптимизации передачи электроэнергии, что делает ее ключевым элементом будущего развития энергетических систем. Рисунок 3 - 2 представляет собой многополюсное гибкое устройство защиты системы распределения постоянного тока и метод и процесс защиты, который относится к энергосистеме и включает в себя устройство защиты и метод защиты системы распределения постоянного тока, в частности многополюсное гибкое устройство и метод защиты системы распределения постоянного тока.

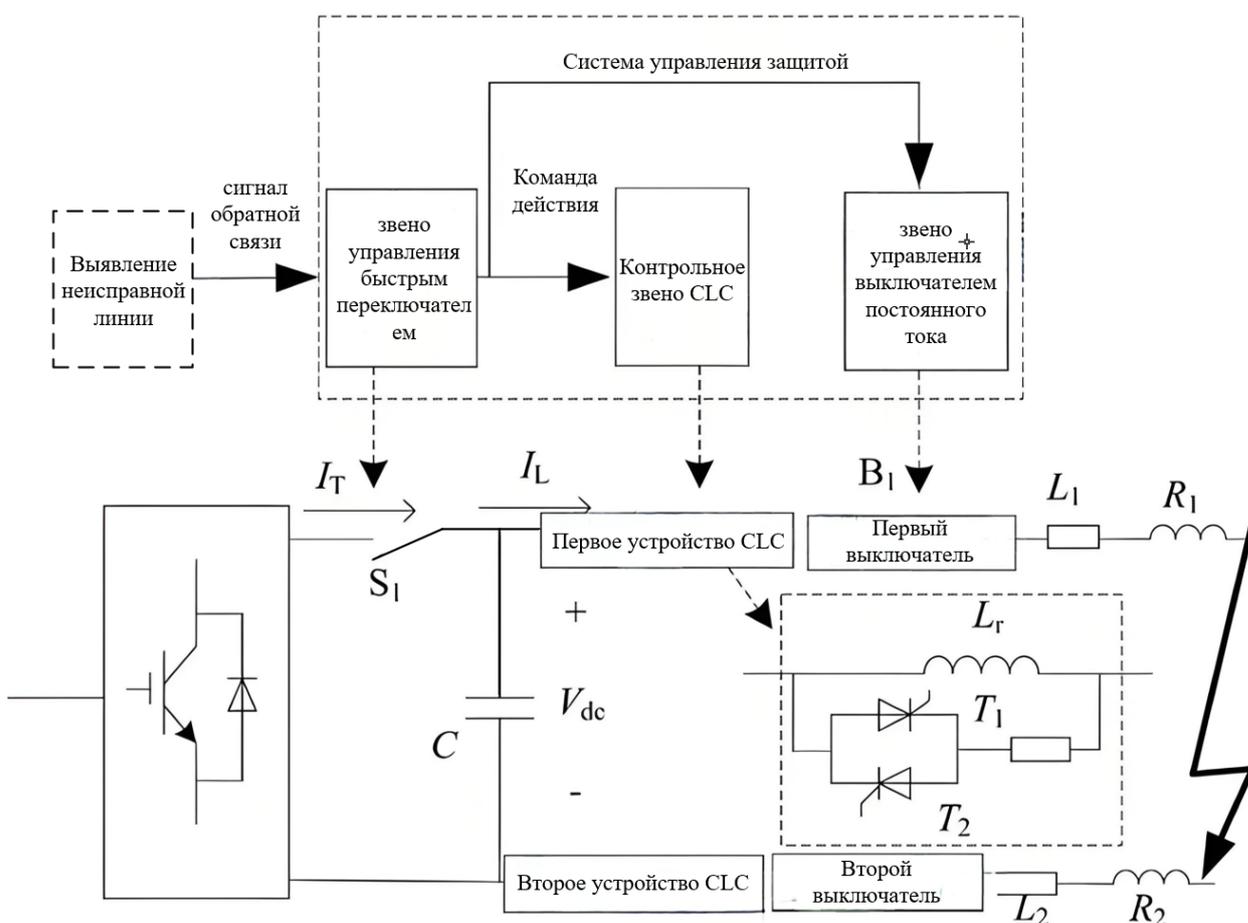


Рис 3-2 Защита многополюсной гибкой распределительной системы постоянного тока

3.3 Надежность и безопасность

Внедрение новых технологий не может игнорировать стабильность и безопасность распределительных сетей. Инновационные технологии должны обеспечить эффективное функционирование энергосистемы и не стать

потенциальным источником риска. Технические решения должны обладать высокой способностью обнаруживать неисправности и восстанавливать их, обеспечивать быстрое реагирование энергосистемы в случае возникновения проблем, уменьшать диапазон отключений и сокращать время восстановления. Для технологий, которые полагаются на передачу данных и интеллектуальное управление, таких как Интернет вещей и блокчейн, необходимо обеспечить безопасность данных и предотвратить хакерские атаки или утечку информации [44,45].

В процессе проектирования и эксплуатации распределительных электрических сетей, особенно в контексте внедрения инновационных технологий, крайне важно обеспечить надежность и безопасность системы. В условиях интеграции возобновляемых источников энергии, а также повышенных требований к гибкости и стабильности сетевой инфраструктуры, ключевым аспектом является реализация передовых технических решений, которые обеспечивают бесперебойную работу и защиту от различных внешних и внутренних угроз.

Для обеспечения устойчивости и безопасности распределительных сетей требуется внедрение многоуровневых технологий защиты, интеллектуальных систем управления и высокотехнологичных платформ для мониторинга и предсказания. В частности, необходимо использовать высокоточную сенсорную технику и платформы для анализа больших данных, которые способны непрерывно контролировать состояние компонентов сети и проводить интеллектуальную диагностику неисправностей, позволяя оперативно выявлять потенциальные угрозы или сбои до их проявления. Также целесообразно применять передовые алгоритмы оптимизации распределения нагрузки (Load Optimization Algorithms), которые обеспечивают динамическое управление распределением энергии, принимая во внимание изменения в потребности сети и её возможностях, тем самым минимизируя вероятность перегрузок и улучшая производительность сети в условиях пиковых нагрузок.

Дополнительно, интеллектуальные системы управления (Intelligent Management Systems) могут использоваться для мониторинга и регулирования распределения электроэнергии, способствуя снижению потерь и повышению общей эффективности функционирования сети. Эти подходы не только увеличивают стабильность инфраструктуры распределительных сетей, но и сводят к минимуму риски, связанные с технологическими сбоями, внешними угрозами и пиковыми нагрузками, обеспечивая бесперебойную эксплуатацию и высокое качество предоставляемых услуг.

3.4 Окружающая среда и устойчивое развитие

По мере того, как проблема глобального изменения климата становится все более серьезной, зеленое развитие превратилось в ключевое направление строительства распределительной сети. Инновационные технологии не только повышают общую эффективность энергосистемы, но и способствуют широкому внедрению экологически чистых и возобновляемых источников энергии, уменьшая при этом зависимость от традиционных источников. Распределительная сеть, способствующая энергетическому переходу, требует более эффективного и низкоуглеродного энергоснабжения и использования электроэнергии [46].

Технология хранения энергии играет важную роль в достижении зеленого потребления электроэнергии и стабильной работы энергосистемы. С помощью оборудования для хранения энергии избыточная энергия от возобновляемых источников может быть эффективно сохранена и высвобождена в периоды пикового спроса, что обеспечивает сбалансированное планирование энергии. Распределительная сеть, совместно с оборудованием для хранения энергии, может накапливать электроэнергию в периоды пиковой генерации ветровой и солнечной энергии и высвобождать её в периоды пикового спроса. Такой подход не только повышает стабильность энергосистемы, но и снижает потребность в использовании традиционных угольных источников энергии. Интеллектуальная диспетчерская система может регулироваться в режиме реального времени в

зависимости от мощности накопителя энергии и потребностей сети, гарантируя, что необходимая мощность может быть обеспечена в любое время. Таким образом, энергосистема не только поглощает больше возобновляемых источников энергии, но и обеспечивает стабильность энергоснабжения.

С развитием рынка зеленой электроэнергии роль распределительных сетей в торговле зеленой электроэнергией также становится все более значимой. Благодаря точному отслеживанию и мониторингу данных о генерации электроэнергии распределительные сети могут помочь поставщикам и потребителям в сертификации и торговле зеленой энергией, способствуя развитию низкоуглеродной экономики. Например, с помощью интеллектуальных систем распределительные сети могут контролировать и анализировать выбросы углерода в режиме реального времени. Правительства и предприятия могут корректировать свои цели по сокращению выбросов углерода на основе этих данных и стимулировать развитие энергетических систем в направлении низкоуглеродного и зеленого будущего. Интеллектуальная система распределительной сети может регистрировать и сертифицировать источник электроэнергии, обеспечивая зеленые характеристики каждого заряда. Это не только стимулирует рыночную торговлю «зеленой» электроэнергией, но и предоставляет пользователям возможности устойчивого потребления электроэнергии и способствует дальнейшему использованию возобновляемых источников энергии. С развитием цифровых технологий работа распределительных сетей будет все больше зависеть от таких технологий, как большие данные, искусственный интеллект и Интернет вещей, для содействия управлению и планированию зеленой электроэнергии [47].

3.5 Экономичность и потребности пользователей

Инновационные технологические программы должны обеспечивать гармоничное сочетание технологических инноваций и экономических выгод, при этом обеспечивая разумную отдачу от инвестиций и повышение

эффективности энергосистемы. Каждая технологическая программа должна пройти детальную экономическую оценку, чтобы оценить её затраты и отдачу, избежать чрезмерных инвестиций и обеспечить технологический прогресс. Необходимо учитывать не только первоначальные затраты, но и рассчитывать затраты на техническое обслуживание на более поздних этапах, затраты на модернизацию и экономические выгоды в долгосрочной эксплуатации, чтобы обеспечить общую экономичность системы.

Основная цель строительства распределительной сети - обеспечение услугами широкого круга пользователей, поэтому все инновационные технологии должны быть направлены на улучшение пользовательского опыта. Благодаря технологиям интеллектуальных сетей пользователи могут контролировать потребление электроэнергии в режиме реального времени, оптимизировать привычки потребления, повышать эффективность использования электроэнергии и сокращать расходы на неё. Технологии должны предоставлять пользователям прозрачную информацию о торговле электроэнергией и обеспечивать справедливость и эффективность рынка электроэнергии с помощью таких инструментов, как децентрализованные платформы торговли электроэнергией.

3.6 Политическая поддержка и соблюдение

Стабильная и эффективная работа энергосистемы не только является предпосылкой для обеспечения того, чтобы новые технологии могли применяться в соответствии с правилами и приносить максимальную пользу. По мере развития новых технологий, таких как интеллектуальные сети, большие данные и блокчейн, правовые и технологические нормы становятся все более сложными. Чтобы обеспечить успешную реализацию инновационных технологий, строительство распределительных сетей требует стандартизированного проектирования и технических спецификаций в рамках строгого соблюдения законов и правил. Многие страны и регионы проводят политику в поддержку «зеленой» энергетики, доступа к возобновляемым источникам энергии и интеллектуальных сетевых

технологий. Технические решения распределительных сетей должны соответствовать этим политическим направлениям, активно поддерживать доступ к чистой энергии, снижать зависимость от ископаемых источников энергии и поддерживать энергетические преобразования. Это включает в себя разработку таких технологий, как распределенная энергия, ветроэнергетика и фотовольтаика, а также обеспечение того, чтобы развертывание новых технологий соответствовало целям зеленого развития. Стабильная эксплуатация энергосистемы имеет решающее значение, поэтому строительство распределительных сетей должно соответствовать правилам безопасности и надежности электроэнергии. Эти нормативные акты касаются стандартов электрооборудования, требований к эксплуатации автоматизированных систем управления и создания механизмов реагирования на чрезвычайные ситуации. Например, распределительная сеть должна обладать способностью к быстрому восстановлению в случае внезапных сбоев, а электрооборудование нуждается в регулярном ремонте и тестировании. Оборудование, технологии и системы связи, задействованные в строительстве распределительных сетей, должны соответствовать международным и отраслевым стандартам. Например, организации по стандартизации в энергетической отрасли (например, IEC, IEEE, ANSI и т.д.) разработали технические спецификации в отношении энергетических систем, оборудования, протоколов связи и т.д. Соблюдение этих стандартов обеспечивает совместимость между различными видами оборудования, избегает появления технологических островов и гарантирует, что сетевые системы могут эффективно работать вместе [48,49].

С подключением мировой энергетической отрасли строительство распределительных сетей должно соответствовать международным стандартам. Например, стандарты, опубликованные международными организациями по стандартизации, такими как Международная электротехническая комиссия (МЭК) и IEEE, постепенно находят широкое применение во всем мире. На фоне растущей интеграции глобального рынка

электроэнергии распределительные сети должны строиться не только в соответствии с местными законами и правилами, но и с возможностью подключения и сотрудничества с энергосистемами в других регионах. Таким образом, технические решения распределительных сетей должны соответствовать международно признанным стандартам и нормам и способствовать координации и соединению транснациональных энергетических систем [50].

Инновационные технологические решения для распределительных сетей должны строго соответствовать соответствующим законам и правилам и отраслевым стандартам, чтобы гарантировать соответствие, стабильность и безопасность системы. Законодательство и нормативные акты обеспечивают четкую основу для строительства электросетей, гарантируя, что реализация технических решений не окажет негативного воздействия на общество, пользователей и окружающую среду; С другой стороны, отраслевые стандарты обеспечивают конкретное оперативное руководство для стандартизированного применения сетевых технологий и способствуют координации и сотрудничеству между оборудованием и технологиями. В процессе строительства распределительной сети нормативно-правовая и стандартизированная работа является краеугольным камнем обеспечения бесперебойного применения инновационных технологий и стабильной работы энергосистемы.

3.7 Выводы

Для обеспечения успешного внедрения новых технологий, таких как интеллектуальные сети, большие данные и блокчейн, строительство распределительных сетей требует строгого соблюдения законов и правил и принятия стандартизированных конструкций и технических спецификаций. Правительства поддерживают «зеленую» энергетику и интеллектуальные сетевые технологии, содействуют доступу к чистой энергии, снижают зависимость от ископаемых источников энергии и способствуют

энергетической трансформации. Технические решения для распределительных сетей должны соответствовать международным стандартам, обеспечивать совместимость оборудования и избегать появления технологических островков, а также гарантировать интеграцию глобального энергетического рынка. Оборудование, технологии и системы связи энергетических систем должны соответствовать международным и отраслевым стандартам для обеспечения стабильности, безопасности и надежности систем. Законодательство и отраслевые стандарты обеспечивают четкую основу для строительства электросетей, гарантируя, что внедрение технологических решений не окажет негативного воздействия на общество, пользователей и окружающую среду. Нормативное строительство в соответствии со стандартами и правовыми требованиями является ключом к бесперебойному применению инновационных технологий и стабильной работе энергетических систем.

4 РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Благодаря глобальной энергетической трансформации и цифровой волне, цифровое строительство распределительной сети стало ключевым фактором для повышения эффективности энергосистемы, улучшения её адаптивности и поддержки развития возобновляемых источников энергии. Цифровизация распределительной сети — это не только замена оборудования и технологий, но и включение всесторонних инноваций в управления, рабочих процессах и архитектуре системы. Тем не менее, несмотря на значительный потенциал цифровых технологий, распределительные сети по-прежнему сталкиваются с рядом технических и управленческих вызовов, включая защиту данных, интеграцию систем, технические стандарты и совместимость оборудования.

Цифровизация распределительной сети является ключевым аспектом модернизации энергосистемы и играет важную роль в повышении эффективности, надежности и гибкости работы энергосистемы. Несмотря на многочисленные проблемы, возникающие в процессе цифровой трансформации, такие как защита данных, совместимость оборудования и техническая интеграция, эти проблемы могут быть эффективно решены с помощью стратегий, включающих усиление защиты данных, содействие стандартизации оборудования, оптимизацию инвестиций, улучшение возможностей технологической интеграции и подготовку кадров. Глубокая цифровизация распределительных сетей не только способствует эффективной работе энергетической отрасли, но и обеспечивает надежную основу для будущего устойчивого управления энергией и обеспечения зеленым энергоснабжением. В этой главе будут рассмотрены технологические разработки в области оцифровки распределительных сетей,

текущие проблемы и их решения, а также аспекты технологий блокчейна и Интернета вещей, чтобы предоставить теоретическую основу и ориентиры для будущего развертывания и практики технологий. Распространенные проблемы оцифровки распределительных сетей и их решения показаны в таблице 4 - 1 ниже.

Таблица 4-1 Часто возникающие проблемы с цифровизацией электросетей и их решения

Проблема	Описание проблемы	Решение
Проблемы с данными отдельных изолированных системах	Данные из разных систем и устройств не могут быть использованы совместно, что приводит к задержкам и неэффективности.	Создание единой платформы данных для обеспечения взаимосвязи и обмена данными между различными системами и устройствами.
Проблемы совместимости оборудования	Проблемы с совместимостью старого и нового оборудования разных производителей, что затрудняет развертывание и модернизацию цифровых технологий.	Применение открытых стандартов и протоколов для обеспечения совместимости оборудования и продвижение стандартизации интеллектуальных устройств и систем.
Риски безопасности сети	В процессе цифровизации возрастает риск кибератак и утечек данных, что может привести к серьезным последствиям.	Укрепление защиты сети, использование технологий шифрования, механизма аутентификации и контроля доступа, регулярные проверки безопасности.

Проблема	Описание проблемы	Решение
Проблемы с качеством данных	Сбор данных в процессе цифровизации может быть некачественным, что влияет на точность анализа и принятия решений.	Оптимизация процессов сбора, хранения и обработки данных, применение технологий очистки данных для обеспечения их точности и согласованности.
Низкая точность предсказания неисправностей оборудования	Модели предсказания неисправностей недостаточно точны, что может привести к пропуску ранних сигналов неисправности и увеличению времени простоя.	Использование искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения для улучшения моделей предсказания неисправностей и их оптимизация с учетом данных мониторинга в реальном времени.
Сложности интеграции систем	Цифровизация охватывает множество платформ и технологий, что затрудняет полную интеграцию и координацию работы различных систем.	Использование модульной, расширяемой архитектуры систем, поэтапная интеграция для обеспечения бесперебойной работы всех компонентов.

Проблема	Описание проблемы	Решение
Нехватка квалифицированных специалистов	Недостаток специалистов с необходимыми знаниями и навыками в области цифровизации, что замедляет процесс внедрения технологий.	Усиление обучения и привлечение квалифицированных специалистов в области цифровых технологий для обеспечения успешного внедрения цифровизации.
Сложности в операционном обслуживании	После цифровизации оборудование и системы становятся сложнее в обслуживании, что требует новых методов управления.	Внедрение интеллектуальных систем обслуживания, использование искусственного интеллекта и больших данных для диагностики и предсказания неисправностей, что повысит эффективность обслуживания.

Цифровизация распределительных сетей обычно включает в себя датчики и системы связи, которые могут оптимизировать работу сети с помощью алгоритмов оценки состояния сети:

$$\hat{x} = (A^T P^{-1} A)^{-1} A^T P^{-1} z \quad (4,1)$$

x -Это оценка состояния сети; A -Это измерительная матрица; P -Это ковариационная матрица ошибок измерения; z -Это измерение.

Что касается сетей передачи данных, то анализ задержки используется для оценки задержки сети связи в режиме реального времени в распределительной сети:

$$Delay = \sum_{i=1}^n (t_i + d_i) \quad (4,2)$$

t_i -Это задержка обработки первого узла; d_i -Это задержка передачи первого узла.

4.1 Цифровизация распределительной сети

Цифровизация распределительной сети подразумевает внедрение передовых технологий, включая информационные технологии, технологии автоматизации и коммуникационные технологии, во всех аспектах работы сети. Это достигается за счет сбора данных в режиме реального времени, мониторинга, управления и интеллектуального анализа, что способствует повышению эффективности и гибкости функционирования сети. Цифровизация не только позволяет сетям осуществлять контроль и оптимизировать планирование в режиме реального времени, но и эффективно поддерживает интеграцию возобновляемых источников энергии, существенно улучшая автоматизацию и самовосстановление сетей. Применение передовых цифровых технологий в распределительных сетях позволяет не только повысить эффективность и надежность работы, но и способствует доступу к чистой энергии, оптимизации распределения ресурсов и содействует зеленому и низкоуглеродному развитию энергетической отрасли.

Однако, чтобы достичь полноценной гибкости и масштабируемости, необходимо также учитывать целый ряд факторов. Например, инфраструктура должна быть способна легко масштабироваться в зависимости от роста потребления энергии. Это требует тщательного планирования и использования гибких архитектур, которые могут быть расширены или модифицированы по мере необходимости. Также важна интеграция различных систем управления и мониторинга, чтобы обеспечить единый и эффективный процесс управления сетью. Кроме того, необходимо обеспечить безопасность данных, поскольку цифровизация предполагает обмен большим количеством информации, и ее защита от киберугроз становится приоритетом. Технологическое сопровождение и обучение

персонала также играют важную роль, так как новый подход требует наличия соответствующих знаний и навыков у рабочих в энергетической отрасли.

4.1.1 Ключевые технологии оцифровки распределительных сетей

Основные технологии оцифровки распределительных сетей включают в себя следующие аспекты:

1) Интеллектуальные датчики и сбор данных

Цифровизация распределительной сети основана на применении интеллектуальных датчиков, которые в режиме реального времени контролируют ключевые параметры распределительной сети, такие как напряжение, ток и частота, и передают данные в центр мониторинга. Благодаря этим данным в режиме реального времени операторы могут своевременно понять состояние работы сети и обеспечить надежную основу для принятия решений.

2) Автоматизированные системы управления и диспетчеризации

Автоматизированная система управления, анализируя данные в реальном времени, динамически планирует и настраивает сеть, автоматически выполняя задачи по регулированию нагрузки, распределению электроэнергии и изоляции от неисправностей, чтобы гарантировать, что сеть может быстро восстановить подачу электроэнергии и поддерживать стабильную работу в чрезвычайных ситуациях. Адаптивные диспетчерские системы позволяют энергосистеме эффективнее справляться с колебаниями нагрузки и сбоями оборудования.

3) Анализ больших данных и облачные платформы

Большие объемы данных, генерируемые распределительными сетями, требуют централизованной обработки и хранения с помощью анализа больших данных и облачных платформ. Облачные платформы обеспечивают мощные вычислительные мощности и возможности обработки данных, что позволяет операторам сетей осуществлять точные прогнозы потребностей, балансировки нагрузки и прогнозирования отказов. Внедрение больших

данных не только повышает эффективность работы энергосистемы, но и обеспечивает поддержку данных для интеллектуальных решений.

4) Интернет вещей и интеллектуальные устройства

Технология Интернета вещей позволяет различным устройствам в распределительной сети взаимодействовать, осуществлять мониторинг в режиме реального времени, удаленное управление и интеллектуальное регулирование. Развертывая интеллектуальное оборудование, энергетические компании могут эффективно управлять различными устройствами в энергосистеме, такими как трансформаторы, переключатели, распределительные терминалы и т. д. В режиме реального времени собирать информацию о состоянии оборудования, своевременно выявлять потенциальные проблемы, уменьшать вмешательство человека и повышать эффективность эксплуатации и обслуживания.

5) Искусственный интеллект и машинное обучение

Применение технологий искусственного интеллекта в распределительных сетях в основном отражается в диагностике неисправностей, интеллектуальном анализе данных и интеллектуальном прогнозировании. Алгоритмы машинного обучения могут помочь анализировать исторические данные электросети, автоматически распознавать аномальные режимы в работе сети, заблаговременно предупреждать о потенциальных сбоях и оптимизировать стратегии планирования в работе системы для повышения точности и надежности энергоснабжения.

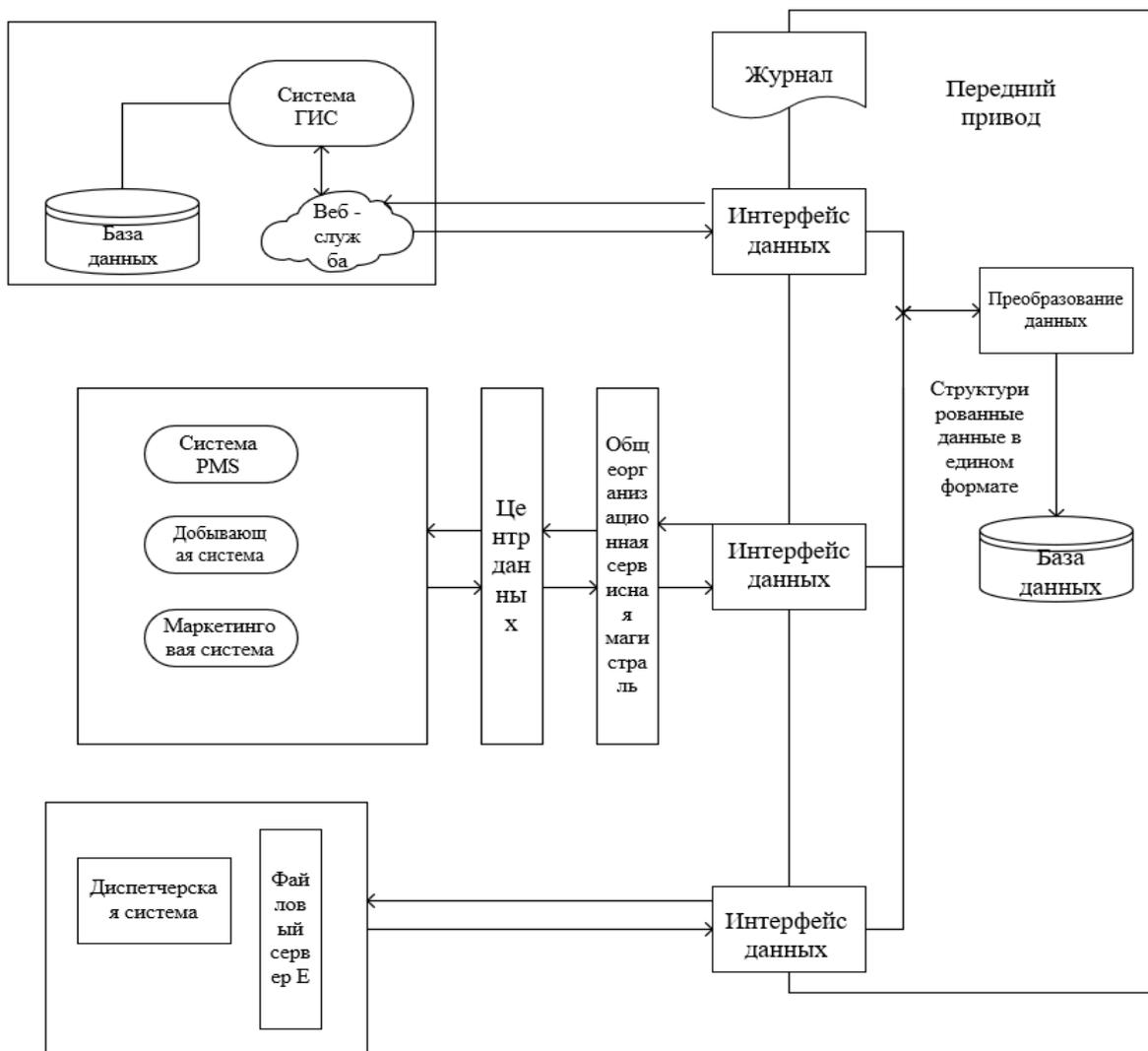


Рис 4-1 Процесс интеграции базовых данных для планирования распределительной сети

На рис. 4-1 показана речь идет о методе обработки данных электросети, в частности, о методе интеграции базовых данных для планирования распределительной сети на основе «вычислений памяти + архитектуры, основанной на событиях + больших данных». Текущая интеграция и обработка данных нацелены только на большой объем данных как таковой, но данные планирования распределительной сети поступают из нескольких бизнес - систем, и в текущем исследовании меньше внимания уделяется следующим аспектам: 1) источники данных распределительной сети сложны, частота повторения высока и неравномерна. Существует много бизнес - систем распределительной сети, из - за отсутствия глобальной координации,

в дополнение к GIS и PMS для достижения гомологичного обслуживания данных основного оборудования, с системой сбора и маркетинговой системой для достижения гомологичного обслуживания данных точки измерения, общее отсутствие связи между бизнес - системами, большое количество данных требует повторного обслуживания в разных системах, высокая частота повторения данных. 2) Плохая согласованность данных, трудности сцепления. Различные бизнес - подразделения имеют разные привычки к нумерации и именованию данных и информации, что приводит к низкой согласованности данных и трудностям связи. В то же время, информационная система имеет много подразделений исследований и разработок, стандарты данных и модели не согласуются, в результате чего стандарты интерфейса между системами не могут быть согласованы. 3) Высокие требования к обработке данных в режиме реального времени. Поэтому, если вышеуказанные проблемы не будут эффективно решены, это значительно ограничит роль базовых данных распределительной сети в поддержке данных для планирования распределительной сети.

Алгоритм кратчайшего пути может быть использован для анализа схемы восстановления неисправности:

$$D = \min (\sum_{i=1}^n d_i) \quad (4,3)$$

D -Это кратчайший путь восстановления; d_i -Это расстояние между линиями.

Вычислить пятиузловую сеть:

Расстояния между узлами (км): $d = [2.1,1.5,3.0,0.8]$;

Оптимальный путь:Выбираем минимальную сумму: $1.5+0.8=2.3$ КМ.

Реализация оцифровки распределительных сетей принесла значительные выгоды энергетической отрасли, конкретные преимущества включают: повышение стабильности электроснабжения, оптимизацию распределения и использования ресурсов энергосистемы, повышение самовосстанавливающейся способности и гибкости энергосистемы,

содействие доступу и интеграции зеленой энергии, снижение эксплуатационных расходов и повышение эффективности.

4.1.2 Применение цифровых распределительных сетей

Цифровизация распределительных сетей набирает обороты и демонстрирует свои значительные преимущества во многих аспектах. Ниже приведены некоторые типичные примеры применения, иллюстрирующие, как цифровые технологии могут эффективно повысить эффективность и надежность распределительных сетей.

1) Интеллектуальные счетчики и дистанционный сбор данных

Распространение интеллектуальных счетчиков является ключевым аспектом цифровизации распределительной сети. Развертывая интеллектуальные счетчики, энергетические компании могут контролировать потребление электроэнергии пользователями в режиме реального времени, автоматически собирать данные и загружать их через коммуникационные сети. Эти счетчики не только регистрируют потребление электроэнергии, но и предоставляют данные по таким параметрам, как напряжение и ток, что обеспечивает более точное измерение и управление электроэнергией.

2) Автоматизированная распределительная система (DAS)

Автоматизированная распределительная система (DAS) использует цифровые технологии для автоматического управления и настройки сети. С помощью интеллектуальных датчиков и устройств управления система автоматически воспринимает колебания нагрузки, неисправности в сети и корректирует или изолирует зону отказа, чтобы избежать широкомасштабных отключений. В случае сбоя система может автоматически восстанавливаться или перестраиваться, уменьшая время отключения электроэнергии. Автоматизированные системы распределяют электроэнергию на основе данных в реальном времени для обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов.

3) Интеллектуальное управление нагрузкой и реагирование на спрос

Интеллектуальное управление нагрузкой помогает сетям лучше сбалансировать спрос и предложение электроэнергии, особенно в периоды пиковых нагрузок, путем сбора и анализа данных о электроэнергии в режиме реального времени. Система может динамически регулировать поток электроэнергии в соответствии с потребностями в электроэнергии, избегая перегрузки системы.

Благодаря интеллектуальному регулированию цен пользователи поощряются к сокращению потребления электроэнергии в часы пик спроса на электроэнергию и снижению давления в сети. Регулируйте нагрузку на сеть в режиме реального времени, чтобы обеспечить стабильное энергоснабжение.

4) Система диагностики неисправностей и раннего предупреждения

Цифровизация распределительной сети также включает в себя системы диагностики неисправностей и раннего предупреждения. Благодаря мониторингу данных сетевого оборудования в режиме реального времени система может использовать алгоритмы искусственного интеллекта для прогнозирования неисправностей оборудования, анализа состояния работы сети и отправки сигналов раннего предупреждения до возникновения неисправности. Благодаря интеллектуальному прогнозированию и диагностике энергетические компании могут принимать меры до возникновения неисправности, чтобы уменьшить вероятность повреждения оборудования и отключения электроэнергии. Точное позиционирование и обработка неисправностей могут предотвратить массовое отключение электроэнергии и обеспечить надежность и стабильность энергосистемы [51].

4.2 Проблемы и решения в цифровизации распределительных сетей

По мере прогресса цифровой трансформации распределительных сетей, цифровые технологии ускоряют интеллектуальное управление энергосистемами и повышают эффективность и надежность работы этих сетей. Тем не менее, внедрение цифровых технологий в распределительные сети также сталкивается с множеством технических и управленческих

вызовов. Для начала, технические вызовы включают в себя сложности в интеграции различных цифровых систем. Например, старые и новые системы могут иметь несоответствующие протоколы передачи данных, что затрудняет обмен информацией между ними. Кроме того, недостаточная скорость и надежность связи между узлами распределительной сети может стать препятствием для реализации полноценного интеллектуального управления. Также стоит учитывать, что техническое оснащение распределительных сетей должно соответствовать высоким стандартам безопасности данных, и создание таких систем безопасности также представляет значительный технический вызов [52].

Что касается управленческих вызовов, то здесь важна координация между разными участниками энергетической отрасли. Необходимо разработать единый подход к управлению цифровыми системами распределительных сетей, учитывающий интересы энергетических компаний, регуляторных органов и потребителей. Наличие нечетких правовых и нормативных актов в области цифровизации энергетики также создает проблемы в управлении. Нужно разработать и внедрить соответствующие нормативно - правовые акты, которые определяют правила и процедуры цифровизации распределительных сетей.

4.2.1. Проблемы цифровизации распределительных сетей

Ниже перечислены проблемы, связанные с оцифровкой распределительных сетей:

1) Вопросы безопасности данных и защиты конфиденциальности

В процессе оцифровки распределительной сети задействовано большое количество данных в режиме реального времени для сбора, передачи и хранения, включая информацию о потреблении электроэнергии пользователем, состоянии оборудования, данные об окружающей среде и так далее. Как эффективно защитить безопасность этих конфиденциальных данных, предотвратить утечку и неправомерное использование стало важной проблемой в строительстве цифровых распределительных сетей. Когда

данные обрабатываются неправильно, это может привести к нарушению конфиденциальности пользователей и даже создать серьезную угрозу безопасности сети.

2) Качество данных и проблема информационных островов

Цифровизация распределительных сетей включает в себя множество устройств и систем, которые генерируют данные, которые могут быть непоследовательными с точки зрения формата и качества, что приводит к трудностям в хранении, обработке и анализе данных. Кроме того, отсутствие эффективных механизмов обмена данными и обмена ими между различными системами создает информационные "островки", что сказывается на полноте и точности цифрового анализа.

3) Задержки в сети и проблемы стабильности связи

Цифровое строительство распределительных сетей должно опираться на высокоэффективные сети связи с низкой задержкой для передачи данных в режиме реального времени. Тем не менее, существующие традиционные коммуникационные сети могут быть неспособны нести растущий трафик данных и высокие требования к работе в режиме реального времени, что, в свою очередь, влияет на эффективность, стабильность и безопасность системы в режиме реального времени.

4) Вопросы совместимости и интероперабельности систем

Процесс оцифровки распределительной сети включает в себя оборудование и системы различных производителей и технологических платформ. Различия в интерфейсах, протоколах и стандартах этих устройств и систем могут легко привести к несовместимости между ними, что, в свою очередь, влияет на эффективность передачи данных и интеграции систем, создавая управленческие трудности.

5) Давление на стоимость и сроки окупаемости инвестиций

Цифровая трансформация распределительных сетей требует больших первоначальных инвестиций, особенно в аппаратное оборудование,

внедрение технологий, строительство инфраструктуры. Поскольку преимущества цифровой трансформации обычно требуют определенного времени, многие энергетические компании сомневаются в цикле возврата инвестиций.

б) Нехватка квалифицированных специалистов

Цифровые технологии распределительных сетей включают в себя передовые технологии, такие как большие данные, искусственный интеллект, облачные вычисления и Интернет вещей, что требует более высокого технического уровня соответствующих практиков. Однако в настоящее время в энергетической отрасли, особенно в области традиционного распределения электроэнергии, по-прежнему не хватает соответствующих высокотехнологичных кадров для удовлетворения потребностей цифровой трансформации.

4.2.2 Решение проблем цифровизации распределительных сетей

Связанные с различными технологиями, устройства с стандартизированным интерфейсом могут легко интегрироваться с другими системами. Внедрение промежуточных элементов в качестве мостов для системной интеграции позволяет поддерживать связь и обмен данными между различными системами. Эти компоненты способны обрабатывать данные в разных протоколах и форматах, выполнять преобразование форматов, обеспечивать единый уровень интерфейса и уменьшать сложность системной интеграции. Для традиционного оборудования и систем можно обеспечить совместимость старых и новых систем путем постепенного обновления и замены, избегая проблем совместимости, связанных с обновлением системы. В процессе обновления системы следует придерживаться стратегии постепенной интеграции и поэтапного внедрения, избегая одноразовой полной замены.

1) Давление на стоимость и сроки окупаемости инвестиций

На начальном этапе цифрового строительства распределительной сети требуются значительные инвестиции, поэтому проблема ценового давления и циклов окупаемости является важной проблемой. Цифровая трансформация распределительной сети может осуществляться поэтапно, на начальном этапе можно отдавать приоритет инвестициям в модернизацию ключевых узлов и основного оборудования, постепенно продвигать полную модернизацию системы. Снижение финансового давления в краткосрочной перспективе путем постепенного внедрения, распределения инвестиционных рисков. Снижение затрат на обслуживание оборудования за счет внедрения интеллектуальных устройств и систем автоматизации. Оптимизация планирования энергии посредством анализа больших данных, сокращение отходов энергии, повышение коэффициента использования электроэнергии, тем самым повышая экономическую эффективность в долгосрочной перспективе и сокращая период окупаемости инвестиций. Обратиться к правительству за финансовой поддержкой и политическими стимулами, особенно в отношении проектов, связанных с интеллектуальными сетями, возобновляемыми источниками энергии и "зеленой" электроэнергией. Государственные субсидии могут облегчить финансовое давление на начальном этапе проекта и ускорить процесс цифрового строительства. Внедрение интеллектуальных систем выставления счетов для повышения точности и справедливости тарифов на электроэнергию посредством мониторинга в режиме реального времени и точного измерения, тем самым увеличивая доходы и еще больше улучшая цикл возмещения затрат.

2) Нехватка квалифицированных специалистов

Компании должны наращивать усилия по обучению существующих сотрудников, повышать их способность к цифровым технологиям, анализу данных и кибербезопасности. Привлечение внешних высококачественных технических специалистов, особенно в области Интернета вещей, больших данных и других областях; В то же время совместно с университетами и научно-исследовательскими институтами мы готовим больше людей,

адаптированных к цифровым потребностям. Благодаря регулярному техническому обновлению и переподготовке сотрудники остаются в курсе новых технологий, гарантируя, что они будут идти в ногу с цифровыми тенденциями.

Цифровая трансформация распределительной сети сталкивается с рядом проблем, таких как безопасность данных, задержки в сети, совместимость систем, возврат инвестиций и нехватка талантов. Эти проблемы могут быть эффективно решены путем внедрения технологий шифрования, открытых стандартов, современных коммуникационных технологий и оптимизации методов доставки и обслуживания. Применение цифровых технологий может не только повысить интеллектуальный уровень распределительных сетей, но и эффективно оптимизировать управление ресурсами энергосистемы и способствовать развитию энергетической отрасли в более эффективном и устойчивом направлении. По мере того, как технологии продолжают развиваться и внедряться, распределительные сети будущего смогут лучше реагировать на сложные энергетические потребности, поддерживать интеграцию зеленой энергии и закладывать прочную основу для строительства интеллектуальных сетей.

4.3 Блокчейн и Интернет вещей

Сочетание блокчейна и технологий Интернета вещей (IoT) открывает новые горизонты для инновационных решений во многих отраслях, в частности, в сфере интеллектуальных сетей, транспорта и умных городов. Блокчейн предоставляет надежную инфраструктуру для устройств IoT, обеспечивая безопасность, прозрачность и децентрализацию данных. Интернет вещей способствует оптимизации рабочих процессов, повышению эффективности и снижению затрат за счет сбора данных в реальном времени и интеллектуального управления. Совместное использование этих технологий не только позволяет различным устройствам выполнять интеллектуальные операции, но и способствует социальному развитию в направлении децентрализации, автоматизации и прозрачности.

Блокчейн представляет собой децентрализованную, неизменяемую технологию распределенного реестра, которая использует криптографические алгоритмы и консенсусные механизмы для обеспечения подлинности и безопасности данных. Каждая транзакция фиксируется в блоках, образующих цепочки в хронологическом порядке. Информация о сценариях применения и планировании блокчейна в торговле электроэнергией и другими отраслями показана на рисунке 4-2.

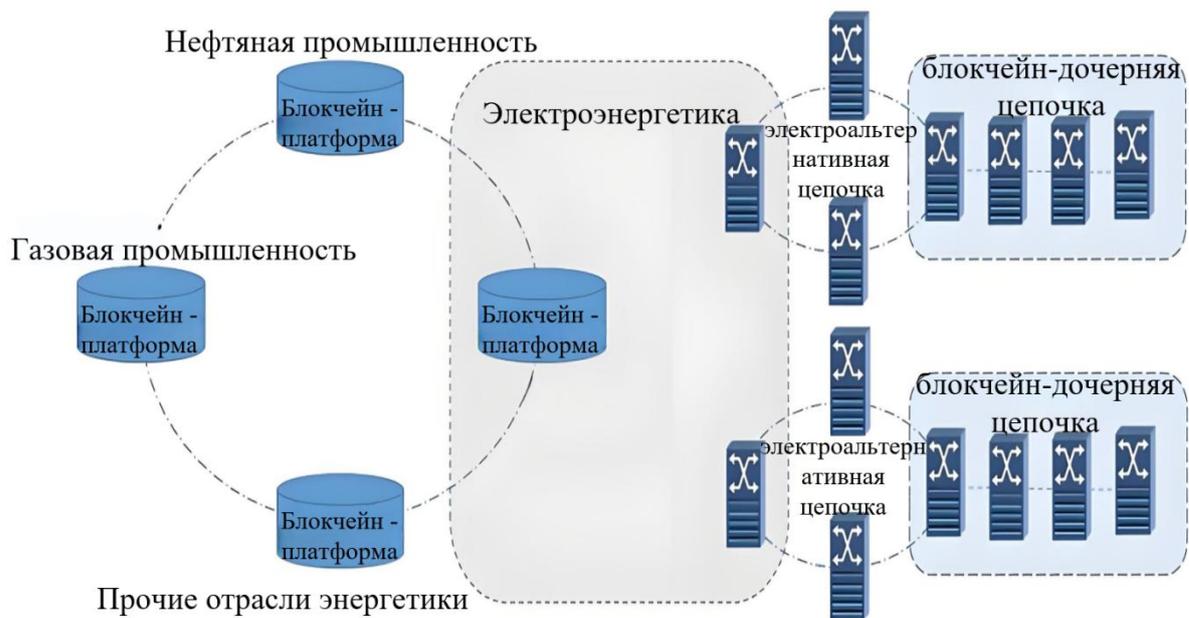


Рис 4-2 Сценарии применения блокчейна в торговле электроэнергией

Автоматическое предотвращение перегрузки линий в P2P-торговле, Лимит линии: $C_{line}=1$ МВт; Транзакции: $T_1=0.3$ МВт, $T_2=0.6$ МВт, $T_3=0.2$ МВт;

$$0.3+0.6=0.9 \leq 1 (\text{Принято}); 0.9+0.2=1.1 > 1 (\text{Транзакция } T_3 \text{ отклонена}).$$

В процессе объединения технологий блокчейн и Интернета вещей (IoT), система мониторинга устройств IoT, благодаря децентрализованной архитектуре блокчейна, криптографической защите и использованию умных контрактов, значительно улучшает безопасность данных устройств, их прозрачность и защиту конфиденциальности. Она также способствует созданию децентрализованных автоматизированных транзакций и эффективному интеллектуальному взаимодействию. С развитием технологий,

такие системы мониторинга IoT находят широкие возможности для применения в таких областях, как умные города, умное производство, управление энергией и мониторинг здоровья, что открывает большие перспективы для улучшения отраслевых процессов, повышения эффективности и снижения операционных затрат. Эта система мониторинга на основе Интернета вещей показана на рисунке 4-3.



Рис 4-3 Система мониторинга Интернета вещей

Формула проверки смарт - контрактов в технологии блокчейна и Интернета вещей:

$$Verify(T_i) \begin{cases} 1 & \text{if } \sum T_i \leq C_{line} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4,4)$$

T_i -Это торговля электроэнергией; C_{line} -Это ограничение пропускной способности линии.

Эта формула используется для проверки безопасности децентрализованных транзакций электроэнергии.

Блокчейн может использоваться для безопасной связи в распределительной сети со следующей моделью передачи:

$$C_{blockchain} = \frac{P_{data}}{R_{block}} \quad (4,5)$$

$C_{blockchain}$ -Это стоимость передачи данных в блокчейн – системе; P_{data} -Это нагрузка передачи данных; R_{block} -Это скорость обработки каждого блока блокчейна.

Технология блокчейна используется для обеспечения безопасности передачи данных и транзакций электроэнергии в распределительной сети, а технология IoT используется для мониторинга данных в реальном времени, Формула проверки данных блокчейна:

$$H_{block} = SHA256(H_{prev} + Data + Noce) \quad (4,6)$$

H_{block} -Это хэш текущего блока; H_{prev} -Это хэш предыдущего блока; $Data$ -Это данные, содержащиеся в блоке; $Noce$ -Это случайное число, используемое для обеспечения уникальности каждого хеша блока.

Модель задержки передачи данных узла IoT:

$$Dealy_{IoT} = \sum_{i=1}^n T_{send,i} + T_{receive,i} \quad (4,7)$$

$Dealy_{IoT}$ -Это задержка передачи данных с устройств Интернета вещей; T_{send} и $T_{receive}$ -Это задержка отправки и приема узлов.

4.3.1 Применение технологии блокчейна и Интернета вещей

С быстрым развитием интеллектуальных сетей традиционные энергосистемы постепенно переходят к цифровизации, автоматизации и интеллекту. В частности, сочетание блокчейн - технологий и технологий IoT привело к революционным изменениям в энергосистемах, особенно в работе распределительных сетей и управлении ими. Сочетание этих двух технологий может не только повысить безопасность, прозрачность и эффективность энергосистем, но и эффективно решить некоторые ключевые проблемы, с которыми сталкиваются традиционные энергосистемы, такие как управление данными, обработка транзакций, безопасность и мониторинг оборудования.

Технология Интернета вещей (IoT) - это подключение физических устройств и датчиков через Интернет, использование обмена данными и обработки для интеллектуального соединения между устройствами.

Применение Интернета вещей в распределительных сетях показано в таблицах 4 - 2 ниже.

Таблица 4-2 Применение Интернета вещей в распределительных сетях

Область	Описание технологии	Эффекты применения
Умные счетчики	Использование технологии Интернета вещей для установки умных счетчиков, которые собирают данные о потреблении электроэнергии в реальном времени и передают их в центральную систему для анализа.	Повышение точности и актуальности измерения потребления электроэнергии, оптимизация распределения ресурсов, снижение ошибок, связанных с ручным учетом.
Обнаружение и предупреждение о неисправностях	Установка датчиков Интернета вещей для мониторинга состояния распределительной сети (например, напряжение, ток, температура) и своевременное предупреждение о неисправностях.	Повышение точности и своевременности обнаружения неисправностей, снижение времени простоя и повреждений оборудования, повышение надежности сети.
Мониторинг состояния оборудования	Установка датчиков на оборудование распределительной сети для мониторинга его состояния (температура, вибрация, давление и т.д.).	Увеличение срока службы оборудования, снижение числа поломок, сокращение затрат на техническое обслуживание.

Область	Описание технологии	Эффекты применения
Интеллектуальное распределение и оптимизация	Быстрое распределение электроэнергии и оптимизация сети с помощью данных Интернета вещей	Повышение эффективности работы сети, снижение потерь энергии, оптимизация распределения ресурсов.
Мониторинг качества электроэнергии	Установка датчиков для мониторинга качества электроэнергии в реальном времени, включая колебания напряжения, гармоники и другие параметры.	Повышение качества электроэнергии, снижение повреждений оборудования, повышение стабильности поставок.
Удаленное обслуживание и мониторинг	Использование платформ Интернета вещей для удаленного контроля и управления, что позволяет отслеживать состояние оборудования и диагностировать неисправности.	Повышение эффективности обслуживания, сокращение времени для диагностики и ремонта, снижение затрат на рабочую силу.
Управление подключением распределенной энергетики	Использование технологий IoT для управления подключением и эксплуатацией распределенных энергетических систем к энергосистеме	Оптимизация подключения распределенной энергии для повышения энергоэффективности

В распределительной сети применение технологий IoT имеет большое значение, главным образом в следующих областях:

1) Сбор и мониторинг данных в режиме реального времени: технология IoT может собирать ключевую информацию, такую как напряжение, ток и мощность в режиме реального времени, путем установки датчиков, интеллектуальных счетчиков и другого оборудования во всех звеньях распределительной сети. Эти данные могут быть быстро переданы в центральную систему управления, которая помогает диспетчерам сети контролировать рабочее состояние сети в режиме реального времени и быстро реагировать.

2) Интеллектуальное планирование и управление нагрузкой: сбор данных в режиме реального времени с помощью технологии IoT позволяет сети динамически планировать при больших колебаниях нагрузки. Анализируя данные о потреблении электроэнергии из разных регионов, сеть может достичь точного баланса нагрузки, избежать возникновения перегрузок и повысить стабильность сети.

3) Мониторинг здоровья оборудования и прогнозное обслуживание: Благодаря непрерывному мониторингу устройств IoT можно в режиме реального времени контролировать состояние всех видов оборудования в распределительной сети и своевременно обнаруживать потенциальные неисправности оборудования. Таким образом, оператор сети может осуществлять прогнозируемое техническое обслуживание, уменьшать риск отключения электроэнергии и затраты на техническое обслуживание, связанные с неисправностью оборудования, и повышать надежность работы сети.

4) Ответ на спрос и управление энергопотреблением: в системах реагирования на спрос (DR) технология IoT взаимодействует с пользователями через интеллектуальные счетчики электроэнергии, отслеживая потребности пользователей в электроэнергии в режиме реального

времени. В часы пик нагрузки на сеть оператор сети может отправлять энергосберегающие сигналы пользователям через платформу IoT, а пользователь может корректировать свое поведение потребления электроэнергии в соответствии с колебаниями цен на электроэнергию, тем самым обеспечивая гибкое регулирование нагрузки на сеть.

Технология блокчейна - это технология распределенного реестра, которая характеризуется децентрализацией, необратимостью и прозрачностью. Эти особенности дают блокчейну огромный потенциал для применения в энергосистемах, особенно в торговле электроэнергией и управлении данными. Применение блокчейна в распределительной сети показано в таблице 4 - 3 ниже.

Таблица 4-3 Применение блокчейна в распределительной сети

Область применения	Описание технологии	Эффекты применения
Управление торговлей электроэнергией	Использование технологии блокчейн для децентрализованного управления торговлей электроэнергией, обеспечивая прозрачность и неизменность транзакций.	Повышение безопасности, прозрачности и доверия в сделках, снижение случаев мошенничества и ошибок, упрощение процесса торговли.
Умные контракты	Использование умных контрактов на платформе блокчейн для автоматического исполнения сделок по торговле электроэнергией, оплате и расчетам.	Повышение эффективности торговли и сокращение вмешательства человека

Область применения	Описание технологии	Эффекты применения
Управление активами электроэнергетики	Использование блокчейн для записи информации о праве собственности, местоположении, состоянии и истории обслуживания электроэнергетического оборудования.	Повышение прозрачности и точности управления активами, снижение риска потерь и ошибок при управлении.
Отслеживание цепочки поставок электроэнергии	Использование блокчейн для отслеживания всего процесса поставки электроэнергии от производства до распределения, что обеспечивает прозрачность цепочки поставок.	Повышение надежности и прозрачности цепочки поставок, снижение рисков мошенничества и ошибок, оптимизация распределения ресурсов.
Регулирование рынка электроэнергии	Создание децентрализованного рынка электроэнергии на базе блокчейн, где происходит мониторинг всех торговых операций, что снижает человеческое вмешательство.	Повышение прозрачности и справедливости рынка, снижение рисков манипуляций на рынке, улучшение ликвидности.
Управление распределенной энергетикой	Использование блокчейн для управления подключением и распределением распределенных источников энергии, таких как солнечные и ветряные станции.	Оптимизация управления распределенной энергией и повышение ее эффективности

Применение технологии блокчейн в распределительных сетях в основном проявляется в следующих аспектах:

1) Торговля электроэнергией и расчеты: блокчейн может автоматически выполнять транзакции и расчеты по электроэнергии с помощью смарт - контрактов, тем самым уменьшая зависимость от посредников и повышая прозрачность и эффективность транзакций. С помощью блокчейна торговля электроэнергией может напрямую производить одноранговые расчеты, достигая мгновенной ликвидации, уменьшая расходы на трения в транзакциях и повышая ликвидность рынка.

2) Децентрализованное управление данными: данные в распределительных сетях обычно децентрализованы и огромны, в то время как технология блокчейна обеспечивает подлинность, прозрачность и необратимость всех данных с помощью децентрализованной системы распределенных реестров. Это не только повысит безопасность данных во время торговли электроэнергией, но и поможет обеспечить надежное отслеживание данных о работе энергосистемы и предотвратить потерю или фальсификацию данных.

3) Отслеживание и сертификация энергетических активов: в цепочке поставок электроэнергии технология блокчейна может обеспечить ретроспективность таких активов, как оборудование, источники энергии и т.д. Информация о каждой транзакции, тестировании, обслуживании сетевого оборудования, электростанций и других объектов может быть записана в блокчейне для обеспечения точности и полноты информации. Это играет важную роль в повышении безопасности и надежности энергосистемы.

4) Интеллектуальные контракты и автоматизированное управление: умные контракты в блокчейне могут автоматически выполнять соответствующие действия на заранее определенных условиях, таких как создание механизма автоматического расчета между поставщиками и

потребителями электроэнергии, планирование энергетических ресурсов, корректировка нагрузки на сеть и т. Д. Это автоматизированное управление значительно сокращает вмешательство человека и повышает эффективность работы сети.

Сочетание технологий IoT и блокчейна может лучше способствовать интеллектуальному и цифровому преобразованию распределительных сетей. Сочетание этих двух формирует модель «интеллектуального восприятия + децентрализованного управления», которая может повысить общую эффективность работы сети во многих аспектах. Технология IoT предоставляет сети точные данные о состоянии устройства и работе в режиме реального времени, в то время как технология блокчейна обеспечивает безопасное хранение и прозрачный обмен этими данными. Данные, собранные с помощью технологии IoT, могут передаваться в режиме реального времени в сети блокчейна для обработки и хранения, обеспечивая обмен данными и прозрачность между несколькими участниками. Смарт - контракты в блокчейне могут автоматически выполнять транзакции электроэнергии и инструкции по планированию устройств в соответствии с потребностями в электроэнергии, собранными устройствами IoT, и состоянием работы устройства. Например, при увеличении спроса на электроэнергию в определенной области смарт - контракты могут автоматически выполнять операции по планированию электроэнергии, корректировать распределение нагрузки в сети и обеспечивать стабильность и эффективность электроснабжения.

Технология IoT обеспечивает данные о здоровье устройства, постоянно контролируя состояние устройства в сети, а технология блокчейна обеспечивает безопасное и надежное хранение этих данных. Это позволяет управляющим сетями принимать соответствующие меры по техническому обслуживанию в зависимости от состояния оборудования в режиме реального времени. В то же время смарт - контракты могут автоматизировать

процессы технического обслуживания и восстановления, снижая затраты на вмешательство человека и управление.

В управлении цепочкой поставок электроэнергии технология блокчейна обеспечивает прозрачность и прослеживаемость каждого звена через распределенные реестры, от производства электроэнергии, передачи до распределения, и операции каждого звена регистрируются и отслеживаются. Благодаря мониторингу в режиме реального времени и сбору данных технология IoT еще больше повышает эффективность и точность управления цепочкой поставок. Сочетание этих двух факторов может эффективно предотвратить попадание поддельного и некачественного оборудования в сеть и обеспечить надежность источника и распределения электроэнергии.

Технологии блокчейна и IoT обеспечивают мощную поддержку интеллектуальных обновлений дистрибьюторских сетей. Благодаря синергии этих двух технологий распределительные сети смогут лучше решать проблемы будущих энергосистем и обеспечивать эффективное, безопасное и интеллектуальное управление энергией.

4.4 Выводы

Цифровизация распределительных сетей сталкивается с проблемами, такими как безопасность данных, проблемы совместимости систем и нехватка квалифицированных специалистов, но эти вызовы можно решить с помощью технологий, таких как блокчейн и Интернет вещей (IoT). Внедрение IoT позволяет улучшить мониторинг состояния сети, управление нагрузкой и прогнозное обслуживание, а блокчейн обеспечивает прозрачность, безопасность и автоматизацию процессов торговли электроэнергией и управления данными. Синергия этих технологий способствует созданию более эффективных, безопасных и интеллектуальных распределительных сетей, улучшая управление энергией и повышая надежность и устойчивость всей системы.

5 УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.

С ростом глобального спроса на энергию и ускорением процесса урбанизации, а также с диверсификацией спроса на электроэнергию, модернизация и реконструкция сетевой инфраструктуры становятся все более актуальными. Электрическая сеть является фундаментальной системой передачи энергии в современном обществе, и её стабильность напрямую влияет на нормальное функционирование социально-экономической деятельности. Таким образом, проект реконструкции сетевой инфраструктуры направлен не только на удовлетворение текущих потребностей в электроэнергии, но и на обеспечение будущих потребностей в широком доступе к возобновляемым источникам энергии, продвижение электромобилей и интеллектуальное развитие общества.

Реконструкция сетевой инфраструктуры представляет собой масштабный и сложный системный проект, включающий планирование, проектирование, строительство, установку, ввод в эксплуатацию, приемку, эксплуатацию и множество других аспектов. Каждый этап должен быть тщательно спланирован и эффективно реализован, чтобы обеспечить своевременное и качественное завершение проекта. В данной главе будут подробно рассмотрены ключевые элементы управления проектами по восстановлению сетевой инфраструктуры, с акцентом на планирование проектов, анализ потребностей, управление ресурсами, контроль рисков и обеспечение качества. Ключевое управление восстановлением сетевой инфраструктуры показано в таблице 5 - 1 ниже.

Таблица 5-1 Ключевые управленческие шаги по восстановлению
сетевой инфраструктуры

Этап управления	Описание	Ключевая цель	Методы реализации
Оценка потребностей и планирование	Подробная оценка состояния существующей электросети, определение необходимости реконструкции и разработка плана и целей восстановления.	Определение конкретных потребностей и приоритетов реконструкции.	Проведение обследования на месте, сбор и анализ данных, разработка полного плана реконструкции.
Привлечение средств и ресурсов	Привлечение необходимых средств и ресурсов для реализации проекта восстановления.	Обеспечение достаточного финансирования и ресурсов для проекта.	Составление детализированного бюджета, подача заявок на средства от правительства или инвесторов, оптимизация распределения ресурсов.

Продолжение табл. 5-1

Этап управления	Описание	Ключевая цель	Методы реализации
Проектирование и выбор технических решений	Выбор подходящих технических решений для строительства электросети, включая выбор нового оборудования и планирование технологического процесса.	Повышение надежности сети, обеспечение долгосрочной эффективности технического решения.	Сравнение различных технических решений, выбор наиболее подходящего, проведение анализа и проверки возможных вариантов.
План реализации проекта и управление временем	Разработка детализированного плана реализации проекта, включая задачи, сроки и контроль за выполнением.	Обеспечение своевременной и качественной реализации проекта, контроль за сроками и бюджетом.	Разработка диаграммы Ганта, установление контрольных показателей для завершения проекта
Управление цепочкой поставок и логистикой	Управление поставками, обеспечение своевременного приобретения и доставки оборудования и материалов.	Обеспечение своевременной поставки оборудования и материалов, предотвращение задержек в проекте.	Оптимизация логистического плана для обеспечения своевременной доставки ключевых материалов

Этап управления	Описание	Ключевая цель	Методы реализации
Управление строительством и установкой	Управление процессом строительства, обеспечение качества и безопасности строительства, правильная организация рабочих, оборудования и рабочих процессов.	Обеспечение безопасного и качественного выполнения строительных работ в сроки.	Разработка строительного плана, организация контроля на месте, строгое соблюдение стандартов качества и безопасности, обеспечение бесперебойного строительства.
Контроль качества и приемка	Проведение контроля качества выполненных работ по восстановлению электросети, обеспечение выполнения всех стандартов и требований для приемки.	Обеспечение соответствия электросети нормативам, выполнение работ в соответствии с качественными стандартами.	Разработка плана контроля качества, проведение промежуточных проверок и окончательной приемки, обеспечение соответствия каждого этапа стандартам качества.

Продолжение табл. 5-1

Этап управления	Описание	Ключевая цель	Методы реализации
Управление рисками и разработка плана действий в чрезвычайных ситуациях	Идентификация и оценка возможных рисков в проекте, разработка планов действий для быстрого реагирования на непредвиденные проблемы и вызовы.	Снижение рисков проекта, обеспечение быстрого и эффективного решения возникающих проблем.	Разработка плана управления рисками, проведение оценки рисков, подготовка плана действий в чрезвычайных ситуациях, регулярный обзор и оценка рисков.
Управление коммуникациями и координацией	Обеспечение эффективной коммуникации и координации между командой проекта, различными департаментами и заинтересованными сторонами.	Обеспечение гладкого хода проекта, эффективное сотрудничество всех сторон.	Создание платформы для коммуникации, регулярные совещания, своевременное информирование о ходе проекта, обеспечение прозрачности информации.

При реконструкции сетевой инфраструктуры оптимальное распределение ресурсов имеет решающее значение и может быть достигнуто с помощью модели оптимизации ресурсов в управлении проектом:

$$\min \sum_{i=1}^n (R_i \cdot T_i) \quad (5,1)$$

R_i - Это расход ресурсов для миссии I ; T_i -Это срок выполнения первого задания.

5.1 Планирование проектов и анализ потребностей.

Для мониторинга потребления электроэнергии и других показателей требуется, чтобы энергетическая сеть обладала повышенной способностью к реагированию и интеллектуальными возможностями планирования. Анализ спроса должен учитывать стимулирующую роль интеллектуального оборудования в потреблении энергии, особенно в периоды пиковой нагрузки, и исследовать способы использования интеллектуальных технологий для балансирования спроса и предложения, повышения стабильности и эффективности работы энергосистемы.

Полная оценка существующих объектов энергоснабжения играет ключевую роль в планировании проектов восстановления инфраструктуры электросетей. Основная задача этой стадии заключается в определении текущего состояния функционирования существующей энергосистемы, выявлении её уязвимостей и проблем, а также в обеспечении научной базы для последующей программы восстановления.

Сетевое оборудование (например, подстанции, распределительные линии, кабели, коммутационное оборудование и т.д.) является фундаментом для обеспечения надёжной работы сети. Старение, повреждения и техническая устарелость существующих объектов могут привести к неэффективной или даже неработоспособной работе энергосистемы. Благодаря детальному осмотру существующего оборудования команда проекта может полностью оценить его работоспособность, оставшийся срок службы и потенциальные риски безопасности. Эта оценка может быть

выполнена с помощью регулярного обнаружения оборудования, анализа неисправностей, мониторинга температуры, вибрации и других средств, обеспечивая важную основу для обновления, реконструкции или модернизации оборудования.

Анализ мощности и пропускной способности существующих сетей является основой для оценки способности объектов сети удовлетворить будущие потребности. В ходе этого процесса команда управления проектом должна провести всестороннюю оценку распределительной мощности существующей сети, трансформаторной мощности и распределения нагрузки на линию. Анализируя эффективность планирования, передачи и распределения нагрузки на существующую энергосистему, команда может определить, есть ли узкие места в существующей энергосистеме, и определить, в каких областях сетевые объекты срочно нуждаются в улучшении и расширении. Кроме того, анализ пропускной способности нагрузки может помочь команде выявить потенциальные слабые места в системе и обеспечить основу для последующей реконструкции сети.

Безопасность и стабильность электросетей являются приоритетными аспектами при оценке сетевых объектов. Команда проекта должна оценить работу существующих сетей в чрезвычайных ситуациях, таких как экстремальные погодные условия и неисправность оборудования. Устойчивость энергосистем имеет решающее значение, особенно в условиях все более частых экстремальных климатических изменений и стихийных бедствий. Анализируя безопасность существующих объектов, команда должна определить те звенья сети, которые подвержены сбоям или нестабильной работе, и предложить соответствующие улучшения. Например, некоторые важные области могут потребовать модернизации до ветростойкой и сейсмостойкой инфраструктуры или увеличения избыточного оборудования для повышения отказоустойчивости системы.

С непрерывным развитием интеллектуальных сетевых технологий уровень автоматизации и интеллекта энергосистемы стал важным критерием

для определения современности сети. Необходимо провести всестороннюю оценку степени автоматизации существующих сетей, возможностей мониторинга в режиме реального времени, скорости диагностики и устранения неполадок, информационно-коммуникационных технологий и т.д. Если уровень интеллекта существующих сетей низок, это может привести к задержкам в мониторинге состояния энергосистемы и неспособности своевременно выявлять и решать проблемы. Поэтому команда проекта должна оценить автоматизированные системы существующих сетей, определить, могут ли они адаптироваться к будущим техническим требованиям, и разработать соответствующие интеллектуальные стратегии модернизации.

5.1.1 Проектирование.

Этап планирования и проектирования играет ключевую роль в проекте реконструкции сетевой инфраструктуры, охватывая детальное проектирование программы реконструкции энергосистемы, определение технических стандартов, выбор оборудования, планирование цикла строительства и многое другое. Научно обоснованный и рациональный дизайн не только повышает эффективность и стабильность работы энергосистемы, но и способствует снижению эксплуатационных расходов и рисков на последующих этапах.

1) Определение программы восстановления электросетей

При разработке программ восстановления энергосистемы необходимо тщательно учитывать будущие потребности в развитии энергосистемы, результаты оценки существующих объектов и техническую осуществимость. Определяя план реконструкции, команда управления проектом должна выбрать соответствующий технологический путь, опираясь на передовые концепции строительства современной энергосистемы. Например, учитывая перспективы крупномасштабного доступа к возобновляемым источникам энергии, программы реконструкции должны включать в себя эффективные распределенные энергосистемы, гибкие точки доступа к накопителям

энергии, интеллектуальные диспетчерские системы и многое другое. В то же время, в зависимости от размера города, географических характеристик и спроса на электроэнергию, необходимо разработать гибкую структуру энергосистемы, способную адаптироваться к будущим изменениям спроса.

2) Выбор оборудования и технические стандарты

Выбор оборудования имеет решающее значение в процессе восстановления энергосистемы. Команда проекта должна выбрать соответствующее оборудование, исходя из требований к нагрузке на сеть, типа объекта и тенденций технического развития. Например, для подстанций можно выбрать высокоэффективное, интеллектуальное оборудование для повышения уровня автоматизации и эффективности работы сети; Для распределительных линий следует выбирать подходящие кабели и оборудование в соответствии с требованиями нагрузки, географическими условиями, воздействием окружающей среды и другими факторами. В то же время, проектная команда должна установить строгие технические стандарты, чтобы гарантировать, что качество и производительность выбранного оборудования соответствуют международным стандартам и удовлетворяют долгосрочные и стабильные эксплуатационные потребности сети.

3) Цикл строительства и бюджетное планирование

Реконструкция сетевой инфраструктуры, как правило, является долгосрочным проектом, поэтому разумное планирование цикла строительства и бюджета имеет решающее значение. Команда проекта должна установить четкие сроки и поэтапные цели, основанные на планировании и проектировании, чтобы обеспечить своевременное завершение проекта. При планировании бюджета следует в полной мере учитывать потребности в финансировании закупок оборудования, вводимых ресурсов персонала, расходов на строительство, технической поддержки, непредвиденных расходов и т.д., а также обеспечивать достаточный резерв средств для покрытия непредвиденных рисков в рамках проекта. Подробное

управление бюджетом и временем позволяет избежать таких проблем, как нехватка средств или задержки в осуществлении проектов.

Этапы планирования и анализа потребностей в рамках проекта восстановления сетевой инфраструктуры заложили прочную основу для успешного осуществления проекта. На этом этапе проектная группа должна обеспечить ясность, осуществимость и реализацию целей проекта посредством точного прогнозирования потребностей, оценки существующих объектов, научного проектирования и разумного бюджетного планирования. Только на основе детального планирования проекты восстановления сетевой инфраструктуры могут эффективно реагировать на все более сложные потребности и проблемы в электроэнергии и обеспечивать безопасную, надежную, интеллектуальную и эффективную работу энергосистемы.

5.2 Управление рисками и планирование на случай непредвиденных обстоятельств.

В проектах восстановления инфраструктуры электросети управление рисками и разработка планов действий в чрезвычайных ситуациях имеют решающее значение для обеспечения бесперебойного осуществления проектов. Строительство электросетей связано с многочисленными техническими, финансовыми, правовыми и нормативными проблемами, а также с внешними условиями, поэтому в процессе реализации они сталкиваются с различными типами рисков. Для обеспечения своевременного и качественного завершения проектов особенно важно выявлять, оценивать, управлять и реагировать на эти риски. В то же время, чтобы иметь возможность эффективно реагировать на чрезвычайные ситуации, своевременный запуск плана действий в чрезвычайных ситуациях является ключом к снижению негативных последствий проекта.

5.2.1 Выявление и оценка рисков.

В процессе реализации проекта по строительству электросети необходимо, прежде всего, выявить потенциальные риски и оценить их возможное воздействие на проект. Общие источники рисков охватывают

множество аспектов, включая технологию, рынок, финансы, право, окружающую среду и общество. Для обеспечения успешной реализации проекта первым шагом в управлении рисками является детальная идентификация и оценка.

1) Технологические риски

Проекты по строительству электросетей включают в себя множество технологических аспектов, таких как интеллектуальные сети и новые технологии, например, распределенная генерация электроэнергии, которые могут содержать неопределенности, способные привести к задержкам или дополнительным расходам. Чтобы справиться с технологическими рисками, проект должен провести полное технико-экономическое обоснование на начальном этапе, провести проверку и тестирование технического решения и выбрать зрелый и стабильный технологический маршрут.

2) Рыночные риски

Факторы, такие как политика, регулирование и волатильность рыночного спроса на рынке электроэнергии, также могут создавать рыночные риски. Например, изменения цен на электроэнергию могут directly affects ировать экономическую отдачу проекта, в то время как изменения в энергетической политике правительства могут привести к изменению графика проекта. Для минимизации рыночных рисков проектная команда должна поддерживать тесные контакты с политиками и участниками рынка, своевременно получать актуальную информацию о политике и гибко корректировать планы проекта.

3) Финансовый риск

Проекты по восстановлению электросетей обычно требуют значительных финансовых вложений, и финансовые риски играют важную роль в общем управлении проектом. Недостаток средств или перерасход бюджета по проектам могут негативно сказаться на успешном осуществлении проектов. Для эффективного контроля финансовых рисков

проектная группа должна осуществлять точное бюджетное планирование до начала проекта и обеспечивать надлежащую финансовую безопасность на всех этапах проекта.

4) Правовые и нормативные риски

Правовые и нормативные риски в основном связаны с различными правовыми вопросами, связанными с проектами, такими как экспроприация земли, охрана окружающей среды, безопасность труда и т.д. Команда проекта должна убедиться, что все этапы проекта соответствуют соответствующим законам и правилам, избегая остановки проекта или штрафов, вызванных юридическими спорами.

5) Экологические риски

При строительстве электросетей экологические риски обычно возникают из-за непредсказуемых стихийных бедствий, таких как экстремальные погодные условия, наводнения, землетрясения и т.д. Такие риски могут привести к серьезным последствиям для строительного проекта и даже к повреждению оборудования. Проектная группа должна провести детальную оценку природной среды объекта строительства и учитывать устойчивость к стихийным бедствиям на этапе проектирования, чтобы уменьшить воздействие природной среды.

б) Социальные риски

Строительство распределительной сети может быть связано с экспроприацией земли, корректировкой регионального планирования и другими вопросами, которые могут вызвать общественное недовольство или протесты, что, в свою очередь, повлияет на успешное продвижение проекта. Чтобы уменьшить социальные риски, проектная команда должна быть полностью коммуницирована с местными органами власти, жителями и общественностью, чтобы получить их понимание и поддержку.

5.2.2 Разработка планов действий в чрезвычайных ситуациях.

Планирование на случай непредвиденных обстоятельств играет ключевую роль в реагировании на чрезвычайные ситуации и управлении непредвиденными рисками, что позволяет команде проекта оперативно реагировать на подобные вызовы. Эффективный план действий в чрезвычайных ситуациях должен включать следующие ключевые элементы:

1) Механизмы реагирования на чрезвычайные ситуации

Механизмы реагирования на чрезвычайные ситуации обеспечивают быстрое развертывание в кризисных ситуациях и мобилизацию соответствующих ресурсов. Четкое определение системы командования в чрезвычайных ситуациях и распределение обязанностей является ключевым фактором для обеспечения оперативности и эффективности реагирования.

2) План действий на случай неисправности оборудования

Отказ сетевого оборудования может привести к перебоям в электроснабжении, что повлияет на ход проекта и стабильность сети. Поэтому необходимо разработать план действий в чрезвычайных ситуациях в случае неисправности оборудования, включая процесс аварийного реагирования после неисправности, развертывание резервного оборудования, план технического обслуживания и т.д.

3) План действий в чрезвычайных ситуациях при стихийных бедствиях

Последствия стихийных бедствий для строительства и эксплуатации электросетей могут быть катастрофическими. План действий в чрезвычайных ситуациях должен включать меры по восстановлению после стихийных бедствий, обеспечение безопасности персонала и распределение материалов. Важно обеспечить устойчивость электросетей, особенно в случае таких бедствий, как экстремальные погодные условия или землетрясения.

4) План управления коммуникациями и информацией

В кризисных ситуациях проектная команда нуждается в эффективных механизмах связи и управления информацией. В планах действий на случай

непредвиденных обстоятельств должны быть четко определены пути и обязанности в отношении потока информации, чтобы все заинтересованные стороны могли своевременно получать информацию о происшествии и принимать решения на основе обновленной информации.

В рамках проекта восстановления инфраструктуры электросети управление рисками и эффективное осуществление плана действий в чрезвычайных ситуациях являются краеугольным камнем успешного завершения проекта. Благодаря полному раннему выявлению и оценке рисков и разработке научно обоснованных стратегий реагирования на риски команда проекта может уменьшить влияние факторов неопределенности на проект и обеспечить плавный ход проекта в соответствии с планом. В то же время хорошо разработанный план действий в чрезвычайных ситуациях может быстро реагировать на чрезвычайные ситуации, гарантируя, что проект сможет плавно преодолеть кризис и в конечном итоге достичь желаемых целей.

5.3 Распределение ресурсов и управление ими.

В проектах по восстановлению сетевой инфраструктуры распределение и управление ресурсами играют ключевую роль в обеспечении бесперебойного и успешного завершения работ. Строительство электросети требует не только значительного количества материалов, оборудования и финансовых средств, но и обширного технического персонала и управленческой команды. Эффективное распределение и использование ресурсов, а также максимизация их отдачи, являются критически важными для управления проектами. Рациональное распределение ресурсов и их эффективное управление гарантируют своевременную, бюджетную и качественную доставку проекта энергосистемы, повышая при этом качество и эффективность проекта в целом.

Проекты по строительству электросетей требуют поддержки из множества источников. Для эффективного управления этими ресурсами необходимо сначала классифицировать необходимые для проектов ресурсы и

научно обоснованно прогнозировать потребности в каждом из них. Это включает в себя детальное планирование ресурсов в различных сферах, включая материалы, оборудование, финансирование, человеческие ресурсы и технологии.

В ходе строительства энергосистемы требуется значительное количество инфраструктурного оборудования, в том числе кабели, трансформаторы, коммутационное оборудование и т.д. Поскольку это оборудование обычно крупномасштабное, дорогостоящее и требует длительного времени на закупку, необходимо заблаговременное планирование для обеспечения своевременного приобретения необходимого оборудования на каждом этапе. Команда проекта должна обеспечить отсутствие дефицита или излишков материалов за счет точного прогнозирования потребностей.

Реализация проекта электросети требует участия специалистов различного профиля, включая технических рабочих, инженеров, дизайнеров и руководителей проектов. Потребности в человеческих ресурсах варьируются на каждом этапе осуществления проекта, что требует гибкого распределения персонала для обеспечения того, чтобы на каждом этапе были задействованы соответствующие специалисты. Кроме того, необходимо уделить внимание обучению персонала и обеспечению безопасности, чтобы строители обладали необходимыми навыками и были осведомлены о мерах безопасности.

Финансирование является одним из наиболее важных ресурсов в проекте строительства энергосистемы. Финансовые потребности связаны с закупкой оборудования, строительством, внедрением технологий и многими другими аспектами, поэтому финансовые планы и бюджеты должны соответствовать конкретным требованиям проекта. Управление финансами должно обеспечивать достаточную финансовую безопасность проекта на всех этапах, избегая перерасхода или расточительства.

Строительство энергосистемы должно опираться на передовые технологии, такие как интеллектуальные сетевые технологии, технологии автоматического управления и т.д. Таким образом, рациональное распределение технических ресурсов, чтобы обеспечить достаточную техническую поддержку команды и решение технических проблем, возникающих в ходе реализации проекта, является ключевым фактором успешной реализации проекта.

5.3.1 Оптимизация распределения ресурсов.

В процессе распределения ресурсов оптимизация управления выступает ключевым инструментом для обеспечения эффективного функционирования проекта. Эффективное распределение и использование ресурсов способствует сокращению объема отходов и повышению общей эффективности работы.

Усовершенствованное управление материальными ресурсами и оборудованием является фундаментом для оптимизации процессов. В ходе строительства электросети использование материалов может отслеживаться в режиме реального времени с помощью систем управления информацией, что помогает избежать чрезмерных закупок или избыточных запасов. Команда проекта должна рационально организовать закупку, распределение и хранение материалов в соответствии с планом строительства, чтобы обеспечить оптимальное использование каждого ресурса.

На различных этапах строительства энергосистемы потребности в рабочей силе варьируются, поэтому штатное расписание необходимо динамически корректировать с учетом хода реализации проекта. Применение программного обеспечения для управления проектами позволяет руководителям отслеживать распределение рабочих мест в режиме реального времени, рационально распределять рабочие задания и избегать избыточной или недостаточной рабочей силы. Кроме того, руководители проектов должны регулярно обучать персонал, повышать технический уровень и осведомленность о безопасности.

Управление финансами является одной из ключевых задач проекта электросети. Создание точной бюджетной системы позволяет проектной группе рационально распределить каждую сумму расходов. В то же время, проект должен установить механизм мониторинга средств, отслеживать использование средств в режиме реального времени, чтобы убедиться в соблюдении бюджета и предотвратить нецелевое расходование средств.

Технологические требования и сложность проекта энергосистемы, а также интеграция технических ресурсов могут обеспечить успешное осуществление проекта. Чтобы оптимизировать распределение технических ресурсов, проектная команда должна поддерживать тесное сотрудничество с поставщиками технологий, выбирать зрелые и стабильные технологические решения и объединять экспертов в различных технологических областях, чтобы сформировать эффективную команду технического сотрудничества.

5.3.2 Проблемы и решения в области управления ресурсами.

В процессе управления ресурсами возникают многочисленные проблемы, особенно когда речь идет о крупномасштабных строительных проектах, и их решение имеет решающее значение для обеспечения успешного завершения проектов.

1) Координация ресурсов затруднена

Проекты в области энергосистемы обычно включают в себя несколько поставщиков, подрядчиков и партнеров, и координация ресурсов между сторонами является сложной задачей в управлении. При распределении ресурсов между сторонами могут возникать задержки или конфликты, что влияет на успешное осуществление проектов.

Решение: Проектная группа должна создать централизованную платформу управления ресурсами, которая обеспечит обмен и обновление в режиме реального времени всех потребностей, распределения и использования ресурсов. В то же время мы будем укреплять связь и координацию между командами проекта, проводить регулярные совещания

по распределению ресурсов и своевременно решать проблемы с ресурсами и планированием.

2) Расточительное или неэффективное использование ресурсов

В некоторых случаях проекты могут сталкиваться с риском растраты ресурсов, например, закупки избыточного оборудования или простоя людских ресурсов. Эти отходы могут привести к увеличению стоимости проекта и повлиять на его ход.

Решение: Используйте концепцию бережливого управления, заранее подготовьте прогнозы потребностей в ресурсах, чтобы обеспечить оптимальное использование каждого ресурса. Избегать чрезмерных закупок, простоя или расточительного расходования ресурсов посредством мониторинга и корректировки в режиме реального времени, обеспечивая при этом, чтобы строительный персонал распределялся по требованию.

3) Вопросы управления цепочками поставок

Управление производственно-сбытовой цепочкой в проектах энергоснабжения часто сталкивается с внешними факторами, такими как задержки поставок поставщиками, транспортные барьеры и т.д., которые могут привести к нехватке оборудования или задержкам в строительстве.

Решение: Налаживание долгосрочных партнерских отношений со стабильными поставщиками и заблаговременное планирование цепочки поставок. Повышение прозрачности цепочки поставок путем внедрения системы управления цепочкой поставок (SCM) для обеспечения своевременного поступления материалов.

Рациональное распределение и управление ресурсами являются ключевыми задачами в проектах по восстановлению инфраструктуры электросети. Благодаря научной классификации ресурсов и анализу потребностей, рациональному распределению и оптимизации ресурсов можно эффективно повысить эффективность и качество осуществления проектов. В процессе реализации проекта рациональное распределение

материальных, технических, людских, финансовых и технических ресурсов позволяет минимизировать отходы и повысить коэффициент использования ресурсов. Перед лицом проблем в управлении ресурсами проектная команда должна принять эффективные решения для обеспечения бесперебойного продвижения проекта, а также эффективного и экономичного использования ресурсов на всех этапах посредством усовершенствованного управления, мониторинга и координации в режиме реального времени, чтобы заложить основу для строительства и устойчивого развития сетевой инфраструктуры.

5.4 Контроль за прогрессом и управление качеством

Контроль за ходом работ и управление качеством в рамках проекта по восстановлению сетевой инфраструктуры являются ключевыми задачами в сфере управления проектом. Научный мониторинг прогресса обеспечивает своевременное завершение проекта, а строгий контроль качества гарантирует, что сетевые объекты соответствуют требованиям для обеспечения долгосрочной стабильной работы.

Контроль за ходом проекта предполагает не только разработку обоснованного плана, но и постоянный мониторинг каждого этапа реализации проекта в режиме реального времени. Команда проекта должна регулярно оценивать фактический прогресс в соответствии с графиком и своевременно корректировать план, чтобы обеспечить бесперебойное продвижение строительства. Управление качеством осуществляется на всех этапах проекта. На этапе проектирования необходимо обеспечить соответствие программы установленным стандартам и нормам; На строительном этапе требуется строгий контроль качества для обеспечения соответствия каждого проекта стандартам; После ввода в эксплуатацию и установки оборудования проводятся тщательные испытания для обеспечения стабильности и безопасности его работы. По завершении проекта необходимо провести полную приемку. Команда проекта должна убедиться, что оборудование и объекты соответствуют проектным стандартам, и провести отладку системы, чтобы обеспечить надежную работу сети.

5.4.1 Контроль прогресса.

Контроль за прогрессом является центральным звеном в управлении проектами, особенно для крупномасштабных проектов сетевой инфраструктуры, где научное управление прогрессом особенно важно. Надлежащий контроль за ходом работ не только обеспечивает своевременное завершение проекта, но и позволяет избежать дополнительных расходов, связанных с задержками.

1) Разработка подробного плана прогресса

На каждом этапе строительства электросети, от планирования до строительства, необходимо разработать подробный план. В соответствии со сложностью инженерного содержания, циклом закупок оборудования, условиями строительства и другими факторами план должен поэтапно определять время начала и окончания каждой задачи и ключевые узлы. В плане также должны быть подробно описаны сроки выполнения каждой задачи и установлены контрольные вехи для обеспечения четкого отслеживания прогресса проекта.

2) Использование метода критического пути (СРМ)

В сложных проектах восстановления энергосистемы метод критического пути (СРМ) является распространенным методом управления прогрессом. Анализируя взаимосвязь между задачами, он определяет ключевые пути, которые определяют сроки завершения проекта и обеспечивают своевременное выполнение этих ключевых задач. Задержки в выполнении любых важнейших задач непосредственно сказываются на общем ходе осуществления проекта и требуют особого внимания.

3) Отслеживание в реальном времени и динамическая настройка

Отслеживание прогресса в реальном времени имеет решающее значение в ходе осуществления проекта. Группа управления проектом должна обеспечить, чтобы каждый этап работы осуществлялся в соответствии с планом посредством периодических проверок хода работы. В случае

задержек или отклонений руководители должны принимать эффективные меры по исправлению положения и вносить динамические коррективы для обеспечения своевременного осуществления проекта.

4) Прогрессивное общение и координация

Регулярные отчеты о ходе работы могут помочь всем участникам проекта понять ход работ, особенно в проектах, связанных с многосторонним сотрудничеством, где обмен информацией имеет решающее значение. Руководители проектов должны своевременно отчитываться перед владельцами, строительными командами, проектными подразделениями и т.д., чтобы обеспечить своевременное устранение любых факторов, препятствующих прогрессу, и содействовать успешной реализации проекта.

5.4.2 Управление качеством.

В строительстве сетевой инфраструктуры управление качеством напрямую связано с успехом или неудачей проекта. Только убедившись в том, что все работы в процессе строительства соответствуют проектным стандартам и нормам, электросетевые объекты могут функционировать в долгосрочной, безопасной и стабильной перспективе. Поэтому управление качеством является одним из приоритетов управления проектами.

Для обеспечения качества проекта команда проекта должна создать надежную систему управления качеством. Система должна охватывать все аспекты от проектирования, закупок, строительства до ввода в эксплуатацию, обеспечивая, чтобы качество на каждом этапе соответствовало соответствующим стандартам и требованиям. В то же время должны быть четко определены обязанности по управлению качеством, назначены специальные инспекторы качества, регулярно проводятся проверки и контроль качества.

Качество проекта электросети начинается с этапа проектирования, и варианты, которые не являются разумными или не соответствуют стандартам, напрямую влияют на качество строительства и конечные результаты.

Команда проекта должна убедиться, что проектный план соответствует национальным стандартам и отраслевым нормам и учитывает многие факторы, такие как осуществимость проекта, условия строительства и последующее техническое обслуживание. Управление качеством на этапе проектирования должно требовать от специалистов тщательной проверки и оценки, чтобы гарантировать точность чертежей.

Качество используемых материалов и оборудования имеет решающее значение при строительстве энергосистемы. Для обеспечения того, чтобы это оборудование соответствовало требованиям проекта, закупочная цепочка должна быть тщательно проверена. Команда проекта должна выбрать квалифицированного поставщика, потребовать соответствующей сертификации качества продукции и провести тщательную проверку качества после прибытия материалов. В то же время в процессе строительства установка и ввод в эксплуатацию всего оборудования также должны осуществляться в соответствии с установленными техническими стандартами для обеспечения нормальной работы оборудования.

Строительство является важной частью управления качеством, и проектная команда должна осуществлять строгий надзор и проверку в процессе строительства. В процессе строительства следует регулярно проводить выборочные проверки качества, чтобы убедиться, что каждая задача выполнена в соответствии с проектными требованиями. На каждом завершённом этапе строительства должна быть проведена приемка качества для обеспечения отсутствия дефектов и скрытых опасностей. В случае выявления проблем с качеством необходимо своевременно вносить исправления для обеспечения того, чтобы в конечном итоге поставленные проекты соответствовали всем стандартам.

После завершения проекта должна быть проведена строгая приемка завершения, проверка соответствия каждого объекта проектным требованиям и соответствующим техническим стандартам. По завершении приемки

команда проекта должна предоставить полный отчет о качестве и данные испытаний, чтобы убедиться, что все объекты соответствуют эксплуатационным требованиям. В то же время для сетевого оборудования и систем должна быть проведена полная пробная эксплуатация для проверки их производительности и надежности.

После завершения проекта строительства электросети команда проекта должна провести обзор качества, обобщить проблемы качества, возникающие в процессе проекта, проанализировать коренные причины и предложить план улучшения. Эти уроки послужат ориентиром для будущих проектов, что позволит постоянно совершенствовать системы управления качеством и повышать качество будущих проектов.

5.4.3 Совместное управление прогрессом и качеством.

Контроль за прогрессом и управление качеством взаимосвязаны, и только их координация может обеспечить успешное завершение проекта. Надлежащее управление качеством позволяет избежать перепланировки, вызванной проблемами с качеством, и тем самым избежать задержек; Точный контроль за прогрессом гарантирует своевременное завершение проекта, обеспечивая достаточное время и пространство для управления качеством.

1) Качество в приоритете, прогресс следует за ним

Хотя контроль за прогрессом имеет важное значение в ходе осуществления проекта, управление качеством всегда должно быть первоочередным приоритетом. Только обеспечив качество проекта, сетевые объекты могут стабильно функционировать, обеспечивая долгосрочную безопасность. Поэтому проектная команда должна рационально организовать прогресс в предпосылке обеспечения качества, чтобы избежать потери качества из-за спешки.

2) Баланс между прогрессом и качеством

Баланс между прогрессом и управлением качеством очень важен в процессе реализации проекта. Чрезмерное стремление к достижению

прогресса может привести к снижению качества, а уделение чрезмерного внимания качеству может привести к задержкам в осуществлении проекта. Руководители проектов должны сбалансировать прогресс и требования к качеству посредством рационального планирования ресурсов, оптимизации процесса строительства и улучшения плана строительства, чтобы обеспечить бесперебойную доставку проекта.

Контроль за прогрессом и управление качеством являются двумя столпами успеха проекта строительства сетевой инфраструктуры. Научный контроль за прогрессом гарантирует своевременное завершение всех этапов, избегая роста затрат и рисков, связанных с задержками; Строгое управление качеством гарантирует конечное качество проекта, безопасность и долгосрочную стабильную работу сетевых объектов. Благодаря подробным планам, строгим проверкам и обратной связи, постоянным улучшениям, команда проекта может эффективно контролировать прогресс, гарантировать качество и обеспечить бесперебойную доставку проекта.

5.5 Закрытие проекта и последующее обслуживание

Успешное завершение проекта и последующее техническое обслуживание являются показателями успеха проекта по восстановлению инфраструктуры электросети. После завершения проекта система электросети будет введена в эксплуатацию, поэтому управление обслуживанием на более позднем этапе особенно важно.

После ввода в эксплуатацию объектов электросети необходимо проводить регулярные проверки и техническое обслуживание для обеспечения непрерывной и эффективной работы энергосистемы. Используя передовые технологии мониторинга, можно контролировать рабочее состояние сети в режиме реального времени, своевременно обнаруживать неисправности оборудования и устранять их. Регулярное техническое обслуживание продлевает срок службы оборудования и повышает стабильность сети. Собирая данные об эксплуатации объектов электросети, команда проекта может анализировать и оптимизировать

производительность системы электросети. Используя инструменты анализа больших данных, команда смогла выявить потенциальные проблемы в сетевой системе и внести соответствующие улучшения. Операционная обратная связь и анализ данных могут предоставить ценный опыт для будущего строительства электросетей и помочь в дальнейшем повышении эффективности и надежности работы энергосистемы.

Проект по восстановлению сетевой инфраструктуры - это системный проект, охватывающий весь процесс от планирования, проектирования до строительства и эксплуатации. Успех управления проектом напрямую определяет качество и эффективность работы электросетевых объектов. Благодаря научному планированию, точному контролю за прогрессом, строгому управлению качеством и эффективному реагированию на риски проекты по восстановлению сетевой инфраструктуры могут быть успешно завершены и введены в эксплуатацию, обеспечивая надежную поддержку будущих потребностей в энергии.

5.6 Выводы

Что касается управления проектами восстановления сетевой инфраструктуры, то это включает планирование на случай непредвиденных обстоятельств, распределение ресурсов и управление ими, а также контроль за прогрессом и качеством. Основное внимание будет уделяться созданию эффективных механизмов реагирования на чрезвычайные ситуации, обеспечению оптимального распределения материалов, оборудования, средств и персонала, а также созданию целевых показателей и систем контроля качества. Управление качеством и управление прогрессом должны идти рука об руку, чтобы минимизировать риски и обеспечить успешное завершение проекта. Наконец, была подчеркнута важность технического обслуживания и анализа данных после завершения проекта для обеспечения долгосрочной стабильности энергосистемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спрос на электроэнергию растет, и традиционные городские распределительные сети сталкиваются с возрастающими проблемами. Проблемы, такие как колебания нагрузки, устаревшая инфраструктура, плохая адаптация к доступу к возобновляемым источникам энергии и неадекватное реагирование систем на чрезвычайные ситуации, серьезно ограничивают эффективность и надежность распределительных сетей. Для решения этих проблем применение инновационных технологий обеспечивает мощную поддержку модернизации распределительных сетей и способствует развитию городских распределительных сетей в интеллектуальном, цифровом и устойчивом направлении. В этой статье систематически анализируется применение инновационных технологий в городских распределительных сетях, исследуются потенциальные преимущества этих технологий и обсуждаются проблемы, возникающие при их практическом применении.

Во-первых, внедрение инновационных технологий делает управление распределительными сетями более интеллектуальным. Интеллектуальная распределительная сеть, микросеть, Интернет вещей, анализ больших данных и другие технологии в сочетании не только позволяют энергосистеме контролировать все виды эксплуатационных данных в режиме реального времени, но и осуществлять точное планирование и автоматизированное управление, тем самым значительно улучшая эффективность и стабильность работы энергосистемы. Благодаря механизму обратной связи в режиме реального времени энергетические компании могут лучше понять состояние работы сети, своевременно выявлять и реагировать на потенциальные риски, уменьшая частоту сбоев оборудования и отключений электроэнергии.

Во-вторых, с быстрым развитием возобновляемых источников энергии традиционные распределительные сети сталкиваются с проблемой

эффективного доступа к более волатильным источникам энергии, таким как ветер и солнечная энергия. Инновационные технологии предлагают эффективные решения. Создание распределенных энергетических систем, интеллектуальных технологий хранения энергии и микросетей позволяет распределительным сетям гибко регулировать поток энергии, тем самым уравновешивая волатильность возобновляемых источников энергии. В то же время популяризация интеллектуальных систем измерения и управления энергией повысила гибкость распределительных сетей для доступа и распределения энергии и эффективно поддержала крупномасштабное применение зеленой энергии.

На уровне интеллектуального управления широкое применение технологий IoT делает сбор данных в энергосистеме и мониторинг в реальном времени более точными. Благодаря постоянному сбору и анализу больших данных в работе энергосистемы распределительная сеть может обеспечить более научное прогнозирование и планирование нагрузки и повысить эффективность работы энергосистемы. Кроме того, технология blockchain также играет важную роль в обеспечении безопасности и прозрачности данных, обеспечивая непреложную запись данных о работе энергосистемы и эффективно снижая риск фальсификации данных.

Тем не менее, несмотря на значительные преимущества применения инновационных технологий в городских распределительных сетях, их практическое внедрение по-прежнему сталкивается с рядом проблем. Проблемы совместимости технологий, высокие затраты на закупку и установку оборудования, риски безопасности данных и трудности распространения технологий могут повлиять на широкое применение и распространение технологий. Поэтому в будущем следует укреплять исследования и применение соответствующих технологий, снижать затраты, повышать надежность технологий и усиливать внимание к защите конфиденциальности данных.

В целом, инновационные технологии дают новый импульс модернизации и трансформации городских распределительных сетей, повышая их эффективность, надежность и гибкость. По мере развития технологий распределительные сети смогут лучше адаптироваться к все более сложным потребностям в электроэнергии, способствовать всеобщему доступу к экологически чистой энергии и вносить большой вклад в достижение целей устойчивого развития энергетики.

Библиографический список

1. Чжан, Дж., Лю, Ю., и Ван, З. (2021). Технологии умных сетей: интеграция и проблемы в городских распределительных сетях. Труды IEEE по энергетическим системам, 36(3), 2501-2512.
2. Лю, С., и Ли, Х. (2020). Применение Интернета вещей в умных распределительных сетях. Энергетические отчеты, 6, 1234-1245.
3. Чжан, В., и Чен, Х. (2020). Обзор систем хранения энергии и их интеграции в умные сети. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии, 118, 109-115.
4. Ван, И., и Сюй, Л. (2021). Большие данные и искусственный интеллект в умных распределительных сетях: обзор. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии, 135, 106229.
5. Сан, Т., и Ванг, Л. (2019). Проблемы и решения для интеграции возобновляемых источников энергии в распределительные сети. Энергетика, 167, 151-162.
6. Ли, Д., и Чен, В. (2021). Применение блокчейна для повышения безопасности и эффективности в умных сетях. Журнал хранения энергии, 32, 101-110.
7. Чжао, М., и Ху, Д. (2020). Применение микросетей и умных счетчиков в умных распределительных сетях. Энергетические отчеты, 7, 57-67.
8. Ким, И., и Ли, Д. (2018). Умные сети и Интернет вещей: возможности и вызовы для будущих энергетических систем. Исследования электроэнергетических систем, 156, 157-168.
9. Луо, С., и Сюй, С. (2019). Передовые технологии управления распределительными сетями с высоким уровнем возобновляемых источников энергии. IEEE Transactions on Power Delivery, 34(2), 439-447.

10. Кумар, А., и Патель, С. (2020). Недавние достижения в области коммуникационных сетей для умных сетей. Журнал современных энергетических систем и чистой энергии, 8(6), 1254-1263.
11. Ванг, З., и Ли, Ю. (2021). Оптимизация распределительных систем с помощью алгоритмов машинного обучения. Международный журнал электроэнергетики и энергетических систем, 122, 106186
12. Хе, Ю., и Лю, Ю. (2020). Роль микросетей в будущих распределительных энергетических сетях города. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии, 110, 267-278.
13. Чжан,., и Чжан, М. (2021). Распределенные энергетические ресурсы и их влияние на работу распределительных сетей. Журнал электротехники и технологий, 16(3), 1029-1038
14. Ма, З., и Лю, Х. (2021). Интеграция блокчейна в распределительные энергетические системы для повышения безопасности и эффективности. IEEE Access, 9, 10858-10867.
15. Ху, З., и Лю, М. (2020). Энергетическое управление в умных распределительных сетях с интеграцией возобновляемых источников энергии. Энергетический менеджмент и контроль, 44, 225-237.
16. Чжао, Л., и Ли, Д. (2020). Будущее умных распределительных сетей: проблемы и возможности. Исследования электроэнергетических систем, 173, 198-206.
17. Сюй, И., и Чен, М. (2021). Интеграция микросетей в городские распределительные сети: ключевые технологии и проблемы. Журнал энергетики и энергетических систем, 43 (7), 1486-1499.
18. Ванг, Д., и Лю, С. (2019). Интернет вещей в умных сетях для прогнозирования нагрузки в реальном времени и управления энергией. Компьютерные системы будущего поколения, 94, 1009-1021.
19. Чжан, С., и Ван, Ю. (2021). Оптимальный проект распределенной сети с высоким уровнем возобновляемых источников энергии. Возобновляемые источники энергии, 158, 1089-1099.

20. Ли, Т., и Сан, Ю. (2020). Реализация систем умного учета в городских распределительных сетях. Технологии умных сетей, 8 (2), 58-67.
21. Лю, В., и Чен, Х. (2021). Применение искусственного интеллекта в энергетических распределительных сетях. Энергетика AI, 3(1), 12-25.
22. Чжан, Ф., и Ванг, Д. (2021). Системы управления энергией в реальном времени для умных сетей. Журнал источников энергии, 477, 229-240.
23. Ли, Д., и Лу, Ю. (2019). Интеграция умных счетчиков и Интернета вещей для умных распределительных сетей. Труды IEEE по промышленной информатике, 15(5), 3487-3495.
24. Се, Л., и Чжан, Ю. (2020). Хранение энергии и его роль в городских распределительных сетях с высоким уровнем возобновляемой энергии. Журнал хранения энергии, 27, 1010-1017.
25. Чжоу, К., и Чжан, Т. (2018). Устойчивые распределительные энергетические сети: новые подходы для умных сетей. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии, 95, 167-176.
26. Ванг, Ф., и Лю, Д. (2020). Применение глубокого обучения для обнаружения неисправностей в распределительных сетях. Журнал электротехники, 23 (4), 49-61.
27. Янг, Д., и Ли, К. (2021). Решения на основе блокчейна для безопасного и прозрачного управления распределительными сетями. Журнал исследований блокчейна, 12(1), 34-46.
28. Ванг, З., и Ма, Х. (2021). Оптимальное планирование и управление энергией в умных распределительных системах с распределенным генератором. IEEE Transactions on Smart Grid, 12(5), 4039-4049.
29. Лю, Л., и Сюй, Б. (2020). Применение умных сетей в городских энергетических распределительных системах. Международный журнал интеллектуальных сетей и чистой энергии, 9(4), 923-930.

30. Чен, З., и Чжан, Л. (2021). Влияние умных технологий на устойчивость и надежность распределительных сетей. Журнал электроэнергетических систем, 45 (1), 85-97.
31. Хуанг, Ю., и Гуо, С. (2021). Системы управления энергией на основе Интернета вещей для городских распределительных сетей. Труды IEEE по энергетическим системам, 36(4), 3241-3251.
32. Лу, С., и Хэ, Д. (2020). Достижения в области технологий умных сетей и их применения в городских распределительных сетях. Журнал возобновляемых и устойчивых источников энергии, 28 (2), 101-112.
33. Чжао, С., и Ли, Б. (2020). Интеграция возобновляемых источников энергии и решения для умных сетей в распределительных системах города. Обзоры возобновляемых источников энергии, 35, 294-308.
34. Ли,., и Ву, Х. (2021). Энергоэффективность и развитие умных сетей в городских распределительных системах. Энергоэффективность, 14 (2), 399-414.
35. Чжан, Ю., и Чжан, Ю. (2021). Разработка и внедрение систем распределенной генерации для умных распределительных сетей. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии, 44, 1167-1179.
36. Чжан, К., и Гао, М. (2021). Микросети и распределенные энергетические системы в городских распределительных сетях: обзор. Труды IEEE по преобразованию энергии, 36(2), 564-576.
37. Янг, К., и Лю, Р. (2020). Применение машинного обучения для прогнозирования нагрузки в умных распределительных сетях. Международный журнал электроэнергетики и энергетических систем, 115, 105-115
38. Хуанг, Л., и Чжан, В. (2019). Блокчейн для повышения безопасности распределительных сетей. Журнал кибербезопасности, 12 (3), 154-169.
39. Ву, М., и Чжан, Х. (2021). Интеграция умных сетей и Интернета вещей: будущее распределительных сетей. Журнал сетей будущего, 7 (4), 248-257.

40. Ванг, С., и Ван, Х. (2020). Распределенные энергетические ресурсы и их интеграция в умные распределительные сети. Журнал энергетической инженерии, 146 (2), 205-218.

41. Лю, Д., и Лю, С. (2021). Применение искусственного интеллекта в реальном времени для управления распределительными сетями. Электроэнергетика и энергетические системы, 120, 105377.

42. Чжан, М., и Сюй, Л. (2020). Проектирование системы автоматизации распределения энергии на основе Интернета вещей и облачных вычислений. IEEE Access, 8, 90535-90546.

43. Лю Юн, Сюй Гуаньюй, Ван Сюйли, и так далее. Интеллектуальное планирование и применение городских распределительных сетей [J]. China Power, 2023, 56 (6): 67 - 78.

44. Чжан Мин, Ли Цян, Ван Фан, и так далее. Исследование по прогнозированию неисправностей и оптимизации обслуживания городских распределительных сетей на основе анализа больших данных [J]. Технология электросети, 2023, 47 (8): 2897 - 2906.

45. Чэнь Вэй, Чжао Мин, Сунь Ян, и так далее. Практика применения технологий IoT в управлении эксплуатацией и обслуживанием городских распределительных сетей [J]. Автоматизация энергосистем, 2022, 46 (15): 105 - 112.

46. Хуан Цян, У Цзяньхуа, Ли Сяосяо, и так далее. Скоординированное планирование распределенных энергетических и накопительных систем в городских распределительных сетях [J]. Возобновляемые источники энергии, 2023, 41 (10): 1567 - 1576.

47. Ван Кай, Чжан Лэй, Лю Ян, и так далее. Дизайн платформы безопасного обмена данными для городских распределительных сетей на основе технологии блокчейна [J]. China Power, 2023, 56 (11): 123 - 131.

48. Ли На, Чжан Вэй, Ван Фан, и так далее. Влияние технологии V2G для электромобилей на городские распределительные сети и стратегии оптимизации [J]. Electric Technology Journal, 2023, 38 (9): 2112 - 2125.

49. Сунь Мин, Чжао Лян, Чжоу Цян, и так далее. Применение коммуникационных технологий и проблемы в интеллектуальном обновлении городских распределительных сетей [J]. Коммуникационный журнал, 2023, 44 (7): 123 - 132.

50. Чжао Пэн, Ван Цян, Ли Мин, и так далее. Прогнозирование нагрузки городских распределительных сетей на основе искусственного интеллекта и методы оптимизации энергосбережения [J]. Журнал автоматизации, 2023, 49 (5): 1120 - 1131.

51. Юй, С. Использование суперконденсаторов в качестве накопителей электрической энергии / С. Юй // Молодежь XXI века: шаг в будущее : Материалы XXV региональной научно-практической конференции: в 2 томах, Благовещенск, 22 мая 2024 года. – Благовещенск: Амурская государственная медицинская академия, 2024. – С. 649-650. – EDN UBSKKM.

52. Мясоедов, Ю. В. Оптимизация режимов работы распределительной сети / Ю. В. Мясоедов, С. Юй // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2024. – № 107. – С. 15-19. – EDN JKRPSR.