

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: Разработка концепции инновационного развития
электроэнергетической системы Китая

Исполнитель

студент группы 142-ом

подпись, дата

Гао Цзэян

Руководитель

профессор, докт. техн.
наук

подпись, дата

Н.В. Савина

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 2023
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 Гао Цзэян

1. Тема выпускной квалификационной работы:

Разработка концепции инновационного развития электроэнергетической системы Китая

(утверждено приказом от 21.02.2023 № 142-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____
 3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Инновационная концепция новой энергосистемы Китая, Строительство Smart Grid в Китае.
 4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Значение и характеристики новой энергетической системы Китая. Новая концепция инноваций и развития энергетической системы Китая. Тенденции развития и характеристики новой энергетической системы в Китае. Трудности, с которыми сталкивается новая энергетическая система Китая.
 5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) программные продукты Microsoft Office, Microsoft Word 2007, Microsoft Visio, Microsoft Excel, презентация
 6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) _____
 7. Дата выдачи задания 22.02.2023
- Руководитель выпускной квалификационной работы: Савина Наталья Викторовна, зав. кафедрой энергетики, профессор, доктор технических наук
- (фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 22.02.2023

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 119 страниц, 17 рисунков, 4 таблицы, 51 источник.

НОВАЯ ЭНЕРГОСИСТЕМА, ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГИЯ, НОВАЯ ЭНЕРГИЯ, ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД, ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ, ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ, НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ СЕТЕВОГО ТИПА, РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГОСИСТЕМА КИТАЯ

Актуальность работы заключается в необходимости структурных изменений в энергосистеме Китая, связанных с большим количеством выбросов углекислого газа, недостаточной степенью управляемости энергосистемой в современных условиях.

Целью данной магистерской диссертации является разработка концепции интеллектуальной энергосистемы Китая для снижения выбросов углекислого газа, повышения гибкости и надежности объектов энергосистемы Китая.

Научная новизна заключается в предложении для Китая концепции развития энергосистемы на интеллектуальной платформе. Практическая значимость состоит в повышении экономичности функционирования энергосистемы за счет перехода на низкоуглеродную энергетику цифровизации и применения инновационных технологий.

В ходе исследования технологий цифровых подстанций и возобновляемых источников энергии были сформулированы соответствующие аспекты концепции построения энергосистемы КНР на платформе SmartGrid. Проанализирована устойчивость новой энергосистемы и предложены пути решения возможных проблем нестабильности ее работы.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ЗНАЧЕНИЕ И СВОЙСТВА НОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	10
1.1 Зарубежный опыт инноваций и развития электроэнергетики на основе интеллектуальных сетей	10
1.2 Значение новой энергосистемы	16
1.3 Особенности новой энергосистемы	21
2.НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИННОВАЦИЙ И РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	29
2.1 Инновационные технические устройства ИЭС ААС	29
2.2 Структура новой энергосистемы Китая	34
3. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	38
3.1 Возобновляемые источники энергии	38
3.2 Цифровые подстанции	46
3.3 Компоновка цифровой подстанции	52
4. ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА НОВУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ	57
4.1 Сдвиг в модели развития	57
4.2 Задача построения новой энергосистемы	57
4.2.1 Проблема достаточности	58
4.2.2 Вызовы безопасности	59
4.2.3 Институциональные вызовы для новых энергосистем	60
4.3 Развитие новых энергосистем	63
5.УСТОЙЧИВОСТЬ НОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	69
5.1 Новые типы устойчивости энергосистемы	69
5.2 Необходимость оптимизации энергосистемы	71
5.3 Факторы, влияющие на стабильность новой энергосистемы	72
5.4 Решения факторов нестабильности новой энергосистемы	73

5.5 Выволы	78
6. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НОВЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ	80
6.1 Возможности цифровизации при построении новых энергосистем	81
6.2 Прикладные идеи новых цифровых технологий энергосистемы	82
6.3 Применение цифровых технологий в новых энергосистемах	83
6.3.1 Построение цифровых электросетей	83
6.3.3 Обеспечение интеграции данных и максимально эффективное использование ресурсов электросети	87
6.3.4 Модернизация бизнес-мидл-офиса для ускорения цифровизации управления устройствами	89
7. НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ СЕТЕВОГО ТИПА ПОДДЕРЖИВАЕТ СТРОИТЕЛЬСТВО НОВЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ	91
7.1 Принцип технологии накопления энергии сетевого типа	91
7.1.1 Технология аккумулирования энергии	91
7.1.2 Принцип и метод моделирования накопления энергии сетевого типа	92
7.1.3 Размещение накопителя энергии сетевого типа в новой энергосистеме	95
7.2 Ключевые технологии	97
7.3 Определение мощности накопителей энергии сетевого типа	104
7.4 Верификация симуляционной модели	105
7.5 Результаты и перспективы	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	114

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ВИЭ – возобновляемые источники энергии

НСП – новая система питания;

СНЭ – система накопления энергии;

ГОСТ – государственный стандарт;

ГРЭС – государственная районная электростанция;

КРМ – компенсация реактивной мощности;

СТАТКОМ – статический компенсатор реактивной мощности;

ПНЭ – планирование новой электросети;

КЭ – китайская энергосистема;

РМ – реактивная мощность;

АМ– активная мощность;

ИН– источник напряжения;

ВВЕДЕНИЕ

Данная магистерская диссертация посвящена изучению инновационной концепции развития энергосистемы Китая в соответствии с документом центрального правительства Китая: «Построение новой энергосистемы с постепенно увеличивающейся долей новой энергии и подготовка к развитию»[5].

Актуальность темы заключается в том, что развитие новой энергетической системы Китая тесно связано с защитой окружающей среды путем снижения выбросов углекислого газа в атмосферу.

Объект исследования – энергетическая система Китая.

Тема исследования – инновационные технологии и цифровизация в электроэнергетике.

Целью данной магистерской диссертации является разработка концепции интеллектуальных сетей в Китае для сокращения выбросов углерода и повышения гибкости, и надежности сетевых объектов Китая.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ международного опыта применения технологии интеллектуальных сетей.

2. Текущее состояние и характеристика энергетической системы Китая.

3. Выбор и характеристика возобновляемых источников энергии для перехода к низкоуглеродной энергетике.

4. Концепция интеллектуальной сети и ее адаптация к национальным условиям и особенностям Китая.

5. Выбор инноваций и цифровых технологий для реализации новой энергетической системы Китая.

Научная новизна заключается в предложении для Китая концепции развития энергосистемы на интеллектуальной платформе. Практическая значимость состоит в повышении экономичности функционирования

энергосистемы за счет перехода на низкоуглеродную энергетику цифровизации и применения инновационных технологий.

Практическое значение работы состоит в том, что мы получили новую концепцию развития энергосистемы, подходящую для национальных условий Китая. С бурным развитием науки и техники в нашей стране все более серьезней становится проблема чрезмерных выбросов углекислого газа. Данная работа может эффективно решить эту проблему и построить новую энергетическую систему с привлечением большого количества возобновляемых источников энергии. Эта работа направлена на реализацию инновационного развития новых энергетических систем.

В диссертации представлен анализ зарубежного опыта построения интеллектуальных сетей, с акцентом на развитие интерфейсов с конечными потребителями и распределенной генерацией электроэнергии, построение интеллектуальных микросетей, обеспечение стабильной работы пользовательских энергопринимающих устройств и локальных электрических сетей. Рассмотрены источники питания, работающие как изолированно от внешней ЭЭС, так и в синхронном режиме с внешней ЭЭС. Показаны условия, обеспечивающие реализацию перехода на новую энергосистему. Проведен структурный анализ интеллектуальной сети и цифровой подстанции, дана характеристика некоторых типов возобновляемых источников энергии, устранена нестабильность новой энергосистемы, и оптимизирована новая система генерации. Найдены инновационные идеи для развития новой энергетической системы Китая.

В ходе работы использовались следующие программные продукты: Microsoft Office, Microsoft Word 2007, Microsoft Visio, Microsoft Excel, программы САПР.

Апробация полученных результатов была осуществлена путем выступления на конференциях (см. табл. 1) и публикации научных трудов (см. табл. 2).

Таблица 1 – Участие в конференциях

№	Название конференции	Дата	Форма участия	Название доклада
1	XXXI научная конференция Амурского государственного университета «День науки»	21.04.2022	очная	Развитие энергосистемы Китая в низкоуглеродной среде
2	X Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов»	24.11.2022	заочная	Новые направления развития электроэнергетической системы Китая

Таблица 2 – Подготовка публикаций

№	Название публикаций	Издательство, журнал, номер, год, страницы	Фамилия соавторов
1	Развитие энергосистемы Китая в низкоуглеродной среде	Материалы XXXI научной конференции Амурского государственного университета «День науки», 2022 г., с. 74-75.	Савина Н.В.
2	Новые направления развития электроэнергетической системы Китая	Материалы X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов», с. 198-199	Савина Н.В.

1. ЗНАЧЕНИЕ И СВОЙСТВА НОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

1.1 Зарубежный опыт инноваций и развития электроэнергетики на основе интеллектуальных сетей

В последние десять лет во всем мире интенсивно развивается научно-техническое инновационное и трансформационное направление электроэнергетики, основанное на новой концепции smart grid, существует множество переводов и интерпретаций, в основном «умная (умная) сеть». (энергосистемы)».

Основными мыслителями этой концепции являются США и страны Евросоюза, которые используют ее как основу своей национальной политики энергетического и инновационного развития. Впоследствии концепция интеллектуальных сетей получила признание и получила развитие почти во всех крупных промышленно развитых странах и динамично развивающихся странах, и в этом направлении была проведена обширная деятельность.

Наиболее крупные программы и проекты разработаны и реализованы в США и странах ЕС, Канаде, Австралии, Китае и Южной Корее. В США такая программа имеет статус национальной программы и осуществляется при непосредственной поддержке политического руководства страны, а в странах Евросоюза для координации усилий и выработки единой стратегии развития В энергетике в 2004 году была создана технологическая платформа Smart Grid «Будущая европейская энергетическая система» с конечной целью разработки и внедрения европейской системы планирования развития энергетики до 2020 года и далее.

Smart grid рассматривается за рубежом как концепция инноваций и трансформации электроэнергетики, основанная на общем видении роли и статуса электроэнергетики в современном и будущем обществах. В нем определяются требования электроэнергетики, средства обеспечения этих требований, принципы и методы реализации и необходимая техническая база

для реализации этой концепции, где одним из основных методов и способов реализации наделены новые технологии и установки. инструменты.

В основе этой концепции лежит комплексная, комплексная и непротиворечивая система взглядов на роль и статус общества в электроэнергетике, цели и требования перспективного развития, подходы к реализации, принципы и методы реализации и создания. необходимая техническая база. Наиболее четко и полно это сформулировано в базовом материале, предоставленном национальными институтами ЕС и США.

Причина появления новой концепции связана, во-первых, с тем, что в последние десятилетия прогнозируемое развитие во всем мире характеризуется рядом факторов, определяющих необходимость кардинальных изменений в электроэнергетике:

- рост цен на электроэнергию во всем мире;
- необходимость повышения энергетической и экологической эффективности в электроэнергетике;
- растущие требования потребителей к надежности и качеству электроснабжения;
- передовые технологии, возникшие в результате научно-технического прогресса, но еще не нашедшие должного применения в современной энергетике;
- снижение надежности электроснабжения;
- изменение условий функционирования рынков электроэнергии и мощности.

Зарубежными странами проведен глубокий анализ возможных путей развития электроэнергетики, и результаты показывают, что в прошлом она в основном базировалась на совершенствовании отдельных видов оборудования и технологий, с тем чтобы иметь более расширенные функции и характеристики, чем сегодня.

Наиболее важными факторами считаются следующие:

- Ограниченные возможности для дальнейшего увеличения производства электроэнергии и эффективности производства электроэнергии. Это связано с длительным истощением невозобновляемых видов топлива и появлением основных экологических ограничений, тормозящих развитие сетевой инфраструктуры, в основном в районах с высокой плотностью населения, где возрастают риски развития технологий и инфраструктуры;

- Низкий потенциал повышения ресурсоэффективности: существующая технологическая база в энергетике практически исчерпала возможности повышения производительности оборудования;

- Инвестиционные ресурсы для строительства новых энергетических объектов и развития сетевой инфраструктуры ограничены.

Результаты зарубежных исследований показывают, что комплексно рассматривая все аспекты перспективного развития электроэнергетики, необходимо изменить принципы и механизмы ее функционирования для обеспечения социального развития, добиться прорывных улучшений потребительских свойств и энергоэффективности.

Это решение требует разработки новой концепции инновационного развития электроэнергетики, которая, с одной стороны, будет соответствовать взглядам, целям и ценностям современного общества и общественного развития, в русле зарождающихся и ожидаемые потребности людей и общества. С другой стороны, в наибольшей степени учитываются основные тенденции и направления научно-технического прогресса в различных сферах жизни общества, жизни и деятельности. Умная сеть становится такой концепцией.

Следует отметить, что представленные публично методы разработки и варианты концепций сегодня не считаются законченными и регламентированными вещами - их разработка, конкретизация и проверка рассматриваются, как одна из основных задач.

Путем анализа зарубежного опыта в данном исследовании приняты следующие предварительные положения по разработке и развитию концепции интеллектуальных сетей в зарубежных странах:

1. Концепция «умных сетей» предполагает системные изменения в электроэнергетическом секторе, затрагивающие все его основные элементы: генерацию, передачу и распределение (включая коммунальные услуги), маркетинг и диспетчеризацию.

2. Энергосистема будущего рассматривается как интернет-подобная инфраструктура, предназначенная для поддержки энергетических, информационных, экономических и финансовых взаимоотношений между всеми игроками энергетического рынка и другими заинтересованными сторонами.

3. Развитие электроэнергетики должно быть направлено на развитие существующих и создание новых функциональных признаков энергосистемы и ее элементов, обеспечение максимальной реализации ключевой ценности новой электроэнергетики, развитие новой энергетики способствовать ее развитию, результат общего видения целей и средств.

4. Рассматривать сеть (все ее элементы) как основной объект, формирующий основу новых технологий, позволяющих значительно улучшить результаты работы энергосистемы и создать новые функциональные характеристики.

5. Разработка концепций комплексно охватывает все основные направления развития, от исследований до практического применения и тиражирования, и должна осуществляться на научном, правовом, техническом, организационном, управленческом и информационном уровнях.

6. Реализация данной концепции носит инновационный характер и будет способствовать переводу электроэнергетики и всей экономики на новый технологический уклад.

В рамках разработанной концепции интеллектуальной сети учтены различные требования всех заинтересованных сторон (государство, потребители, регуляторы, энергетические компании, сбытовые и коммунальные организации, собственники, производители оборудования и др.) Содержание: названы ключевые требования (ценности) новая энергетика, выраженная как:

Доступность - неограниченная поставка энергии в зависимости от того, когда и где она нужна потребителям, и качества, за которое они платят.

Надежность - способность противостоять негативным физическим и информационным воздействиям, без полных простоев и затратных восстановительных работ, максимально быстрое восстановление (самовосстановление).

Эффективность – оптимизация потребительских цен на электроэнергию и снижение общесистемных затрат.

Эффективность – максимально эффективное использование различных ресурсов и технологий при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии.

Органическое взаимодействие с окружающей средой – минимизация негативного воздействия на окружающую среду.

Безопасность – это предотвращение ситуаций в энергетике, опасных для человека и окружающей среды.

Принципиально новым здесь является то, что все предъявляемые ключевые требования (ценности) следует считать равными, а их приоритет, уровень и степень актуальности не являются универсальными, нормативно закреплёнными для всех, а могут быть выявлены и реализованы для всех. Каждый рассматриваемый агент энергетических отношений (энергетическая компания, регион, город, домохозяйство и т. д.) по своей сути индивидуален.

В такой постановке задача развития энергетического сектора смещается от сектора первичного балансирования к созданию, развитию и

доставке «меню» энергетических возможностей потребителям и обществу в целом.

Концепция интеллектуальных сетей не имеет национальных границ между передачей и распределением электроэнергии за границу, поскольку в будущем границы, основанные на операционных моделях, будут постепенно стираться. Задачи, определенные зарубежными странами для реализации концепции интеллектуальных сетей в области магистральных сетей, заключаются в следующем:

- Оценка безопасности основной энергосистемы в режиме реального времени - инновационное решение для анализа требований к безопасности энергосистем с высокой нагрузкой в режиме реального времени и требований динамического расчета для принятия решений в режиме реального времени.

- Оценка состояния передающей сети - новые технологии для обеспечения качества и точности данных энергосистемы в режиме реального времени (например, более широкое использование технологии WAMS).

- Повышение безопасности передающей (магистральной) сети

- Новые технологии для повышения безопасности сети и обеспечения непревышения установленных пределов функциональной стабильности.

- Визуализация: Представьте сложные и критические состояния системы через пользовательский интерфейс.

В последние годы большинство промышленно развитых стран и многие развивающиеся страны приступили к реализации планов и проектов в направлении интеллектуальных сетей, охватывающих широкий круг вопросов и задач. Наиболее крупные программы и проекты в этом направлении разработаны и реализованы в США, Канаде и странах ЕС. Было принято решение разработать и реализовать аналогичные программы и проекты в ряде других стран.

Примером является распространение систем FACTS и HVDC в мире, показанное на рис. 1.

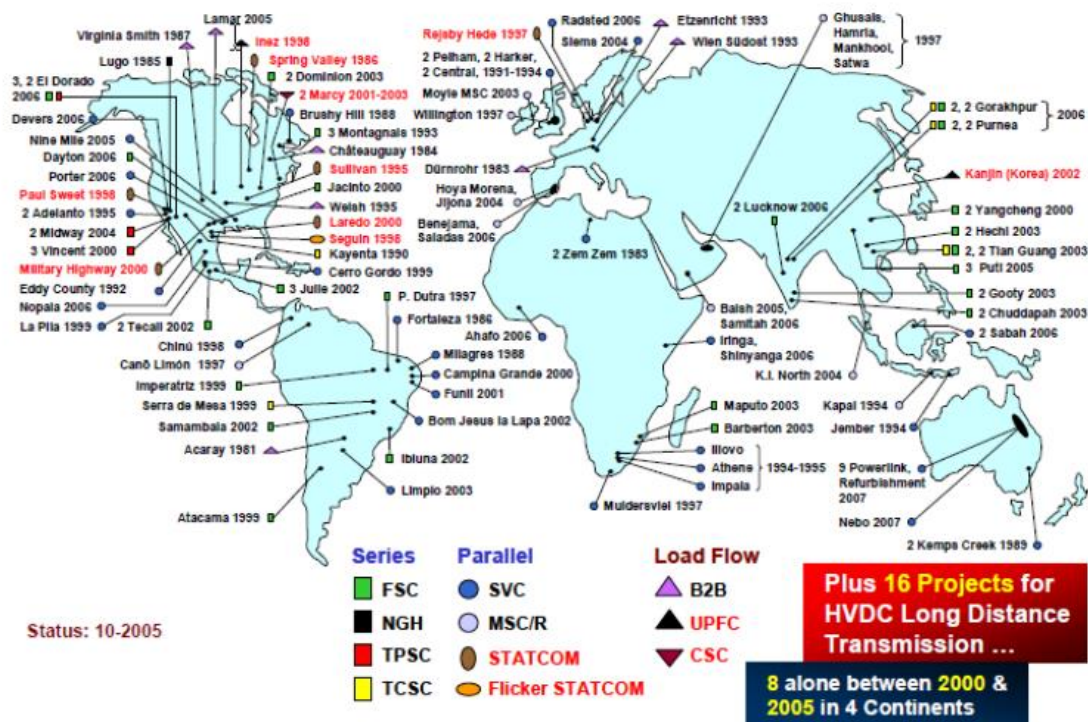


Рисунок 1 - Распространение систем FACTS и HVDC в мире

Размах стимулирования развития SmartGrid в мире характеризуется следующими цифрами:

Китай – 220 млрд. долл. США

США – 60 млрд. долл. США

Индия – 32 млрд. долл. США

Европейский Союз – 22 млрд. долл. США

Великобритания – 10 млрд. долл. США

Канада – 1.5 млрд. долл. США

Южная Корея – 1.4 млрд. долл. США

Австралия - 3.2 млрд. долл. США

Япония – 1.4 млрд. долл. США

Одним из основных спонсоров большинства национальных усилий в области интеллектуальных сетей и инвесторов является государство. Практически все страны стимулируют инновационную деятельность в сфере

умной энергетики в форме государственно-частного партнерства. При этом государство не только сформировало хорошую регуляторную среду, но и напрямую финансово поддерживает конкретные планы и проекты в больших объемах, тем самым определяя темпы и направления отраслевых технологических обновлений.

По данным Американского исследовательского института электроэнергетики, в ближайшие 20 лет США потратят около 160 млрд долларов США на реализацию проектов умных сетей, а в мире общий объем инвестиций в эту сферу превысит 500 млрд долларов США.

Мировой опыт реализации концепций интеллектуальных сетей позволяет выделить следующие тенденции:

1. Хотя потребители с осторожностью относятся к участию в регулировании нагрузки, доля активных бытовых потребителей увеличивается.

2. Участие потребителей в оптимизации энергопотребления становится интерактивным.

3. Продолжает увеличиваться доля распределенной, малой и нетрадиционной энергетики.

4. Промышленные потребители активно разрабатывают собственные программы повышения энергоэффективности, однако эти программы не всегда отвечают интересам энергосистемы.

5. Необходимость повышения эффективности использования существующих энергетических активов.

6. Ожидается, что бум внедрения электромобилей приведет к существенному увеличению потребления энергии.

7. Существует значительная неопределенность в отношении размещения потребителей. Анализ возможных путей развития электроэнергетики за рубежом на платформе технологии интеллектуальных сетей показывает, что фундаментальные принципы и инновационные технологии могут лечь в основу инновационной электроэнергетики России.

1.2 Значение новой энергосистемы для Китая

В соответствии с требованиями энергетической революции необходимо построить новую энергетическую систему в Китае на основе основных национальных условий обеспеченности энергоресурсами страны, использовать инновации в области низкоуглеродных энергетических технологий в качестве движущей силы, координировать энергетическую безопасность, экономику, обеспечить снижение углеродных выбросов и способствовать построению новой энергосистемы. Доля новой энергии, подходящей для национальных условий моей страны, постепенно улучшается. Под новой энергией в работе понимается применение новых технологий для получения электрической энергии, например, использование источников возобновляемой энергии, водородной энергетики и др. В частности, новая энергосистема должна быть основана на мощной, интеллектуальной и гибкой энергосистеме в качестве узловой платформы, основанной на технологических инновациях и инновациях институционального устройства, системе энергоснабжения нового поколения, которая взаимодействует между источником, сетью, нагрузкой и накопителями энергии, и дополняется применением различных видов первичных ресурсов. Взаимодополняемость энергоресурсов различного типа в качестве сильной поддержки обеспечения требуемого баланса энергии и энергетической безопасности является основной предпосылкой, основной задачей развития энергосистемы при обеспечении высокой доли новой энергии, а основной целью является удовлетворение экономического и социального спроса на электроэнергию высокого качества. Низкоуглеродная, безопасная и эффективная — вот три основных значения новой энергосистемы, а безопасная и эффективная, чистая и низкоуглеродная, гибкая и интеллектуальная интеграция — четыре важные особенности ее реализации. Среди них безопасность и эффективность являются основной предпосылкой, чистота и низкоуглеродность — главная цель, гибкость — важная поддержка, а интеллектуальная интеграция — главная гарантия.

Одной из ценностей новой энергосистемы является низкая углеродность. Для достижения цели углеродной нейтральности производство энергии должно перейти от применения природных ископаемых в качестве первичных ресурсов к чистой (возобновляемой) энергии, сосредоточив внимание на крупномасштабном развитии, крупномасштабном распределении и эффективном использовании экологически чистой энергии и избавление от зависимости от ископаемой энергии, необходимо быстро уйти от использования ископаемой энергии и создать систему чистой энергии. Проектные компании должны идти в ногу с политическими тенденциями, заранее готовить технические резервы и использовать возможности на рынке двойного углерода. Один из них — идти в ногу с тенденцией развития. С непрерывным развитием национальной политики и постепенной зрелостью рынка все аспекты бизнеса новой энергетической системы будут постепенно развиваться. Таким образом, переход к новой энергосистеме включает проекты центров обработки данных, новые энергетические проекты и инфраструктурные проекты. Основываясь на преимуществах проектирования электрогенерации, предлагаются новые технологии перехода к нулевым выбросам углерода, в том числе поставка зеленой энергии, поддержка сетей, обеспечение потребителей зеленой и дешевой электроэнергией посредством рыночных сделок, увеличение доли чистого производства электроэнергии. Экологически безопасное потребление электроэнергии, более низкая энергоэффективность центра обработки данных и полное использование возможностей хранения энергии и вычислительной мощности еще один путь развития энергосистемы. Новая система должна иметь интеллектуальное планирование в сочетании с работой новых технологий и повышенной вычислительной мощностью. В процессе развития все промышленные предприятия и иные предприятия должны в полной мере использовать собственные технологические преимущества в области энергетики и мощности для обеспечения низкоуглеродных комплексных решений и интеллектуальных совместных

диспетчерских операций для реализации зеленого энергоснабжения, в области энергосетевого развития - интеграция систем хранения энергии, преобразование преимуществ экологически чистых энергетических ресурсов в преимущества промышленного развития и повышение общей эффективности проектов национальной новой энергетической системы.

Цель углеродной нейтральности является основной движущей силой низкоуглеродного развития во всех аспектах новых энергетических систем, энергетики и промышленности. Что касается энергоснабжения, цель углеродной нейтральности будет не только способствовать скачкообразному развитию технологий возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра, фотоэлектрическая энергия и гидроэнергетика, но также стимулировать инновации, продвижение и применение новых низкоуглеродных энергетических технологий, а также создать новую структуру энергоснабжения и увеличить долю энергоснабжения от собственных источников. Что касается электроэнергетической системы, то цель углеродной нейтральности будет способствовать преобразованию электроэнергетической системы, основанной на платформе единой сети для передачи и распределения электроэнергии, на платформу, основанную на разделении сетей на магистральные, распределительные и микросети, а также внедрение новых инновационных технологий для поддержки согласованного цифрового управления в режиме реального времени, а также реализации согласованного и оптимизированного управления транспортом электроэнергии в сочетании с контролем выбросов углерода в атмосферу. Со стороны потребителей цель углеродной нейтральности будет способствовать корректировке конечных пользователей и промышленных структур, а также широкой интеграции новых нагрузок в сеть, таких как электромобили, интеллектуальные устройства, центры обработки данных и водородная энергия, а также поощрять потребление возобновляемых источников энергии и гибкое потребление энергии. С точки зрения хранения энергии цель углеродной нейтральности будет способствовать скоординированному и

качественному развитию новой энергии и накоплению энергии, созданию диверсифицированной и многомасштабной системы накопления энергии, и повысить гибкость низкоуглеродного развития энергетической системы.

1.3 Особенности новой энергосистемы

Новая энергетическая система с новой энергией в качестве основного источника в основном включает в себя четыре звена: генерация-электрическая сеть-потребитель-система накопления энергии, образуя органическое целое потока энергии и потока информации. Это очень сложная энергоинформационная система с высокой долей новых энергетических и цифровых технологий и использования больших данных. Ее основные черты отражены в следующих работах[1].

Прогнозируется, что к 2030 году установленная мощность ветровых и солнечных электростанций в Китае превысит 1,2 млрд киловатт, а тепловые электростанции будут выведены из эксплуатации, что значительно увеличит нагрузку на энергосистему, связанную с освоением новой энергии. Но в долгосрочной перспективе, чтобы достичь углеродной нейтральности и максимального сокращения выбросов углерода, мы должны перейти к энергетической системе с нулевым выбросом углерода в атмосферу. Для этого в сеть должно быть интегрировано большое количество силовых электронных устройств, что значительно снижает качество электроэнергии в системе, оказывает негативное влияние на существующую энергосистему, угрожает безопасной и стабильной работе энергосистемы.

Электрические сети. С развитием распределенной генерации резко увеличилось количество электросетевого планирования, также меняются схемы распределения мощности и электропотребления, размываются границы магистральной и распределительной сети, появляются различные новые типы распределительных сетей, такие как интеллектуальная микросеть, электросеть постоянного тока, активная распределительная сеть и т. д., энергосистема становится более сложной. Цифровые технологии постепенно станут ключевой технологией для развития электросетей, а

благодаря мощным техническим преимуществам «активная мощность + вычислительная мощность» они значительно улучшат способность энергосистем воспринимать интеллектуальное принятие решений и быстрое реагирование.

Характерной чертой электроснабжения потребителей является гибкое взаимодействие и анализ больших данных при распределении электроэнергии. Гибкое взаимодействие широкого круга пользователей может обеспечить большую гибкость энергосистемы, что является одной из ключевых особенностей и основных отправных точек построения новых энергосистем. Потребление электроэнергии характеризуется разнообразием, неопределенностью и многомерной сложностью. С созданием новых каналов измерения информации, таких как интеллектуальные счетчики, а также популяризацией и применением таких технологий, как активные распределительные сети и виртуальные электростанции, постепенно сформируется глубокая социальная, физическая и информационная связь с активным потребителем. Цифровые технологии постепенно способствуют восприятию и анализу активного потребительского поведения и направляют пользователей к более глубокому взаимодействию с энергосистемой. Поэтому на основе анализа больших данных, активного участия потребителей в управлении энергопотреблением имеет практическое значение изучение теории и метода моделирования активного поведения потребителей. Необходимо развитие методов прогнозирования нагрузки на основе хорошо обученных и обучающихся нейронных сетей, развитие технологий массовой распределенной агрегации разнородных энергоресурсов и управления ими.

Масштабы хранения энергии будут увеличиваться с ростом масштабов новой энергии, и в краткосрочной и среднесрочной перспективе основными источниками энергии станут накопление насосной воды и хранение химической энергии. С развитием технологий накопления энергии будет

осуществлена диверсифицированная тенденция развития систем накопления энергии.

Углеродная перспектива: необходима разработка технологии измерения CO₂, основанная на мощных высокочастотных больших данных. Ускорение создания единой стандартизированной системы углеродной статистики имеет решающее значение для консолидации баз данных об углероде и поддержки реализации целей достижения пиковых значений сокращения выбросов углерода и достижения углеродной нейтральности. На основе корреляции между электроэнергетикой, энергетической деятельностью и экономичным потреблением электроэнергии построена модель анализа выбросов углекислого газа от энергетических объектов, чтобы в полной мере использовать преимущества оперативного, высокоточного, высокого разрешения и широкомасштабное моделирование. Сбор больших данных о параметрах модели при одновременном проведении точного анализа и динамического мониторинга выбросов углерода является инновационной практикой интеграции двух элементов «цифровизации» и «углеродной нейтральности» в новую энергетическую систему. Следовательно, необходимо изучить корреляционный механизм методов анализа данных об электрическом углероде; провести исследование модели выбросов углерода, анализ и мониторинг на основе больших данных высокочастотной энергии, а также изучить и установить субрегиональные, суботраслевые и межотраслевые – временной электроуглеродный анализ и модельные методы мониторинга.

Новая энергосистема представляет собой энергосистему с высокой долей возобновляемой энергии и высокой долей силового электронного оборудования, а также интеллектуальную энергосистему с интеграцией большого количества первичных энергоресурсов и глубокой информационной интеграцией. Предусмотрен мониторинг параметров электроэнергетических режимов и параметров схем с помощью Интернета.

Характеристика новой энергосистемы заключается в том, что состав первичных энергоресурсов в производстве энергии обладает высокой степенью неопределенности, новая энергия является основным источником энергии, а традиционная функция энергоснабжения постепенно трансформируется в регулирование и поддержку. Структура энергосистемы в моей стране развивается в направлении микросетей, гибких электросетей постоянного тока и т. д., и спрос на электроэнергию продолжает расти. Спрос и предложение новой электросети сталкиваются с большой неопределенностью, а технология подключения к сети, развивается от синхронизации переменного тока до силовой электроники.

Новая энергосистема продолжает сталкиваться с со следующими проблемами: крупномасштабное применение силового электронного оборудования создает проблемы безопасности и стабильности, а конструкция рыночного механизма усложняется.

Новая энергетическая система имеет структурные характеристики крупномасштабного развития новой энергии, экстенсивное производство новой энергии и высокую долю потребления. Морфологические характеристики взаимодействия системы производства электроэнергии, электрической сети, потребителей и систем накопления энергии, а также характеристики совместимости и взаимодополняемости энергосистемы меняются. Технические характеристики крупных энергетических систем, распределенных систем, комплексная цифровизация каждого звена и высокоинтеллектуальная система регулирования и управления в энергосистеме, а также создание современной комплексной системы рынка электроэнергии и разработка механизма согласованного развития рынков электроэнергии и углеродных рынков являются основными направлениями развития новых свойств энергосистемы на новой платформе.

Результаты исследования показывают, что примечательной особенностью новой энергетической системы по сравнению с традиционной энергетической системой является признак «двойного максимума», а именно:

высокая доля возобновляемой энергии и высокая доля силового электронного оборудования, а также другая результирующая структура оборудования, изменения формы, технологии и свойств системы. В целом свойства новых энергетических систем можно охарактеризовать в трех аспектах: безопасные и контролируемые, экологичные и низкоуглеродные, и рентабельные.

Безопасность является основным требованием к новым энергосистемам. При крупномасштабном доступе к новой энергии снижается инерция системы, снижается способность регулирования частоты, наблюдается недостаточная компенсация реактивной мощности, возрастает проблема стабильности напряжения, труднее поддерживать требуемый коэффициент реактивной мощности и возрастает неопределенность. Новая энергетическая система должна обновляться и развиваться на основе теоретического и системного анализа, применения новых методов управления и регулирования, справляться с растущими рисками и вызовами и поддерживать высокий уровень безопасности.

Низкие выбросы углерода являются основной целью новых энергетических систем. Производство электроэнергии является основным аспектом преобразования энергетической системы. При условии высокой доли использования новой энергии в направлении реализации низкоуглеродной трансформации, широкомасштабная интеграция распределительных сетей и новой энергии на основе традиционных методов энергоснабжения и поддержания параметров режима и схемы в оптимальных пределах становится реальностью. Для перевода энергосистемы на новую технологическую платформу необходимо стимулировать потребителей к участию в регулировании и диспетчеризации электрической нагрузки, разрабатывать новые технологии накопления энергии, разрабатывать и внедрять модели генерации электроэнергии, сетей, потребителей и систем накопления энергии, и координировать потребление энергии от новой энергии и адаптацию к непрерывному освоению и использованию новых источников энергии.

Экономия энергии является ключевым фактором в новой системе управления энергосистемой. В будущем к энергосистеме будет подключена большая доля новой энергии и крупных потребителей, что создаст серьезные проблемы с эффективностью оптимального распределения энергоресурсов. Для достижения эффективности распределения ресурсов и увеличения возможностей оптимизации энергопотребления необходимо разработать новые концепции и платформы энергетических систем в качестве важного средства преобразования и реконструкции энергетических систем. Эти задачи должны выполняться в соответствии с политическими решениями и в соответствии с рынком энергии и мощности. При этом необходимо в полной мере проявить руководящую и регулируемую роль государства в построении новой энергетической системы, а также основополагающую роль рынка в регулировании и оптимизации распределения ресурсов.

Основное отличие новой энергосистемы от традиционной энергосистемы заключается в следующем.

По сравнению с традиционной системой генерации, отличие новой системы питания в основном отражается в следующих аспектах.

Прежде всего, с точки зрения энергетики необратимой тенденцией станет постепенный уход с рынка угольной энергетики, новая энергетическая система будет постепенно переходить от традиционных тепловых электростанций к новым источникам энергии, включая возобновляемые источники энергии, и от традиционных электромашинных преобразователей переменного тока в постоянный к электронным выпрямительным устройствам. В сеть будет интегрирована большая часть энергии ветра и фотоэлектрической энергии, а также большая часть силового электронного оборудования, то есть новые свойства энергосистемы приведут к изменению в производительности энергосистемы.

Во-вторых, структура энергосистемы постепенно меняется с односторонней структуры распределения электроэнергии, основанной на принципе «источник-сеть-нагрузка», на сложную сетевую структуру

интеграции «источник-сеть-нагрузка-накопление энергии» и мульти-энергетическую интеграцию энергоресурсов. Координация и прогрессивное моделирование ветра, света, воды, водорода и их хранения, включая взаимодействие магистральных сетей с распределенными энергетическими системами, активными распределительными сетями, микросетями и гибридными сетями переменного/постоянного тока еще одно отличие новой энергосистемы и традиционной системы.

В-третьих, с точки зрения нагрузки, в новой энергосистеме будет широкое использование электроэнергии, замещающей другие виды энергии, например, применение электромобилей, зеленого отопления и умных домов, что обеспечивает диверсифицированное направление развития систем электроснабжения потребителей. В этом случае возрастает потребность в поддержании баланса мощности и энергетического баланса, и требуются внешние резервы энергии. Ресурсы на стороне потребителя будут участвовать в регулировании графика нагрузки в сети и организуют огромное рыночное пространство.

В-четвертых – накопление энергии. Для повышения надежности энергосистемы планируется перейти от традиционного централизованного электроснабжения к системе электроснабжения, включающей системы накопления энергии как на стороне производства, так и на стороне потребления электроэнергии. Распределенная система хранения энергии включает в себя диверсификацию, то есть хранение электроэнергии, накопление тепла и хранение холода, и в сочетании с характеристиками постоянной времени тепловой системы само здание используется для хранения энергии. Эти системы накопления энергии обеспечат более диверсифицированный контроль над сетью.

В-пятых, с точки зрения диспетчеризации существующий нисходящий иерархический пятиуровневый механизм диспетчеризации плохо удовлетворяет потребности в диспетчеризации сильно рассредоточенных регулирующих ресурсов новой энергосистемы и большого количества

нерегулируемых и регулируемых новых источников энергии. Крупномасштабная интеграция цифровых дискретных устройств для достижения идеальных эффектов управления, самобалансировка, plug-and-play является основной технологией новой системы электроснабжения. Диспетчерское управление в новой энергосистеме будет постепенно заменяться прогнозированием больших данных и интеллектуальной диспетчеризацией и будет развиваться в режиме диспетчеризации «источник-сеть-нагрузка и накопитель энергии», координируемом управлении всей сетью.

Следовательно, новая энергосистема, основанная на распределенной генерации, будет иметь более высокую долю нового электрогенерирующего и силового электронного оборудования, которое может гибко и надежно распределять ресурсы в гибкой и сложнзамкнутой электрической сети.

2. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИННОВАЦИЙ И РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

2.1 Инновационные технические устройства ИЭС ААС

Инновационные компоненты и устройства базируются на последних достижениях науки и техники в таких сферах, как сверхпроводимость, силовая электроника, системы аккумулирования электроэнергии и диагностики. Примерами технологий в этих сферах являются устройства FACTS, высоковольтные системы передачи электроэнергии на постоянном токе, сверхпроводники, Smart приборы, силовая электроника на базе современных полупроводниковых приборов, в том числе с использованием возобновляемых источников энергии.

Распределенное производство электроэнергии (или распределенная генерация) – это концепция распределенных энергетических ресурсов, которая подразумевает наличие множества потребителей, производящих тепловую и электрическую энергию для собственных нужд, направляя их излишки в общую сеть. Она предполагает максимальное приближение электрогенераторов к потребителям электричества, вплоть до расположения их в одном здании. При этом снижаются потери электроэнергии при транспортировке, число и протяженность линий электропередач, которые необходимы для электроснабжения потребителей.

Широкое внедрение систем FACTS совместно с новыми средствами телемеханики, мониторинга и управления позволяет обеспечить формирование системы передачи электроэнергии с новым качеством.

Основные элементы устройств FACTS представляют собой семейство автоматических устройств (регуляторов) большой мощности, каждое из которых может применяться как индивидуально, так и во взаимодействии с другими устройствами для управления одним или большим числом взаимосвязанных параметров электроэнергетических систем. Основой

устройства FACTS, является статический источник (генератор и/или потребитель) реактивной мощности (ИРМ).

В зависимости от режима и характеристик электроэнергетической системы ИРМы способны потреблять или генерировать реактивную мощность. ИРМы широко применяются в современной электроэнергетике при решении следующих актуальных задач:

- 1) регулирования напряжения;
- 2) симметрирования нагрузки;
- 3) повышения пропускной способности (повышение статической и динамической устойчивости);
- 4) демпфирования различных колебаний в ЭЭС;
- 5) ограничения временных перенапряжений;
- 6) компенсации реактивной мощности на преобразовательных подстанциях электропередач и вставок постоянного тока (ППТ и ВПТ).

К наиболее востребованным устройствам FACTS, относятся: статический синхронный компенсатор (СТАТКОМ); статический тиристорный компенсатор (СТК); статический синхронный генератор (ССГ); устройство продольной компенсации (УПК); фазоповоротное устройство (ФПУ) и т.п.

В таблице 3 приведена область использования устройств FACTS. При этом важно отметить, что ни одно из устройств FACTS не обладает максимальной степенью эффективности в отношении перечисленных задач управления ЭЭС, т.е. ни одно из устройств FACTS не является «панацеей от всех бед» и максимальная эффективность может быть достигнута только путем их комплексного использования.

Перспективы и возможности технологии FACTS в задачах управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) в установившихся и в переходных режимах в определяющей мере связаны с происходящим научно-техническим прорывом в области силовой электроники. Прогресс силовых электронных приборов определяется все большим приближением их свойств

к характеристикам идеального ключа, который имеет: большой ток (коммутируемый ток, действующее, максимальное и среднее значения, ударный ток); высокое напряжение (импульсное повторяющееся, неповторяющееся напряжение, длительное постоянное); быстрое переключение (пренебрежимо малое время включения и выключения). Достижения в создании больших кремниевых пластин позволили быстро поднять рабочее напряжение силовых полупроводниковых устройств (СППУ) свыше 1 кВ, а тока – более 100 А.

Таблица 3 - Область применения устройств FACTS

Задача	Проблема	Корректирующее действие	Устройство FACTS
Поддержание заданных ограничений по напряжению	Низкое напряжение при большой нагрузке	Выдача реактивной мощности	СТК СТАТКОМ
		Уменьшение реактивного сопротивления ЛЭП	УПК
	Высокое напряжение при малой нагрузке	Потребление реактивной мощности	СТК СТАТКОМ
	Высокое напряжение после АПВ	Потребление реактивной мощности, предотвращение перегрузки	СТК СТАТКОМ
	Низкое напряжение после ликвидации возмущения	Выдача реактивной мощности, предотвращение перегрузки	СТК СТАТКОМ
Ограничение токовых нагрузок	Перегрузка ЛЭП	Увеличение пропускной способности	УПК, ССПК ОРПМ ФПУ
Управление потоком мощности	Параллельные потоки	Корректировка реактивных сопротивлений линий	УПК, ССПК ОРПМ
		Корректировка угла сдвига фаз	УПК, ССПК ОРПМ ФПУ
	Инверсия потока	Корректировка угла сдвига фаз	УПК, ССПК ОРПМ ФПУ

Задача	Проблема	Корректирующее действие	Устройство FACTS
Ограничение тока КЗ	Большой ток КЗ	Ограничение тока КЗ	УПК ОРПМ
Повышение устойчивости	Ограниченная пропускная способность	Уменьшение реактивного сопротивления ЛЭП. Поддержание напряжения	УПК, ССПК СТК СТАТКОМ ОРПМ

Возможности технологии современной силовой электроники позволили реализовать идею создания силовых интегральных схем (СИС) – «разумных» интегральных модулей. Удалось также разработать технологию и создать силовые ключевые элементы на одном кристалле или общей керамической подложке. При этом современные СИС снабжены «драйверами» – формирователями импульсов управления, соответствующей диагностикой, защитой, элементами автоматического выбора режима работы нагрузок, что делает их действительно интеллектуальными схемами.

Современные достижения силовой электроники в сочетании с передовой технологией управления позволили обеспечить как экономическую эффективность преобразования параметров электрической энергии, так и оптимизацию управления технологическими, в том числе, электроэнергетическими процессами. В общем случае технология FACTS предполагает работу с трехфазными мощностями от десятков до сотен МВт. Устройства FACTS представляют собой электроустановки, состоящие из преобразователей переменного тока в постоянный и/или постоянного тока в переменный и/или высокомоощных переключателей (коммутаторов) переменного тока. Преобразователь на основе силовых электронных приборов включает вентили и вспомогательное оборудование, а каждый из вентиляей, в свою очередь, состоит из силовых устройств, демпфирующих и логическими схемами. Номинальные характеристики силовых устройств большой мощности варьируется в диапазоне 1 – 5кА и 5 – 10 кВ, при этом эксплуатационные характеристики схемы могут составлять от 25 до 50%

номинальной мощности. Из этого следует, что преобразователи и коммутаторы переменного тока представляют собой сборки большого числа силовых устройств. Преобразователи, переключатели переменного тока и устройства соединяются последовательно и/или параллельно для достижения желаемых характеристик и показателей устройств FACTS.

Важную роль в ИЭС ААС играют накопители электрической энергии. Широкие перспективы при реализации концепции SmartGrid связываются со сверхпроводящими кабельными линиями для систем передачи электроэнергии, которые превосходят по мощности передаваемой энергии в три - пять раз традиционные кабельные линии. Применение сверхпроводящих кабельных линий позволит существенно сократить потери электроэнергии, передавать большие потоки мощности при обычных габаритах кабеля, продлить срок эксплуатации кабельных линий, уменьшить площадь отчуждаемых под строительство кабельных линий земель в мегаполисах, обеспечить электроснабжение крупных потребителей в мегаполисах на напряжении 20 кВ. Технологическая инфраструктура ИЭС ААС представлена на рис. 2.

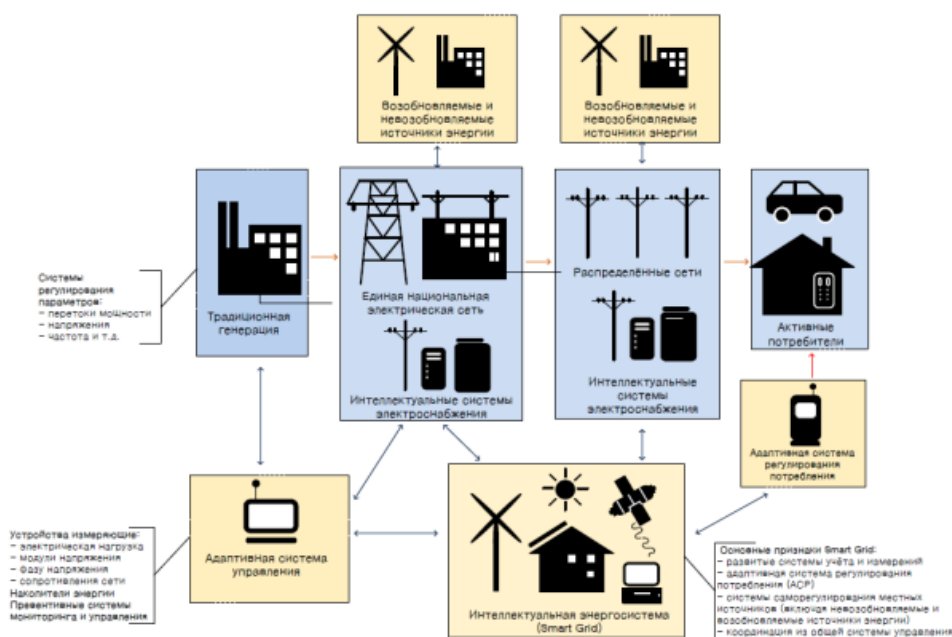


Рисунок 2 - Технологическая инфраструктура ИЭС ААС

2.2 Структура новой энергосистемы Китая

Энергия. Чистая энергия станет основным органом, играющим основную роль энергоснабжения в энергосистеме, на долю которой будет приходиться более 90% выработки электроэнергии. Среди них велика доля производства чистой энергии, такой как энергия ветра и фотоэлектрическая энергия, она увеличилась более чем 50%, став основным источником энергии для производства электроэнергии. Гибкая и контролируемая чистая энергия, такая как гидроэнергетика, ядерная энергия, биомасса и солнечная тепловая энергия, как важные компоненты, синергетически поддерживают высокую долю нового потребления энергии. Позиционирование традиционных тепловых энергоблоков изменилось с основной части производства электроэнергии на гибкие ресурсы, и благодаря недавней трансформации гибкости она предоставляет вспомогательные услуги, такие как пиковое регулирование нагрузки, регулирование частоты и поддержка напряжения для обеспечения энергетической безопасности.

Энергосистема. Новая энергосистема покажет очевидные характеристики концентратора платформы, которые в основном отражаются в характеристиках многоуровневого, сильного взаимодействия и диверсификации.

С точки зрения многоуровневости, она сформирует межрегиональную крупную энергосистему, сильную энергосистему регионального уровня, активную распределительную сеть, мульти-энергетическую микросеть, и обеспечит оптимальный режим совместной работы, а многоуровневая энергосистема будет реализовывать различные функции, такие как взаимная помощь в энергоресурсах, поддержка безопасности, гибкое реагирование и локальный баланс мощности и энергии.

С точки зрения тесного взаимодействия, помимо принятия на себя основных функций передачи электроэнергии, энергосистема будет преобразована в платформу-хаб для межрегиональной взаимопомощи,

совместного использования резервных копий и взаимодействия источника и нагрузки баланса спроса и предложения электроэнергии.

С точки зрения диверсификации, будущая энергосистема будет не только оптимальной платформой для распределения потоков электроэнергии, но и платформой управления для интеграции информации, энергии и ключевых ценностей, включая поток выбросов углерода, поток затрат и цифровой поток информации.

Электрические нагрузки. В будущем элементы нагрузки новой энергосистемы будут гибкими, диверсифицированными и мульти-энергетически интегрированными.

С точки зрения гибкости, цифровые технологии объединят массивных распределенных потребителей, лягут в основу построения виртуальных электростанций и активных распределительных сетей, а также реализуют обширное взаимодействие между источником и нагрузкой.

С точки зрения диверсификации, появится большое количество новых объектов нагрузки, таких как центры обработки данных, электромобили и т. д., а некоторые объекты нагрузки будут иметь оборудование для хранения энергии и оборудование распределенной генерации.

С точки зрения мульти-энергетической интеграции, опираясь на технологии мульти-энергетического преобразования энергии, такие как электрическое отопление, электрическое охлаждение и электрический газ, для достижения совместной оптимизации нескольких энергий, включая электричество, тепло, охлаждение и газ, а также реализации гибкой замены различных энергоресурсов с точки зрения времени. Кроме того, она также будет полагаться на электроэнергию для производства аммиака и других технологий преобразования электроэнергии в неэлектрическую энергию для реализации комплексного развития электроэнергии, водорода, аммиака и других источников энергии.

Аккумуляция энергии. Накопитель энергии новой энергосистемы сформирует многовременную и пространственно-временную систему

накопления энергии из нескольких звеньев и нескольких временных масштабов. В долгосрочном масштабе сезонное хранение энергии будет реализовано за счет хранения водорода, газа, тепла и т. д., обеспечивая межсезонную взаимодополняемость энергии. В среднесрочном масштабе технологии хранения энергии, такие как гидроаккумулирование и сжатый воздух, предназначены для обеспечения дневного резерва мощности и снижения пиков мощности, а также для обеспечения возможностей внутрисуточного реагирования на спрос за счет агрегирования большого количества распределенных электромобилей на стороне пользователя. В краткосрочной перспективе применяется кратковременное накопление энергии на основе электрохимии и предоставляются вспомогательные услуги, включая виртуальную генерацию, частотную модуляцию и т. д.

Углеродная нейтральность. В будущем тенденция развития и морфологическая эволюция энергосистемы будут трансформированы во внешний движущий механизм энергосбережения, сокращения выбросов и низкоуглеродного развития.

Во-первых, макроэкономическая среда развития и политические механизмы для низкоуглеродного перехода, включая углеродные налоги, углеродные квоты и механизмы торговли квотами на выбросы углерода, создадут новые возможности развития и вызовы для энергетической отрасли, а также будут способствовать прорывам, инновациям и активному развитию низкоуглеродных технологий.

Во-вторых, под давлением целей по сокращению выбросов углерода углеродные ограничения будут введены в энергетические, энергосетевые объекты, генерацию и накопители энергии энергосистемы и будут стимулировать структурную эволюцию энергосистемы в сторону низкоуглеродной.

Цифровые технологии. Опираясь на цифровую трансформацию, новая энергосистема представит характеристики глубокой интеграции информационных и энергетических систем. На уровне физической системы,

во-первых, энергосистема реализует информационный мониторинг состояния энергетического оборудования с помощью маломощных миниатюрных сенсорных устройств на основе чипов, а затем создает сенсорную сеть для сбора в режиме реального времени информации о состоянии магистральной и распределительной электросети для создания цифрового двойника, объединяющего информацию, энергию и физику. На этой основе, опираясь на большие данные об энергосистеме и платформу искусственного интеллекта, принимаются интеллектуальные решения о совместной интерактивной работе и оптимальном управлении энергосистемой, электросетью, генерацией и системой накопления энергии.

На уровне управления цифровая трансформация и модернизация энергосистемы будут способствовать созданию цифровой энергетической инфраструктуры, созданию новой интеллектуальной операционной системы, которая поддерживает совместное взаимодействие генерации, электросети, потребления и хранения энергии, реализует межэнергетическое и межотраслевое гибкое взаимодействие с электрической сетью в качестве центральной части, поможет электросети перейти на энергетический интернет и построить высококачественную новую энергосистему.

3. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

3.1 Возобновляемые источники энергии

Недавно Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) опубликовало отчет «Статистика установленной мощности возобновляемых источников энергии за 2022 год»[8], показывающий, что к концу 2022 года общая установленная мощность производства электроэнергии из возобновляемых источников энергии в мире достигла 3,372 миллиарда киловатт, а установленная мощность достигла 295 миллионов киловатт, увеличившись в годовом исчислении на 9,6%, что является рекордным показателем. Мало того, в мировой установленной мощности в прошлом году доля новых установленных мощностей возобновляемых источников энергии, в основном фотоэлектрической и ветровой, достигла 83%, сохраняя абсолютную основную позицию.

Китай лидирует в мире по росту установленной мощности возобновляемых источников энергии, данные IRENA показывают, что в 2022 году в Азии, Северной Америке и Европе наблюдались хорошие темпы роста установок возобновляемых источников энергии. Среди них Азия добавила более половины новых установленных мощностей в мире, достигнув в общей сложности 174,9 миллиона киловатт, а установленная мощность возобновляемых источников энергии увеличилась на целых 12% в годовом исчислении. Установленная мощность возобновляемых источников энергии в Китае достигла 141 миллиона киловатт, став основной движущей силой, ведущей к росту установленной мощности возобновляемых источников энергии в регионе и даже в мире.

За тот же период Ближний Восток был самым быстрорастущим регионом в мире по установкам возобновляемых источников энергии, добавив в прошлом году 3,2 миллиона киловатт мощностей возобновляемых источников энергии, увеличившись на 12,8%. Кроме того, в 2022 году

установленная мощность возобновляемых источников энергии в Африке достигла 2,7 миллиона киловатт, что немного больше, чем в предыдущем году; В Южной Америке установленная мощность возобновляемых источников энергии достигла 18,2 миллиона киловатт, что также сохранило ее восходящую динамику. В Европе и Северной Америке было установлено 57,3 ГВт и 29,1 ГВт установок возобновляемой энергии соответственно.

Агентство отметило, что в прошлом году рост производства электроэнергии из возобновляемых источников энергии и доля установленной мощности произошел, с одной стороны, из-за увеличения применения возобновляемых источников энергии в странах по всему миру, а с другой стороны, из-за масштабного вывода из эксплуатации невозобновляемых источников энергии во многих странах, что подтолкнуло рост спроса на использование возобновляемых источников энергии.

Франсиско Ла Кармена, генеральный директор IRENA, сказал: «Спрос на энергию продолжает расти во многих странах мира, и энергетический переход требует поэтапного сдвига не только для декарбонизации предложения, но и для изменения стратегии. Любые новые невозобновляемые источники энергии должны способствовать энергетическому переходу, делая энергетическую систему более устойчивой, инклюзивной и более устойчивой к изменению климата» [10].

Фотоэлектрическая и ветровая энергия являются абсолютными главными действующими лицами роста зеленой энергетики, и с развитием различных видов возобновляемой энергии в прошлом году производство фотоэлектрической и ветровой энергии стало абсолютными «главными героями» нынешних глобальных новых мощностей по производству электроэнергии.

Данные показывают, что в 2022 году на новые установки солнечной и ветровой энергии приходилось более 90% дополнительной установленной мощности производства возобновляемой энергии. Среди них во всем мире темпы роста установленной мощности солнечной энергии в прошлом году

были наиболее очевидными, общая установленная мощность увеличилась до 22% в годовом исчислении, а в приложениях солнечной энергии новая установленная мощность производства фотоэлектрической энергии достигла 191 миллиона киловатт, что было особенно заметно. Напротив, темпы роста ветроэнергетических установок относительно стабильны: в прошлом году во всем мире было установлено 75 миллионов киловатт новых ветроэнергетических мощностей, а общая установленная мощность увеличилась примерно на 9%.

Гидроэнергетика по-прежнему является возобновляемой энергией с самой высокой долей установленной мощности в мире, увеличившись на 21 миллион киловатт в 2022 году. Темпы роста оставались стабильными. Кроме того, глобальная установленная мощность биомассы, геотермальной энергии и автономной энергии также сохранила тенденцию к росту в прошлом году. Франсиско Ла Кармена отметил, что в то время, когда энергетический кризис не дает покоя, глобальные возобновляемые источники энергии по-прежнему находятся на рекордно высоком уровне, демонстрируя устойчивость этого рынка. Есть много крупномасштабных историй успеха в области возобновляемых источников энергии в сочетании с благоприятной политической поддержкой, так что доля возобновляемых источников энергии в глобальной энергетической структуре из года в год сохраняет тенденцию к росту.

Недостаточный рост установок возобновляемых источников энергии: Нынешние рекордные темпы роста установок возобновляемых источников энергии по-прежнему недостаточны перед лицом климатической цели по ограничению повышения глобальной температуры до 1,5 градусов по Цельсию.

Статистика IRENA показывает, что в 2022 году общий объем глобальных инвестиций в энергетический переход, повышение энергоэффективности и другие связанные с этим технологии достиг рекордного уровня в 1,3 триллиона долларов США, а инвестиции в

возобновляемые источники энергии также достигли 0,5 триллиона долларов США, но для достижения цели повышения температуры на 1,5 градуса Цельсия общий объем ежегодных инвестиций в энергетический переход и другие области должен достичь более 5 триллионов долларов США, а годовая установленная мощность возобновляемых источников энергии должна более чем удвоиться по сравнению с текущим уровнем.

IRENA также отметила, что к 2030 году совокупные инвестиции в такие области, как энергетический переход, должны достичь 44 триллионов долларов США, из которых 80% инвестиций в технологии энергетического перехода должны быть учтены, и необходимо сосредоточить внимание на таких областях, как повышение эффективности, электрификация, расширение сети и гибкость[12].

Кроме того, данные также показывают, что в прошлом году по-прежнему существуют большие региональные различия в глобальной установленной мощности возобновляемых источников энергии: на Китай, Европейский союз и Соединенные Штаты приходится 2/3 от общей установленной мощности возобновляемых источников энергии, а темпы роста установленной мощности других стран относительно низкие. В связи с этим IRENA рекомендует, чтобы в целях дальнейшего содействия энергетическому переходу в будущем мы постарались направить государственные средства в страны и регионы с большим потенциалом, но трудно привлечь инвестиции, сосредоточиться на поддержке построения инфраструктуры энергетического перехода и использовать политические рамки для поощрения инвестиций и устранения сохраняющихся социально-экономических разрывов. Новые инвестиционные решения также должны быть более тщательно оценены, чтобы стимулировать энергетический переход при одновременном снижении риска застывших активов.

В настоящее время подавляющее число систем ВИЭ мира представлено монокомплексами. К ним относятся ветроэнергетические фермы, солнечные электрические станции, малые ГЭС, геотермальные ТЭС и ЭС и т. д.

Самые крупные монокомплексы ВИЭ применяются в следующих странах:

-США, Китай, Германия (ветровые фермы, солнечные фотоэлектрические станции);

-Франция (приливная электростанция «Ранс»),

-Япония, Ю. Корея (солнечные ФЭС);

-США, Италия, Исландия (геотермальные).

Их характеристики широко представлены в литературе, учебно-методических материалах и электронных средствах информации.

Среди самых больших по установленной мощности моностанций – ВЭС в штате Калифорния (США) – установленной мощностью 1550 МВт; ветроморская ВЭС HornsRev 2, расположенная в Северном море, в 30 км от западного побережья Ютланда (Дания), мощностью 210 МВт;

по фотоэлектричеству – в КНР, установленная мощность в конце 2010 г. составляла 900 МВт, к 2012 г. – уже 2 ГВт, а целевой показатель КНР к 2022 году – 30 ГВт установленной мощности;

из строящихся ФЭС – в США (штат Калифорния, округ Сан Луис Обиспо), общая мощность составляет ≈ 550 МВт.

Мощность солнечных тепловых коллекторов, работающих по всему миру, составила 290,2 ГВт (при занимаемой площади в 250 миллионов квадратных метров) к концу 2014 года. Среди них 188,4 ГВт относятся к плоским с остеклением и вакуумированным коллекторами 27,4 ГВт к плоским без остекления. Мощность воздушных коллекторов составила 1,8 ГВт.

подавляющее большинство установок находится в Китае (114,5 ГВт), Европе (33,1 ГВт) и США и Канаде (19,6 ГВт), что вместе составляет 88,2 % от общей установленной мощности.

Остальную часть делят между собой Австралия и Новая Зеландия (5,7 ГВт), Южная Америка (5,4 ГВт), прочие азиатские страны, такие как Южная Корея, Тайвань, Тайланд, Индия (5,1 ГВт), Япония (4,9 ГВт), Израиль и

Иордания (3,8 ГВт) и некоторые страны Африки (1,4 ГВт).

Солнечная активность и размещение солнечных электростанций в Китае показано на рисунке 3.

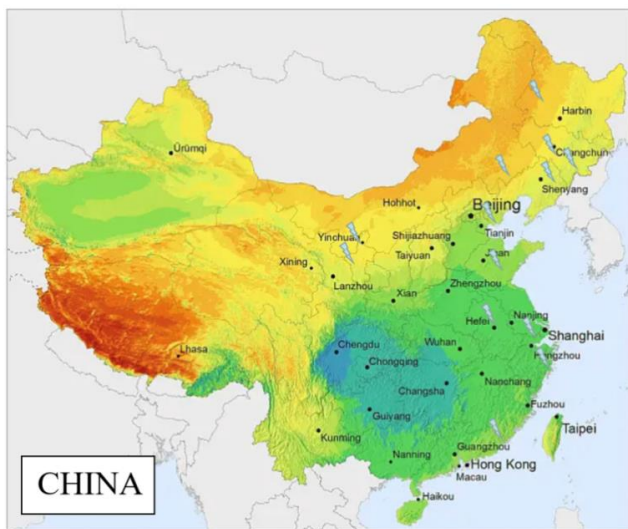


Рисунок 3 – Солнечная активность и размещение солнечных электростанций на территории Китая.

Место ВИЭ в классификации комплексных систем приведена на рис. 4



Рисунок 4-Место ВИЭ в системе общей классификации комплексных систем

Рассмотрим пример реализации комплексных систем на основе ВИЭ (см. рис. 5)

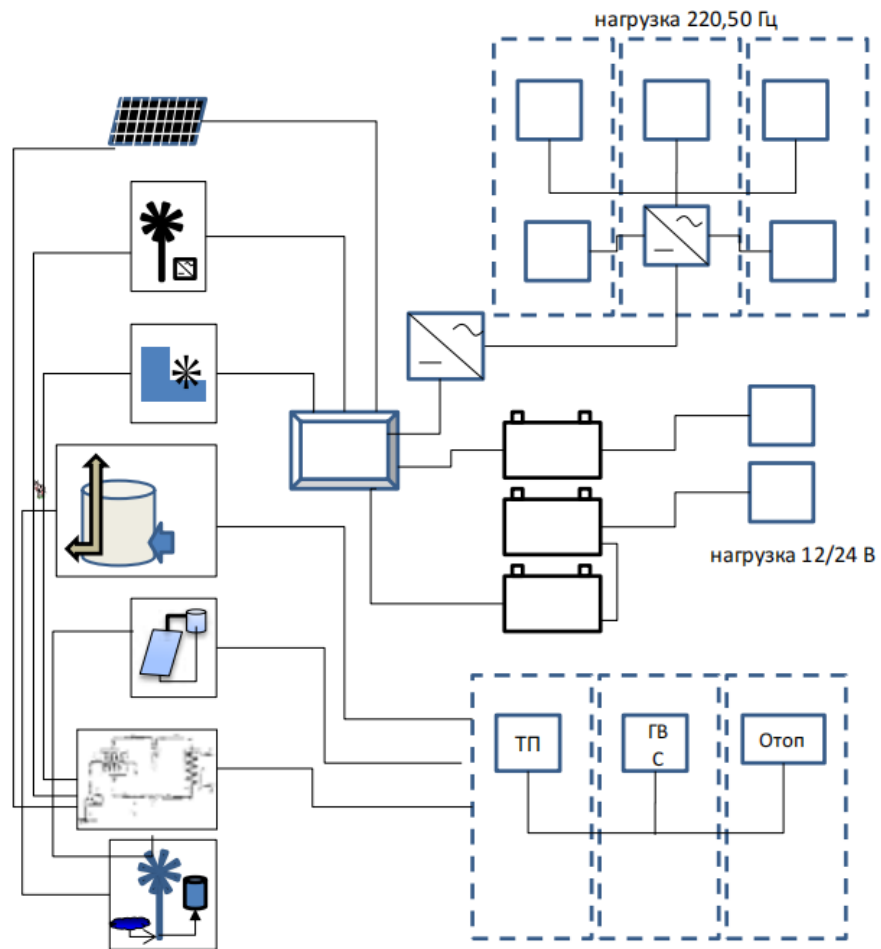


Рисунок 5 -Пример окта- КС ВИЭ на объекте «Энергоэффективный дом» в составе: солнечные ФЭП; ВЭУ; микро ГЭС; биогазовая установка (БГУ); солнечные коллекторы (СК); тепловой насос (ТН); ветронасос (ВН), АКБ

Рассмотрим примеры реализации структурных схем комплексных систем на основе ВИЭ (гибридных электростанций) (см. рис. 6 - 8)



Рисунок 6 - Структурная схема ветродизельной установки (ВЭУ – ветроэнергетическая установка; ДЭС – дизельная электростанция; ТЭН – тепловой электронагреватель; АБ – аккумуляторная батарея)



Рисунок 7 - Структурная схема ветросолнечной установки: ФЭП – фотоэлектрический преобразователь; ДЭС – дизельная электростанция; ТЭН – тепловой электронагреватель; АБ – аккумуляторная батарея

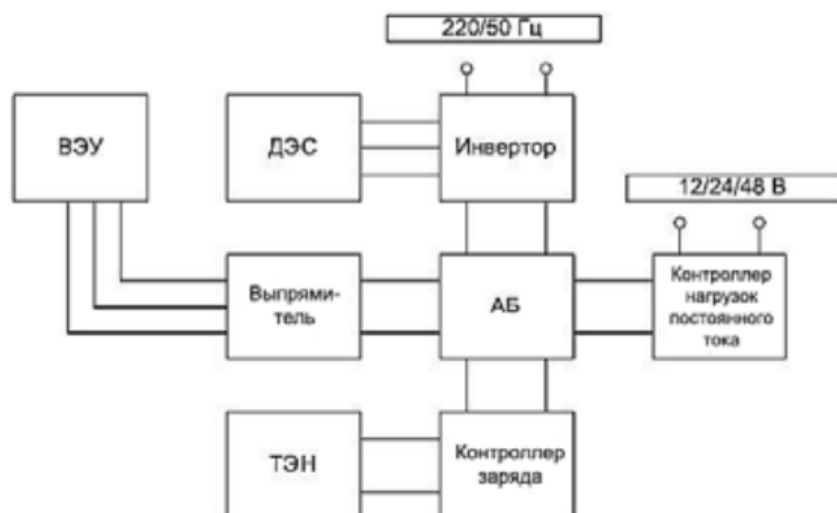


Рисунок 8 -Структурная схема энергокомплекса ветро-гидроэлектростанция:

ВЭУ – ветроэнергетическая установка; мини-ГЭС – мини-гидроэлектростанция; АБ – аккумуляторная батарея

3.2 Цифровые подстанции

При построении цифровых подстанций в Китае в магистерской диссертации принято решение использовать опыт Российской федерации. Рассмотрим основные характеристики цифровой подстанции на примере России.

«Цифровая подстанция – это подстанция, оснащенная комплексом цифровых устройств, обеспечивающих функционирование систем релейной защиты и автоматики, учета электроэнергии, АСУ ТП, регистрации аварийных событий по протоколу МЭК61850. Цифровая подстанция обладает многочисленными преимуществами по сравнению с традиционной подстанцией».

К ним относятся:

- более простая установка (гораздо меньше проводки);
- совместимость между устройствами, производимыми разными производителями;
- повышение надежности;

- улучшенная точность измерений и запись информации;
- улучшение ввода в эксплуатацию и эксплуатации;
- легкое включение современных электронных датчиков СТ и VT;
- более высокая производительность ЭМС и изоляция цепей.

Рассмотрим структуру цифровой подстанции поподробнее (рисунок 9).

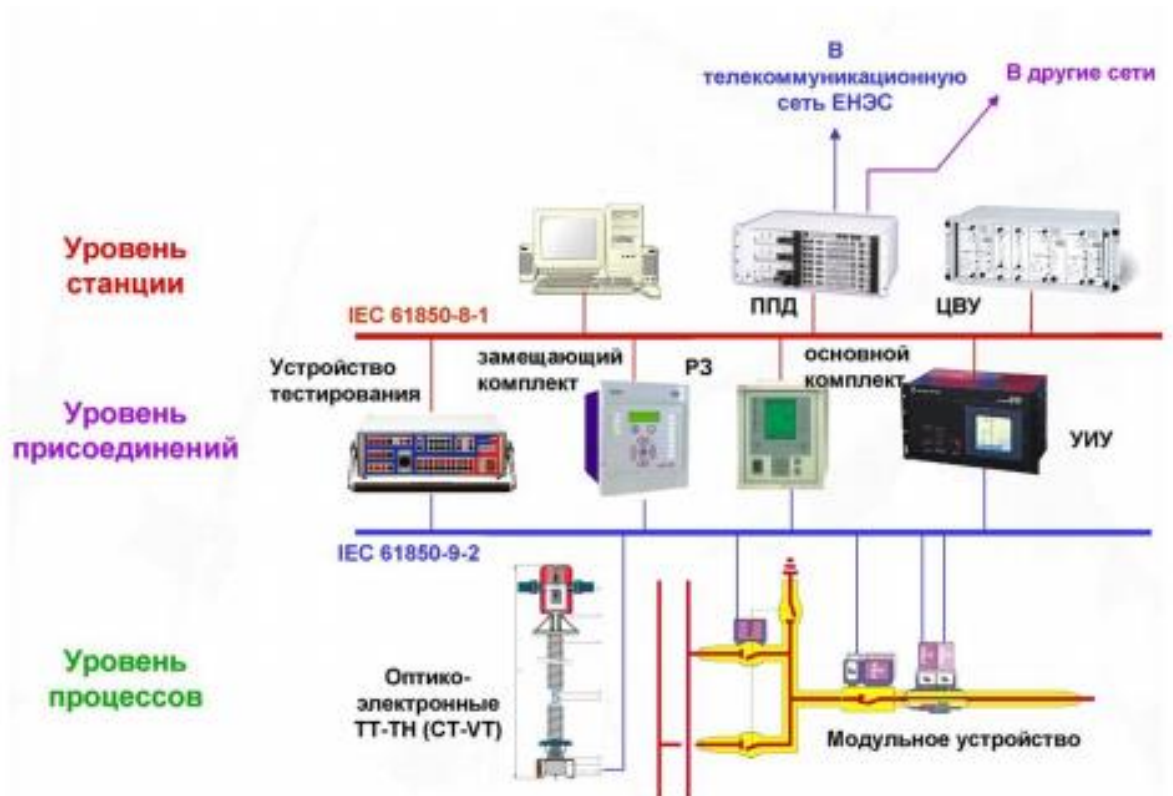


Рисунок 9 - Структура цифровой подстанции

Существует 3 иерархических уровня подстанции.

- **Уровень процесса.** Уровень процесса находится в нижней части иерархии. Он включает в себя все первичные устройства, такие как распределительные устройства высокого напряжения или среднего напряжения и трансформаторы. Он также содержит устройства интерфейса процесса, такие как модули объединения и блокирующие устройства (интеллектуальные электронные устройства).

– **Уровень присоединения.** Этот уровень включает все контрольные и защитные СВУ. Электронное оборудование для контроля, защиты, связи и других функций, таких как мониторинг и диагностика, часто упоминается как вторичное оборудование.

– **Станционный уровень.** Уровень станции включает в себя главным образом оборудование для управления и защиты станции, станцию НМІ, регистраторы помех и способы передачи данных, например, в центр управления сетью. Другие важные функции, такие как питание вспомогательной станции, не упоминаются в явном виде.

Схемы РУ цифровой ПС разрабатываются при проектировании исходя из:

- необходимого числа коммутаций присоединений;
- необходимости перспективного развития ПС;
- обеспечения требуемой надежности работы РУ;
- обеспечения возможности и безопасности проведения ремонтных и эксплуатационных работ на отдельных элементах. Применение отделителей и короткозамыкателей не допускается. Схемы РУ цифровой ПС как правило должны быть типовыми.

Количество трансформаторов и автотрансформаторов, устанавливаемых на ПС, принимается, как правило, два. Установка более двух трансформаторов (автотрансформаторов) принимается на основе технико-экономических расчетов.

При необходимости независимого регулирования напряжения на шинах РУ, подключенных к обмоткам НН автотрансформаторов, допускается предусматривать установку линейных регулировочных трансформаторов в случае, если уровень требуемого напряжения не обеспечивается другими способами.

При питании потребителей от обмотки НН трехобмоточных трансформаторов с РПН для обеспечения независимого регулирования напряжения при наличии технико-экономического обоснования может

предусматриваться установка линейных регулировочных трансформаторов на одной из сторон трансформаторов.

При необходимости ограничения токов КЗ на стороне 6-20 кВ, предусматриваются мероприятия с применением:

- трехобмоточных трансформаторов с максимальным сопротивлением между обмотками ВН и НН и двухобмоточных трансформаторов с повышенным сопротивлением;

- трансформаторов с расщепленными обмотками 6-20 кВ;

- токоограничивающих реакторов на стороне СН и НН трансформаторов, причем отходящие линии выполняются, как правило, неактивными;

- обмоток НН классом напряжения 20 кВ.

Выбор варианта ограничения токов КЗ следует обосновывать технико-экономическим сравнением с учетом обеспечения качества и снижения величины потерь электроэнергии.

При необходимости компенсации емкостных токов в сетях 6-35 кВ на ПС должны устанавливаться дугогасящие заземляющие реакторы преимущественно с плавным автоматическим регулированием индуктивности или емкости и селективной сигнализацией замыкания на землю, либо применяться резистивное заземление нейтрали с устройством соответствующей быстродействующей автоматики отключения поврежденных участков сети.

На напряжении 35 кВ дугогасящие реакторы присоединяются, как правило, к нулевым выводам соответствующих обмоток трансформаторов через развилку из разъединителей, позволяющую подключать их к любому из трансформаторов.

На напряжении 6 и 10 кВ дугогасящие реакторы подключаются к нейтральному выводу отдельного трансформатора, подключаемого к сборным шинам через выключатель.

Применяемые схемы должны обеспечивать возможность расширения РУ в перспективе путем резервирования места для дополнительных ячеек.

При разработке схем РУ цифровой ПС рекомендуется также руководствоваться соответствующими положениями следующих документов:

–СТО56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС);

–СТО 34.01-21.1-001-2017 Распределительные электрические сети напряжением 0,4-110 кВ. Требования к технологическому проектированию;

–СТО56947007-29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения»;

–СТО56947007-29.240.30.047-2010 Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35-750 кВ;

–СТО56947007-29.240.35.164-2014 КРУЭ на номинальные напряжения 6-35 кВ. Типовые технические требования;

–СТО56947007-29.060.10.005-2008 Руководящий документ по проектированию жесткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110-500 кВ. В случае противоречий следует руководствоваться требованиями настоящего стандарта.

Требования к интеграции цифровой подстанции в систему цифровой электрической сети.

Цифровая ПС является элементом (объектом, узлом) цифровой электрической сети.

Интерфейс между ПТК цифровой ПС и ПТК управления цифровой ЭС должен строиться по следующим принципам:

– ПТК цифровой ПС должен вести актуальную информационную модель основного оборудования и средств защиты и управления на основе правил, определенных МЭК 61850;

– ПТК цифровой ПС должен по запросу ПТК цифровой ЭС экспортировать модель полностью или ее часть в формате SCD (МЭК 61850-6);

– ПТК цифровой ЭС должен иметь возможность загрузки и последующего импорта информационной модели подстанции, как в виде файла, так и в режиме онлайн с использованием сервисов в соответствии с требованиями МЭК 61850;

– ПТК цифровой ПС должен являться владельцем модели подстанции, которая должна содержать всю необходимую информацию относительно оборудования энергообъекта;

– для обеспечения целостности и непротиворечивости модели изменение структуры информационной модели допускается только на уровне ПТК цифровой ПС с последующим импортом в ПТК цифровой ЭС;

– ПТК цифровой ПС должен обеспечивать передачу текущей информации в подсистему ведения общей информационной модели ПТК цифровой ЭС с использованием, объектно-ориентированных протокола МЭК 61850-8-1 (MMS), МЭК 61850-90-2;

– ПТК цифровой ЭС должен обеспечивать передачу в ПТК цифровой ПС команд управления и результаты работы аналитических функций относительно оборудования цифровой ПС (данные определения состояния оборудования, диагностические данные, данные по результатам достоверизации принятой информации и др.).

Требования к системам связи и сети передачи данных между ПТК цифровой ПС и ПТК управления цифровой ЭС:

– сеть передачи данных между цифровой ПС в ЦУС должна строиться как широкополосная мультисервисная единая транспортная среда с обеспечением обмена всеми видами соответствующей информации (звуковой, видео и др.) с гарантированным качеством;

– задержка передачи информации не должна превышать 100 мс для технологических нужд и не более 150 мс для корпоративных приложений;

– окончное оборудование связи должно иметь следующие типы интерфейсов:

Ethernet 1000 Base-SX;

FXO, FXS, E&M;

E1, nx64 кбит/с (опционально);

– для передачи технологической информации сеть передачи данных должна обеспечивать не менее двух независимых взаиморезервируемых маршрутов передачи IP-трафика;

– для обеспечения высокого уровня коэффициента готовности узел связи ПС должен иметь две независимые территориально разнесенные линии связи с сетью передачи данных (два независимых «ввода»).

При проектировании средств связи и видов передачи данных рекомендуется также учитывать положения стандарта СТО56947007-29.240.10.256-2018 Технические требования к аппаратно-программным средствам и электротехническому оборудованию ЦПС.

3.3 Компонировка цифровой подстанции

Требования к выбору площадки для строительства цифровой подстанции. Выбор площадки для строительства цифровой ПС должен производиться в соответствии с требованиями Градостроительного, Земельного, Лесного, Водного кодексов РФ, действующих нормативно-правовых актов, вт.ч. по охране окружающей среды, обеспечению экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов и соответствующих схем развития электрических сетей.

Площадка цифровой ПС по возможности должна размещаться вблизи центра электрических нагрузок, автомобильных и железных дорог, существующих инженерных сетей и коммуникаций.

При размещении площадки цифровой ПС должны соблюдаться размеры соответствующих санитарно-защитных зон, которые обеспечивают уменьшение негативного воздействия (шума, электромагнитного излучения и др.) до значений, установленных действующими нормативами.

При выборе площадки цифровой ПС необходимо обеспечивать наиболее оптимальные условия для заходов ЛЭП соответствующих классов напряжений.

Размещение цифровой ПС должно производиться с учетом наиболее рационального использования земель, как на расчетный период, так и с учетом последующего возможного расширения цифровой ПС.

При выборе площадки для строительства цифровой ПС рекомендуется также руководствоваться соответствующими положениями СТО 56947007-29.240.10.248-2017 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» и СТО 34.01-21.1-001-2017 «Распределительные электрические сети напряжением 0,4-110 кВ. Требования к технологическому проектированию».

Цифровая ПС может проектироваться как открытого типа, так и закрытого типа.

Сооружение цифровой ПС закрытого типа следует, как правило, предусматривать в случаях:

расположения цифровой ПС в черте крупных городов с интеграцией в архитектурный облик города;

расположения цифровой ПС в зонах сильных промышленных загрязнений;

необходимости снижения уровня шума до допустимых пределов, в случае неэффективности иных методов снижения шума (экраны шумоглушения, установка оборудования между зданием ОПУ (ЗРУ) и селитебной территорией);

исключения влияния внешних климатических факторов.

Открытые цифровые питающие центры, как правило, должны проектироваться с учетом следующих положений:

ОРУ 35, 110 кВ должны выполняться комплектными, максимального заводского изготовления;

ОРУ 220 кВ должно выполняться по возможности в блочном исполнении максимального заводского изготовления;

ОПУ в виде здания модульного или контейнерного типа заводского исполнения;

РУ 6/10/20/35 кВ в виде КРУН наружной установки или здания модульного или контейнерного типа заводского исполнения (ОПУ и ЗРУ 6/10/20/35 кВ в одном здании).

При проектировании цифровой ПС открытого типа необходимо рассматривать возможность применения КРУЭ наружной установки, а также комплектных модульных элегазовых ячеек с возможностью визуального контроля видимого разрыва (смотровые окошки), либо наличием механических указателей гарантированного положения контактов.

Компоновка и конструкция ОРУ цифровой ПС должны обеспечивать возможность проведения ремонта и технического обслуживания оборудования, зданий и сооружений с применением автокранов, гидроподъемников или телескопических вышек преимущественно без снятия напряжения с соседних присоединений, а также возможность подъезда передвижных лабораторий, автотранспорта ремонтных служб к оборудованию для проведения испытаний, ремонтных и профилактических работ.

Выбор типа ошиновки ОРУ (гибкая, жесткая) должен выполняться на основании механического расчета ошиновки для определения максимальных усилий в ошиновке, стрел провеса, отклонений для различных сочетаний ветровых, гололедных и температурных воздействий. Жесткая ошиновка выбирается с учетом наибольшего допустимого прогиба от собственного веса, веса ответвлений и гололедных отложений, а также расчетных ветровых и электродинамических воздействий.

ОПУ на цифровой ПС должно проектироваться с учетом отсутствия постоянного дежурного персонала, необходимости размещения устройств РЗА, АСУ ТП, АИИС УЭ, связи и др.

Цифровая ПС закрытого типа, как правило, должна проектироваться с применением КРУ.

Компоновка элегазового ЗРУ должна быть симметричной, все три фазы одной ячейки должны располагаться рядом друг с другом, а также предусматривать возможность расширения КРУЭ.

Рекомендуется при проектировании цифровой ПС закрытого типа, предусматривать с учетом соответствующего технико-экономического обоснования применение закрытых, литых токоотводов, не требующих обслуживания.

В ЗРУ и в закрытых камерах трансформаторов и автотрансформаторов, помещении КРУ должны предусматриваться стационарные грузоподъемные устройства необходимой грузоподъемности или должна быть обеспечена возможность применения грузоподъемных устройств (самоходных, передвижных, инвентарных) для механизации ремонта и технического обслуживания оборудования.

Температура и влажность в помещениях ЗРУ с оборудованием должна соответствовать установленным нормативным требованиям и рекомендациям производителей основного и вспомогательного оборудования и устройств.

В зале КРУЭ, кабельных помещениях под залами КРУЭ, помещениях для хранения баллонов с элегазом должна быть выполнена приточно-вытяжная вентиляция. Вентиляция должна обеспечивать обмен воздуха в зале КРУЭ, помещениях для хранения баллонов с элегазом и забор воздушной среды из кабельных помещений и кабельных каналов. В зале КРУЭ должна быть предусмотрена установка системы автоматизированного контроля загазованности для контроля недопустимой концентрации элегаза в помещении.

В здании цифровой ПС, при соответствующем обосновании, должно предусматриваться вспомогательное помещение (помещения) для хранения газотехнологического оборудования и элегаза, ЗИП, установок и приборов

для проведения высоковольтных испытаний (при необходимости),
помещений для ремонтного персонала.

4. ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА НОВУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ

4.1 Сдвиг в модели развития

Новые бизнес-структуры энергосистем уходят от сегментации различных источников энергии, как было ранее, в результате чего появляются огромные возможности для развития, но есть также много политических и технических проблем. Чтобы совершить прорыв в бизнесе новых энергосистем, рекомендуется начать с разработки и применения инновационных технологий, сформировать новую бизнес-систему и систему обслуживания, основанную на применении и управлении новыми инновационными технологиями. В то же время необходимо консолидировать преимущества традиционных технологий, энергично поддерживать исследования и разработки в области энергетических технологий, а также исследования и разработки в области информационных технологий, интегрировать внутренние и внешние ресурсы для формирования соответствующих направлений исследований и разработок и активно изучать новые модели для расширения бизнеса новых энергосистем с основными технологическими продуктами, такими как исследования и разработки новых платформ управления энергосистемой, применяемых к реализуемым инженерным проектам, накопление данных и их систематизации посредством анализа данных, использовать итерационные методы оптимизации в проектировании, возможности инженерного консалтинга и способствовать развитию инженерного бизнеса за счет обеспечения высокой репутации получаемых результатов.

4.2 Задача построения новой энергосистемы

В новой энергосистеме Китая новая энергия постепенно становится доминирующим источником энергии. Из-за множества неопределенных факторов в процессе производства новой энергии, а также из-за того, что помехозащищенность ее оборудования невелика, в определенной степени существуют потенциальные угрозы безопасности. Чтобы устранить угрозы

безопасности, необходимо продолжать разрабатывать и инвестировать в новые энергосистемы, что также увеличит их эксплуатационные расходы, вызывая экономическое давление. Чтобы разумно поддерживать баланс между окружающей средой, экономикой и безопасностью, необходимо постоянно оптимизировать рынок цен на электроэнергию, регулирование механизма работы и связанную с этим политику.

4.2.1 Проблема достаточности

Общее время использования новой энергии в Китае относительно короткое. К концу 2020 года общее количество часов использования новой энергии в Китае будет намного ниже, чем нагрузка энергосистемы, и для того, чтобы доля новой энергии продолжала расти, необходимо увеличивать ее установленную мощность. В настоящее время среднесуточная выработка новой энергии в различных регионах Китая все еще находится на низком уровне, трудно обеспечить непрерывное электроснабжение, и необходимо сотрудничать с крупной электросетью для обеспечения надежности электроснабжения, что требует реинвестирования. В то же время новая энергия имеет волатильность из-за своих особенностей, а время колебания велико. В период малых нагрузок энергосистема должна включать традиционные источники питания для поддержания баланса мощности и энергии, а в период максимума нагрузок использовать накопленную энергию и источники новой энергии, это будет стимулировать развитие систем накопления энергии, энергетической безопасности.

Суточная мощность новой энергии также имеет большие колебания, причем в течение 15 минут максимальное колебание мощности может достигать 10% от пиковой нагрузки, и обычные источники питания трудно компенсируют такие колебания. Для координации решения по прохождению максимума нагрузки энергосистемы требуется крупномасштабное накопление энергии. Сезонные характеристики также будут оказывать определенное влияние на выработку новой энергии, что также позволит источнику новой энергии иметь определенную степень нестабильности.

Например, в новом типе энергии, который использует энергию ветра для выработки электроэнергии, время выработки электроэнергии в основном сосредоточено весной и зимой, и эта неопределенность негативно повлияет на общую мощность новой энергии и увеличивает сложность генерального планирования.

Во-вторых, будет определенная степень погрешности в предсказании мощности новой энергии. Из-за разного рельефа в разных регионах Китая типы климата в разных местах также разные, с сильными колебаниями, в результате чего трудно делать точные прогнозы.

4.2.2 Вызовы безопасности

Непрерывное внедрение новой энергии будет продолжаться и вытеснять традиционные источники энергии, а доля нагрузки будет продолжать увеличиваться, что приведет к постоянному снижению генерируемой мощности и трудностям регулирования частоты всей энергосистемы. В конечном итоге это приведет к постоянному увеличению частотного регулирования, амплитуда колебаний будет продолжать увеличиваться, отклонение частоты энергосистемы в установившихся режимах будет продолжать расширяться, а риск превышения предела устойчивости, с которым будет сталкиваться вся система, будет продолжать расширяться. Добавление новой энергии уменьшит установившееся отклонение частоты во всей системе, но, поскольку инерция всей системы не была улучшена, система с низкой инерцией по-прежнему будет иметь потенциальный риск превышения предела устойчивости. Компенсация реактивной мощности при новой мобильной конфигурации сети хуже, чем в традиционной системе. Отсюда процесс производства новой энергии должен учитывать требования по необходимой реактивной мощности потребителю подключаться к электросети в момент дефицита реактивной мощности в энергосистеме. В то же время расстояние между источником и основной сетью велико, достигая в 2 ~ 3 раза больших размеров, чем у обычного блока. С быстрым увеличением доли новой энергии во всей промышленности Китая

снижается динамическая устойчивость и способность поддерживать ее во всей системе продолжает снижаться, в результате чего во всей системе трудно поддерживать стабильность напряжения. В районах с высокой мощностью производства новой энергии, новая энергия непрерывно подключается к энергосистеме различными способами, что может приводить к короткому замыканию во всей системе, и общая мощность системы будет снижаться, а также снижается резервная мощность системы, что увеличивает сложность переходных процессов и может превышать пропускную способность оборудования, вызывая некоторое повреждение оборудования, принося экономические потери. В конкретном процессе новых мощностей по производству энергии необходимо разработать метод управления конечным накопителем энергии, конкретные пути устранения неисправностей и правильно выбирать точку подключения к энергосистеме конкретного источника новой энергии, т. к. это будет оказывать определенное влияние на всю энергосистему. Необходимо сократить время, необходимое для устранения проблем с устойчивостью системы из-за постоянного снижения инерции источников энергии. Переходные процессы в таких системах увеличиваются. Поскольку на подключение источников новой энергии влияют такие факторы, как место подключения, это окажет определенное негативное влияние на стабильность всей энергосистемы, а также может привести к возникновению новых проблем со стабильностью и устойчивостью. Ускорение переходных процессов также будет продолжать увеличивать риск несоответствия, влияя на общую стабильность сети.

4.2.3 Институциональные вызовы для новых энергосистем

Новая энергетическая система и традиционные электрические станции сильно различаются с точки зрения оборудования, затрат на строительство и эксплуатацию, а также характеристик оборудования. Новая энергетическая система должна требует затрат на рабочую силу, техническое обслуживание системы и строительные материалы в течение всего процесса эксплуатации. По сравнению с традиционной тепловой энергией ее эксплуатационные

расходы очень низкие, что делает новую энергию очень низкой предельной стоимостью в случае полного использования производства новой энергии, так что выработка электроэнергии достаточна, и даже отрицательные цены на электроэнергию могут появиться на рынке энергии и мощности. С точки зрения характеристик новой энергетической системы, она обладает характеристиками чистой и зеленой энергии, но в то же время спрос на вспомогательные услуги высок, что ставит перед проектированием рыночного механизма ряд проблем. По мере увеличения доли новых источников энергии в отрасли число заинтересованных сторон на всем рынке также быстро увеличивается, а средняя цена снижается. Это вызывает интерес как со стороны поставщика, так и со стороны спроса на электроэнергию, и обеспечение динамического баланса между основными частями энергосистемы также сталкивается с риском нарушения в любой момент времени. В то же время его изменение выдвигает новые требования к сделкам на энергетическом рынке, механизмам управления производственной системой, проектированию и оптимизации систем.

В условиях продолжающейся трансформации энергетической отрасли существуют трудности в синергии между защитой окружающей среды, безопасностью, модернизации систем и конечными экономическими выгодами. Существует определенное противоречие между разнообразием целей, потребностью в энергетической стабильности и неопределенностью в процессе нового энергоснабжения, и каждая заинтересованная сторона имеет несколько атрибутов, что значительно увеличивает сложность проектирования системы, и трудно достичь управляемости в достижении конкретных целей, а сложность проектирования институциональных механизмов очень высока. В энергосистеме техническая составляющая системы и ее моделирование должны постоянно оптимизироваться. Конкретные условия для общего построения энергосистемы также будут претерпевать множество изменений в связи с быстрым развитием новой энергии. На всем рынке энергии и мощности существует множество видов

энергии, и технология ее моделирования нуждается в совершенствовании, а способность моделирования рынка и взаимодействие между разработкой и строительством источников новой мощности и практической эксплуатацией их еще не разработан и научно не обоснован такой механизм. Современные технологии недостаточны для обеспечения достаточной технической поддержки моделирования рынка и проектирования операционных механизмов его функционирования, что создает определенную степень сложности для долгосрочного планирования и проектирования функционирования системы.

С точки зрения развития энергетики, развитие энергетики Китая достигло стадии энергетической трансформации, и его задача состоит в том, чтобы проводить всесторонние исследования и разработки с точки зрения рынка и технологий. На этапе формирования новой энергосистемы среднесрочной целью является дальнейшее совершенствование политики, нормативно-правовых актов и механизма ценообразования на электроэнергию на потребительском рынке, построение новой энергосистемы и решение проблем безопасности при ее эксплуатации. Долгосрочная цель состоит в том, чтобы всесторонне сформировать энергетическую систему нового поколения, полностью решить проблему экологически чистых энергетических выбросов и безопасности энергетической энергии, а также всесторонне построить энергосистему с новой энергией в качестве основного органа.

Энергосистема представляет собой сложную инженерную систему, требующую регионального и многоотраслевого планирования и сотрудничества с учетом экономической эффективности, безопасности и воздействия на окружающую среду. Поэтому необходимо провести разумную реформу и инновации соответствующей политики и правил, управлять рыночными ценами на электроэнергию и продолжать разрабатывать новые технологии и новые средства для повышения осведомленности людей об энергосбережении и сокращении выбросов,

повышения энтузиазма людей и достижения всестороннего развития энергосистемы стабильным и упорядоченным образом.

4.3 Развитие новых энергосистем

Чтобы ускорить строительство новых энергосистем и построить новую энергосистему с постепенно увеличивающейся долей новой энергии, электрические сети и их дочерние компании в некоторых регионах использовали передовые цифровые технологии для реализации инновационного развития новых энергосистем, разработали инновационные практические приложения новых энергосистем с многостанционной интеграцией и многоэнергетической взаимодополняемостью, улучшили качество услуг электроснабжения и способствовали зеленому развитию местной экономики и общества. С громким призывом к цели «двойного углерода» строительство новой энергосистемы стало важной целью энергетики и энергетики.

В то же время существуют три основные проблемы.

Потребление и баланс. Быстрый рост ветровой и солнечной энергии, новая генерация электроэнергии и быстрый рост спроса на нагрузку привели к усилению неопределенности по обе стороны системы, т.е. у источника и нагрузки, увеличили сложность баланса мощности и периодическое возникновение проблем с сокращением генерации новой энергии в результате природных условий ее получения и перерывов в энергоснабжении. Сеть должна сбалансировать спрос и предложение между случайно колеблющимся спросом на нагрузку и случайно колеблющейся генерации энергии новыми источниками энергии.

Эксплуатация и контроль. С ускорением процесса строительства новой энергосистемы большое количество обычных управляемых блоков было заменено малой и непредсказуемой энергией ветра и солнечной энергии, момент инерции системы недостаточен, способность системы регулировать частоту значительно снижается, а частотные характеристики ухудшаются,

необходимо срочно улучшить работу и способность управления системой в стационарном состоянии и переходных режимах.

Надежность электроснабжения. Юньнаньская электросеть имеет широкий спектр электроснабжения и большие масштабы, а строительство новой энергосистемы привело к глубоким изменениям в форме и механизме энергосистемы. После того, как к распределительной сети подключается большое количество распределенных новых источников энергии, это увеличивает сложность диспетчеризации распределительной сети, что создает проблемы для надежности электроснабжения и качества электроэнергии.

Пути решения выявленных проблем.

С учетом вышеприведенных проблем сформированы семь ключевых направлений исследований на трех уровнях: управление на уровне станции, управление на уровне сети и регулирование на уровне системы, а также построение интеллектуальной системы планирования, объединяющей источник энергии, сеть, нагрузку и накопители для улучшения управления энергосистемой. В условиях стационарной работы необходимо полностью использовать регулируемую способность новой электростанции и в полной мере использовать вспомогательную роль самой новой электростанции в гибкой настройке системы. В ненормальном и аварийном состоянии электросети необходимо исследовать возможности самовосстановления, разработать технологии контроля устойчивости и технология управления самовосстановлением новой системы для усиления устойчивости в переходных режимах.

Распределенная генерация, мониторинг состояния системы и интерактивные технологии. Необходимо проведение исследований по технологии мониторинга, анализа и управления распределенной генерацией для реализации значительного, измеримого и кластерного управления распределенным электроснабжением. Нужна технология виртуального управления электростанцией. Необходимо провести исследование

технологии управляемой агрегации ресурсов и управления эксплуатацией виртуальных электростанций, предложить архитектуру кластерной системы виртуальных электростанций и технологию совместного управления операциями, а также провести исследование иерархического интерактивного рыночного механизма виртуальных электростанций.

Гибкое регулирование энергоресурсами. Нужно разработать технологию гибкого регулирования ресурсами источников энергии, сети, нагрузки и накопления, способствовать улучшению способности регулирования глубоких пиков нагрузки от традиционного источника питания, проводить исследования применения технологии группового регулирования и группового управления ресурсами накопления энергии, а также содействовать исследованию и применению гибкой системы регулирования и управления нагрузкой.

Безопасное и стабильное управление работой новой энергосистемы. Нужны меры по стабильности частоты для улучшения частотных характеристик системы, необходимо разработать унифицированные и скоординированные технологии управления стабильностью и эффективностью регулирования системой, изучить технологии сброса низкочастотной нагрузки и технологии управления с учетом коэффициентов частотных характеристик системы, а также развить исследования технологий мониторинга широкополосных колебаний в электросетях, технологии раннего предупреждения и управления. Необходимы технологии координации и управления эксплуатацией общесетевых накопителей энергии. В соответствии с ролью и вспомогательной емкостью различных типов накопителей энергии предложить схемы конфигурации накопителя энергии и технические спецификации работы с подключением к сети для поддержки безопасной и стабильной работы электросети, а также предложить схему координации и управления работой всей сети накопителей энергии, построить платформу управления работой в режиме реального времени.

Совместная система регулирования источника, сети, нагрузки и хранения энергии на основе ретроспективной информации. В полной мере используя существующую диспетчерскую информацию, нужно создать новую платформу поддержки диспетчерского управления энергосистемой, провести исследования по технологии координации источников, сетей, нагрузки и систем хранения энергии, создать новую систему управления диспетчерской работой Юньнани, полностью задействовать гибкие ресурсы источника, сети, нагрузки и системы хранения, реализовать эффективное использование ресурсов и повышать безопасность, гибкость и экономичность работы электросети. Благодаря системе научно-технических инноваций мы будем неуклонно продвигать исследования и внедрение соответствующих технологий, реализовывать создание интеллектуальной системы диспетчеризации, объединяющей источник, сеть, нагрузку и хранение энергии, обеспечивать безопасность и стабильность электросети, а также повышать надежность электроснабжения.

Необходимо содействовать инновациям и разработке новых энергосистем с постоянным расширением области применения электроэнергии спрос на энергетические услуги и концепции потребления становятся все более диверсифицированными, персонализированными и низкоуглеродными, а также постоянно появляющимся новым отраслям экономики, новым форматам и новым моделям электроэнергетики. Новая энергосистема обладает замечательными характеристиками экологичности и низкоуглеродистой, и гибкой, интерактивной интеграции, интеллектуальной эффективности, безопасности и стабильности. China Southern Power Grid Yunnan Power Grid Company использует передовые цифровые технологии для реализации инновационных исследований новой энергосистемы, формирования распределенной интеллектуальной вычислительной архитектуры, которая поддерживает региональную автономию и независимое принятие решений и управление новой энергосистемой, поддерживает применение генерации, передачи, преобразования, распределения и

использования электросетей, а также постепенно продвигает технические достижения и способы применения в различных областях бизнеса, таких как интеллектуальные распределительные щиты, интеллектуальные микросети, интеллектуальные подстанции, интеллектуальная передача электроэнергии, интеллектуальный надзор за безопасностью, транзакции заряда и услуги зеленой энергии. Необходимо обеспечить формирование цифровой сетевой платформы, которая очень близка к физической электросети, с помощью которой платформа отслеживает текущие условия работы электросети, а мониторинг в режиме реального времени представляет состояние работы электросети, моделирует будущий режим работы электросети и обеспечивает прогнозирование и план эксплуатации электросети. Необходимо построить и сформировать систему защиты безопасности при эксплуатации и обслуживании, которая адаптируется к новой энергосистеме, выбрать метод построения системы активной иммунной защиты, который адаптируется к бизнес-характеристикам и архитектурным характеристикам новой энергосистемы, а также создать систему качественных и количественных индексов оценки эндогенной безопасности в киберпространстве.

Yunnan Power Grid Corporation в условиях рынка внедряет инновационные механизмы развития и формирует соответствующую технологическую схему энергосистемы. Благодаря применению цифровых сетей нужно создать цифровую универсальную сервисную платформу, представляющую множество участников, построить рынок сбыта электроэнергии, предоставлять инклюзивные услуги и услуги с добавленной стоимостью, такие как гибкое использование энергии, торговля энергией, управление энергоэффективностью и энергосберегающие услуги, снизить социальные затраты на электроэнергию, улучшить простоту доступа к сети и обеспечить удовлетворенность людей качеством электроэнергии, качеством обслуживания.

Цифровая сеть является практическим достижением цифровых технологий для создания нового импульса для развития электросети и

энергетической отрасли, что изменит модель развития энергетической отрасли и будет способствовать построению энергетической экосистемы с электросетью в качестве ядра. Информационный центр электросетей Юньнани объединит инфраструктуру, приложения для сферы услуг и инновационные рабочие механизмы, чтобы лучше обслуживать план развития цифровой Юньнани, а также разработку и строительство новых энергосистем.

Энергетическая отрасль, в основном гидроэнергетика и новая энергетика, стала первой опорной отраслью, поддерживающей промышленность Даличжоу. В течение периода «14-й пятилетки» Дали планирует добавить 7,83 миллиона киловатт централизованной фотоэлектрической системы и более 500 000 киловатт распределенной фотоэлектрической системы. Предполагается, что к концу «14-й пятилетки» установленная мощность электроснабжения Дали достигнет 12,787 миллиона киловатт, а установленная мощность новой энергии превысит 10 миллионов киловатт, что составляет 85% от нынешних 56%; Установленная мощность регулируемого лампового электроснабжения Дали достигнет 4,26 миллиона киловатт, а доля новой энергии увеличится с нынешних 61% до 75%.

Новая ситуация приносит новый импульс развития, и Южное энергетическое бюро Юньнани Дали Китайской Южной Электрической Сети порождает инновации новой энергии в Дали с всесторонним и глубоким планированием и в значительной степени исправляет существующие проблемы.

5. СТАБИЛЬНОСТЬ НОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Структура энергосистемы Китая очень сложна, и ее стабильность связана с национальной экономикой Китая, поэтому формирование новой энергосистемы может удовлетворить потребности развития времени. Однако пилотная эксплуатация новой системы в традиционной энергосистеме привела к появлению новых факторов нестабильности, а случайные колебания подключения и отключения новой энергетической системы привели к негативному воздействию на электронные компоненты энергосистемы. В этом разделе подробно рассматривается устойчивость энергосистемы, анализируется необходимость оптимизации энергосистемы и устойчивости новой энергосистемы. С непрерывным прогрессом науки и техники Китая интеллектуальные технологии пришли в экономику и жизнь. Промышленное производство, обрабатывающее производство и сельскохозяйственное производство постепенно становятся интеллектуальными, а спрос на электроэнергию растет день ото дня. Энергосистема Китая вступила в эру большой энергосистемы, и транспорт электроэнергии на большие расстояния принес определенные экономические выгоды энергетическим предприятиям, но также привел к некоторым проблемам, наиболее важной из которых является нестабильность энергосистемы. Самая большая проблема, вызванная нестабильностью энергосистемы, — это перебои с электроснабжением, а масштабные отключения электроэнергии приносят большие экономические потери обществу, а также приносят определенные негативные последствия для домохозяйств. Поэтому большое значение имеет изучение устойчивости энергосистемы.

5.1 Новые типы устойчивости энергосистемы

При нормальной работе энергосистемы выходная мощность генератора и потребляемая мощность первичного двигателя должны быть сбалансированы, а генератор находится в состоянии синхронной работы.

Если изменяющаяся скорость колеблется вверх и вниз, она может быть восстановлена до рабочего состояния через некоторое время, и систему находится в устойчивом или стабильном состоянии. И наоборот, если скорость вращения не может быть восстановлена до синхронного режима после отклонения, то система находится в нестабильном (неустойчивом) состоянии. Следовательно, для того, чтобы энергосистема работала нормально, она должна находиться в стабильном состоянии энергосистемы, чтобы электрическая энергия могла продолжать поступать к потребителям и предприятиям. В то же время для поддержания энергосистемы в стабильном состоянии требуются разные решения из-за разных проблем неустойчивости. Нестабильное состояние энергосистемы можно разделить на частотную нестабильность и фазовую нестабильность или нестабильность угла мощности в соответствии с физическими характеристиками.

Статическая устойчивость. Существует множество способов анализа статической устойчивости энергосистемы, одним из них является метод анализа собственных значений, который часто используется и имеет широкий спектр применения. При воздействии переходных процессов энергосистема может вернуться в прежнее рабочее состояние после исчезновения воздействия. При длительном периоде небольших помех энергосистема перейдет в новое устойчивое состояние после воздействия переходного процесса, который называется статической устойчивостью.

В настоящее время существует два основных метода анализа устойчивости переходных процессов в энергосистемах: один является прямым методом, а другой - методом моделирования во временной области.

Прямой метод заключается в анализе стабильности за счет преобразования энергии системы, поэтому состояние системы можно быстро проанализировать. Прямой метод имеет много преимуществ, в основном это следующие: скорость вычислений относительно высока, может обеспечить показатели стабильности. Но прямой метод также имеет определенные недостатки, такие как из-за принятия более сложной модели, не может

обеспечить скорость прямого метода, поэтому применимость модели относительно низкая.

Метод моделирования во временной области может вычислять траекторию качания основных состояний системы путем численного интегрирования и судить об устойчивости в переходном процессе в соответствии с углом мощности энергоблока, что является наиболее научным методом анализа устойчивости переходных процессов. Он имеет определенные преимущества, в основном может полностью учитывать сложную модель и операцию развития аварии, может быть применен к крупномасштабной энергосистеме. Его точность высока и соответствует современным условиям, результаты анализа относительно стабильны, и по ним можно судить по кривой качания устойчивости энергосистемы. Период расчета достаточно длинный, что влияет на скорость расчета.

5.2 Необходимость оптимизации энергосистемы

Сегодня энергетические компании Китая откликнулись на призыв государства закрыть некоторые проблемные тепловые электростанции, ускорить использование новой энергии и способствовать быстрому развитию и строительству инновационных энергосистем. Из-за большого спроса на интеллектуальную сеть энергосистеме необходимо увеличить скорость переключения генерирующей мощности, при этом сохраняя устойчивость системы, чтобы можно было повысить эффективность энергосистемы при передаче электроэнергии и постепенно снизить потери электроэнергии. Это требует более широкого использования силового и электронного оборудования в сетях при передаче и распределении электроэнергии.

Увеличение скорости внедрения управляемого с помощью электронных устройств электротехнического оборудования привело к увеличению потребления электроэнергии электронными устройствами и снижению выбросов углерода от традиционных энергосистем. В части энергопотребления, распределения и производства электроэнергии в

энергосистеме будет достигнута национальная цель «углеродной нейтральности и снижение выбросов углерода».

5.3 Факторы, влияющие на стабильность новой энергосистемы

Из-за использования новой энергетической системы, применения электронных компонентов и добавления высокоэффективных материалов энергосистема постепенно переходит от статического баланса мощности и энергии к динамическому балансу, при этом составляющие баланса мощности энергосистемы изменились. Источники новой энергии являются распределенными, малой мощности со случайным характером генерации электроэнергии в сеть, что вносит хаотичность при генерации электроэнергии в сеть при совокупном рассмотрении многих источников, т.е. энергетическая ситуация более изменчива так как составляющие баланса мощности в части генерации динамично меняются, что напрямую влияет на устойчивость и надежность энергосистемы. Механический момент инерции постепенно сменяется на более малый момент инерции, что меняет традиционный режим регулировки в системе и несет скрытые опасности для устойчивости энергосистемы.

В рамках долгосрочной оптимизационной конфигурации энергосистемы были найдены факторы безопасности, которые влияют на стабильность и частоту системы напряжения, включая метод управления, точку подключения к сети, рабочее состояние системы и тип генераторной установки. Использование новых генераторных установок изменит структуру исходной электросети и распределение электроэнергии в ней, повлияет на безопасность и надежность энергосистемы, а также приведет к отклонениям напряжения энергосистемы и низкочастотным колебаниям. Энергосистема будет контролировать и сокращать количество тепловых электростанций, увеличивать использование новых энергоблоков, в результате чего возможны нарушения в функционировании системы, при этом стабильность напряжения будет нарушена, возникнут электромеханические колебания и

проблемы с разделением системы на несинхронные части и т. д. Эта ситуация еще больше усугубится при контакте энергосистемы.

Таким образом, традиционные методы анализа и регулирования частоты, напряжения и фазового угла больше не подходят для новой энергосистемы. Энергетикам и научным исследователям необходимо работать совместно, чтобы разработать новый набор методов регулирования, средств противоаварийной автоматики, отвечающих требованиям новой энергосистемы.

5.4 Решения факторов нестабильности новой энергосистемы

Для снижения факторов нестабильности и повышения устойчивости энергосистемы необходимо снижать реактивное сопротивление и повышать пропускную способность энергосистемы. Реактивное сопротивление трансформаторов в энергосистеме играет очень важную роль, особенно для трансмиссионных систем с очень низким реактивным сопротивлением двигателя. Реактивное сопротивление трансформатора может быть снижено, что делает энергосистему более стабильной. В настоящее время для систем передачи сверхвысокого напряжения используются автотрансформаторы для передачи на большие расстояния. Это может сэкономить энергоресурсы, стоимость автотрансформаторов относительно низкая, а реактивное сопротивление очень мало, поэтому такое решение способствует повышению надежности энергосистемы. Однако при работе автотрансформаторов также необходимо обращать внимание на некоторые проблемы, такие как трудности с высоким напряжением, увеличение тока короткого замыкания и другие проблемы. Постоянное совершенствование линий электропередачи может эффективно снизить реактивное сопротивление. Реактивное сопротивление линии электропередачи в общем реактивном сопротивлении энергосистемы составляет большую долю, поэтому, нужно уменьшить реактивное сопротивление линии электропередачи, тогда устойчивость и надежность энергосистемы могут неуклонно повышаться. Чтобы эффективно снизить реактивное сопротивление в линии, необходимо исходить из двух

аспектов: во-первых, увеличить значение напряжения в линии передачи. Во-вторых, структура линии передачи эффективно регулируется и изменяется, а реактивное сопротивление в цепи может быть уменьшено путем расщепления провода, а потери в цепи могут быть эффективно уменьшены. Хотя в энергосистеме реактивное сопротивление трансформатора составляет небольшую долю от общего сопротивления, но за счет уменьшения реактивного сопротивления оно применяется к линиям электропередачи сверхвысокого напряжения, что способствует снижению реактивного сопротивления трансформатора и дает определенные результаты. В линиях электропередачи сверхвысокого напряжения и на большие расстояния применение автотрансформаторов способствует повышению безопасности и надежности энергосистемы.

Необходимо сделать эксплуатацию и управление энергосистемой более интеллектуальными, так как повышение стабильности и интеллекта операционной системы электросети является гарантией стабильного развития электроэнергетики. Китай провел соответствующую работу по созданию интеллектуальной сети и имеет ряд результатов технических исследований в области производства электроэнергии новой энергии, решил проблемы устойчивости и безопасности действующей электросети, сделал энергосистему Китая более интеллектуальной в части передачи электроэнергии, реализовал интеллектуальную трансформацию энергосистемы, усилил контроль над энергосистемой, всесторонне применил информационные технологии, принял новые технологии и теории, может улучшить качество ремонта оборудования электросети, сделать рабочую мощность энергосистемы более сбалансированной и обеспечить требуемую частоту энергосистемы. Качество напряжения и других факторов оптимизированы и модернизированы в соответствии с требованиями потребителей к энергосистеме. Концепция новой энергосистемы направлена на дальнейшее использование потенциала энергосистемы и превращение ее в экологически чистую, безопасную и надежную систему, основанную на

интеллектуальных сетях. Опираясь на систему Интернета, должна быть разработана энергоинформационная система, в которой будет повсеместно применено инновационное оборудование и технологии, такие как оборудование для преобразования электричества в газ, оборудование для хранения газа, распределенное электроснабжение, контролируемая нагрузка, крупномасштабное оборудование для производства электроэнергии на новых источниках энергии, также нужно сделать более интеллектуальным сам процесс эксплуатации энергосистемы. Технологии искусственного интеллекта – это эффективный способ сделать эксплуатацию и управление энергосистемой более интеллектуальными, она может эффективно собирать информацию о данных в электросети, а также осуществлять эффективное управление и своевременный анализ, так что электросеть будет быстро развиваться от цифровизации к искусственному интеллекту.

Благодаря нечеткому управлению, нейронной сети, экспертной системе и другим технологиям управления реализуется быстрое управление интеллектуальной электросетью, а изменения параметров работы электросети могут быть определены заранее, что отвечает разнообразным потребностям крупных предприятий в энергосистеме.

Цифровое управление энергетической экологией – еще один аспект концепции новой энергосистемы. Новая энергосистема должна время от времени анализировать большие данные, а всеобъемлющий, чувствительный, быстрый и надежный анализ данных в режиме реального времени является основой для стабильной и долгосрочной работы инновационной энергосистемы, для мониторинга в реальном времени энергетической экологии и интеллектуального принятия решений.

С широким применением новых технологий и оборудования в электроэнергетике электросетевые предприятия нуждаются в поддержке и помощи цифровых информационных технологий, если они хотят сделать энергосистему более стабильной и безопасной. Например, это использование датчиков для работы оборудования сбора данных, использование

интеллектуальных счетчиков и т.д. При интеллектуализации новых строящихся линий электропередачи и развитии линий электропередачи, таких как линии электропередачи большой дальности сверхвысокого напряжения, данные обо всем процессе функционирования энергосистемы от производства электроэнергии до ее потребления многомерны и сложны, обладают большим объемом, поэтому очень важно осуществлять цифровизацию энергосистемы.

Текущая установленная мощность тепловой энергии Китая достигает практически 1,3 миллиарда киловатт, что составляет 46,7% от общей мощности генерации, что на 2,3% ниже, чем данные за предыдущий год. Общая установленная мощность атомной энергетики составляет 53,26 миллиона киловатт, что на 6,8% больше по сравнению с предыдущим годом. Сегодня энергосистема Китая находится в инновационном процессе, некоторые интеллектуальные чипы все еще нуждаются в импорте, некоторые технологии для энергетического оборудования нуждаются в улучшении, что в определенной степени влияет на стабильность и безопасность инновационной энергосистемы. Поэтому электроэнергетические предприятия должны наращивать инновации и исследования в области энергетических технологий, такие как точный учет и интеграция ресурсов, применять цифровые технологии при строительстве новых объектов и реконструкции существующих, которые должны оказывать всестороннюю поддержку в передаче, производстве и обслуживании энергосистем. Уровень инноваций энергетических предприятий постоянно повышается, применяются инновации при модернизации энергетического оборудования, при этом увеличивается количество электронных компонентов, преобразовываются системы сбора и анализа данных о функционировании энергосистемы, в большем объеме осуществляется сбор и сопоставление информации, анализ данных, так, чтобы они могли развиваться в направлении цифровизации, способствовать развитию новой энергии, способствовать строительству линий электропередачи, усиливать развитие

возобновляемых источников энергии, помогать всестороннему развитию энергосистемы и делать работу энергосистемы более стабильной.

Содействие инновациям и гибкости ресурсных технологий. Для дальнейшего укрепления трансформации угольного энергетического оборудования очень важно переходить на распределенные энергоресурсы и улучшать качество бизнеса, профессиональные способности энергетического персонала, т.к. уровень знаний и инновационная способность энергетического персонала напрямую определяют безопасность и стабильность энергосистемы, что является надежной гарантией устойчивого и долгосрочного развития энергетических предприятий. Поэтому электроэнергетические предприятия должны придавать большое значение обучению персонала, регулярно проводить обучение персонала по инновационным технологиям, применяемым в энергосистемах, постоянно обновлять знания и навыки энергетического персонала, повышать осведомленность энергетического персонала об инновациях, развивать их инновационную способность, увеличивать капиталовложения и расширять инновации в области энергетических технологий.

Чтобы обеспечить стабильную работу энергосистемы Китая, применяются новые методы, например, метод, основанный на коэффициенте Джини, пространственные измерения, это подтверждает взаимосвязь между инновационными способностями и новыми энергетическими технологиями. Видно, что увеличение применения технологических инноваций и распределенных энергоресурсов способствует общему развитию энергосистемы. Необходимо постоянно совершенствовать политику энергетического перехода для энергосистемы, содействовать созданию рынка торговли квотами на выбросы углерода и зеленой электроэнергии, а также оказывать помощь в достижении целей страны в области изменения климата и углеродной нейтральности.

Уровень экономического развития напрямую связан со способностью внедрять новые технологии, и чем выше экономический уровень страны, тем

благоприятнее производство и распределение энергоресурсов, тем больше оборудования высокотехнологичного уровня. В то же время экономическое развитие также привлечет развитие многих отраслей промышленности, а потребление электроэнергии также увеличится, что потребует от местного отдела образования подготовки большего количества специалистов в области энергетики, тем самым способствуя повышению инновационного потенциала энергосистемы Китая.

Китай много инвестировал в инновации в области энергетических технологий, таких как строительство новой научно-технической демонстрационной базы энергетической системы, укрепление инноваций в области новых технологий контроля высоких энергий и технологий, систем хранения энергии, и добился хороших результатов, но необходимо дальнейшее повышение уровня интеллекта новой энергосистемы. Модернизация и трансформация промышленной структуры также является основным способом повышения стабильности энергосистемы, включая трансформацию режима производства. В то же время человеческий капитал также оказывает непосредственное влияние на технологические инновации Китая. Человеческий капитал может способствовать инновационному уровню производства ветровой энергии в энергосистеме Китая, поэтому улучшение человеческого капитала также является ключом к быстрому развитию энергосистемы.

5.5 Выводы

Подводя итог, можно сказать, что в целях модернизации и обновления энергосистемы Китая, поддержания социальной стабильности, повышения уровня жизни людей и содействия всестороннему экономическому развитию, необходимо продолжать изучать новые направления развития, применять новые технологии и виды энергии в энергосистеме, идти в ногу со временем, так, чтобы развитие энергетических предприятий соответствовало требованиям развития текущей эпохи, продвигать инновации в области энергетического оборудования и электронных составляющих и компонентов,

обеспечивать стабильное применение новой энергии в энергосистеме, поддерживать безопасность и надежность энергосистемы, способствовать преобразованию и модернизации энергосистемы, внедрять цифровое управление энергосистемой, продвигать инновации и гибкость ресурсных технологий, а также делать эксплуатацию и контроль более интеллектуальными. Необходимо координировать возможности новых источников энергии, оптимизировать структуру энергосистемы и существенно повышать комплексную эффективность использования энергии.

6. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НОВЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Цифровая трансформация позволит изменить и модернизировать все аспекты энергетики и электроэнергетики.

Что касается производства электроэнергии, то цифровые технологии помогут эффективно эксплуатировать новую генерацию электроэнергии и традиционные тепловые энергоблоки, полагаться на строительство электростанций с цифровыми двойниками и интеллектуальное управление энергопотреблением, повысить точность прогнозирования новой энергии и повысить энергоэффективность производства тепловой энергии.

Что касается электросетей, то цифровые технологии помогут создать платформу больших данных и искусственного интеллекта, поддерживаемую новой сенсорной технологией, реализовать панорамное восприятие интеллектуальной сети с помощью слияния информации, техники и энергии, помочь энергосистеме реализовать интеллектуальное принятие решений по диспетчеризации, эксплуатации и управлению, реализовать совместную оптимизацию источников энергии, сети, нагрузки и системы хранения, использовать и улучшить мощность потребления возобновляемой энергии, а также повысить безопасность и устойчивость энергосистемы.

Благодаря цифровизации и технологиям искусственного интеллекта будет реализовано гибкое изменение конфигурации электрической сети и совместное управление распределенными источниками энергии, что поможет построить виртуальные электростанции, высвобождая потенциал реагирования на спрос и реализуя гибкое изменение конфигурации электрической сети и двустороннее взаимодействие между источником и нагрузкой.

Что касается систем хранения энергии, то повысится безопасность хранения энергии с помощью технологии эксплуатации и обслуживания цифровых накопителей энергии, повысится экономичность хранения энергии

с помощью технологии регулирования и управления цифровыми системами хранения энергии, а также будет создан новый формат приложения для хранения энергии на основе облачной технологии совместного хранения энергии. Благодаря цифровой трансформации всей системы, включающей источники энергии, сети, нагрузки и системы накопления энергии, расширятся возможности панорамного восприятия информации энергосистемы, интеллектуального и эффективного регулирования, а также возможность низкоуглеродного и высококачественного развития электроэнергетики.

6.1 Возможности цифровизации при построении новых энергосистем

Благодаря сбору и анализу данных о состоянии энергосистемы повысится наблюдаемость системы, контроль за ее состоянием, снизится неопределенность, связанная с недостаточностью средств измерения в системе. В результате повышения качества и полноты информации, наблюдаемости и контроля может быть повышена устойчивость, безопасность и эффективность работы сети. На стороне потребителей будет реализована оценка состояния и анализ их поведения, что приведет к глубокому взаимодействию потребителей и энергосистемы. Что касается систем хранения энергии, то цифровые технологии позволят повысить безопасность и экономичность систем хранения энергии и дадут возможность создавать новые модели и форматы хранения энергии. Для сокращения выбросов углерода будут использованы преимущества технологии больших данных в режиме реального времени, повысится точность, высокое разрешение и широкий диапазон сбора информации, которая в полной мере будет использоваться при построении модели электроуглеродного анализа для поддержки полномасштабного статистического учета выбросов углерода.

6.2 Прикладные идеи новых цифровых технологий энергосистемы

Рассматривая энергосистему как сложную систему с большими данными, ученые и промышленность начали активно исследовать новые модели и методы, основанные на больших данных, создавать новую цифровую инфраструктуру, чтобы увеличить объем данных и повысить ценность данных об энергосистеме. В новой энергосистеме с новой энергией в качестве основного органа, активное применение цифровых технологий еще больше повысит эффективность использования энергоресурсов, улучшит уровень управления рисками и контроль, а также преодолет «двойной максимум», вызванный высокой долей новых энергетических и силовых электронных устройств в новой энергосистеме.

Используя поток данных, можно построить открытую энергетическую экосистему и соответствующую цифровую сеть. Предприятия электроэнергетики должны активно применять цифровые технологии, изменять исходный режим работы, учитывать многомерные комплексные факторы использования цифрового привода и интегрировать их с реальными моделями, чтобы обеспечивать основу для реинжиниринга процессов предприятия и научного прогнозирования. На прикладном уровне с помощью технологии анализа больших данных можно улучшить уровень наблюдения и контроля за новыми электростанциями, улучшить способность распределения энергии в новой энергосистеме и решить проблему баланса мощности и энергии. Технология цифрового привода используется для управления потоком данных, энергии, услуг и т.д., а система защиты безопасности построена в сочетании с физической моделью, чтобы улучшить адаптивность системы с низкой инерцией и снизить риск безопасности, вызванный применением силового электронного оборудования в больших объемах.

Ожидается революция в потреблении энергии с помощью цифровых технологий и стимулирование жизнеспособности энергетического рынка. Инновационное изменение энергосистемы Китая под политическим

руководством будет производиться путем реформы национальной энергосистемы, с гибкой распределительной сетью, торговлей, ориентированной на рынок электроэнергии, реакцией на сторону спроса и т.д. В качестве пилотного проекта будет осуществлена цифровая система расчетов за потребление и генерацию электроэнергии, будет осуществлена интеграция цифровой экономики с традиционным рынком электроэнергии и созданы рынки торговли электроэнергией с обменом данными в качестве основы, чтобы уменьшить информационный разрыв на рынке электроэнергии и обернуть результаты работы рынка электроэнергии в энерготовары. В то же время ожидается обогащение торговыми разновидностями рынка электроэнергии, изучение диверсифицированных рыночных методов торговли и постепенная реализация трансформации рынка энергопотребления из единой, пассивной и общей модели в диверсифицированную, активную и персонализированную модель, а также дополнительно будет стимулироваться жизнеспособность рынка со стороны спроса.

Необходимо использовать инновации в области цифровых технологий для внедрения их в цифровую сеть и ускорения трансформации новых энергосистем. С развитием научно-технических инноваций и углубленным изучением механизма работы и формы новых энергосистем Китай добьется определенных успехов в потреблении энергии, основанном на новых технологиях, крупномасштабной интеграции сетей, технологии хранения энергии, виртуальной электросети и т.д., реализации глубокой интеграции энергетических технологий и цифровых технологий, постепенно формируя системные стандарты и спецификации, преодолевая нетехнические барьеры и оказывая помощь в эффективной модернизации электроэнергетики.

6.3 Применение цифровых технологий в новых энергосистемах

6.3.1 Построение цифровых электросетей

Новая энергосистема с новой энергией в качестве основного ядра должна активно применять передовые цифровые технологии, такие как

большие данные, облачные вычисления, искусственный интеллект и Интернет вещей, преобразовывать ключевые сегментные коммутаторы, контактные коммутаторы, ответвления коммутаторов и т. д. на цифровой основе. Энергосистемы должны постоянно усиливать масштаб использования Интернета вещей, создавать центр управления системой, объединяющий обмен информационными ресурсами, централизованный мониторинг сети, а также централизованное управление и принятие решений для достижения экономичного управления электроснабжением. Взяв в качестве примера приложение «онлайн-электросеть», продвигаемое State Grid, с помощью цифровизации энергетической среды и интеллектуальной эксплуатации и управления будет реализована общая цифровая трансформация технологий, функций и структуры традиционной энергосистемы, что обеспечит важную техническую поддержку для ускорения построения новой энергосистемы.

В то же время, чтобы ускорить строительство цифровой сети, необходимо связать друг с другом четыре составляющих новой энергосистемы: источники, сети, нагрузки и системы хранения энергии. При проведении анализа энергосистемы и построении цифровой сети необходимо уйти от режима независимого ретроспективного анализа ее составляющих, взять данные в качестве основы, реализовать глубокую интеграцию между возобновляемыми источниками энергии и потоком данных и объединить указанные выше четыре составляющих системы для реализации совместной интерактивной разработки. Для достижения этой цели необходимо начать с трех уровней: сбор данных, обработка данных и применение данных. Это позволит эффективно получать большой объем взаимных данных, проводить всестороннюю корреляцию и анализ, реализовывать точное восприятие каждого сценария применения новой энергосистемы и реализовывать интеллектуальное наблюдение и управление энергосистемой. Для сбора данных необходимо применять в большом масштабе микродатчики, интеллектуальные терминалы с чипами, интеллектуальные шлюзы и т. д.

Нужно создать цифровую сеть для обеспечения своевременности, полноты и точности собранной информации о данных и обеспечения базы данных.

Для обработки данных необходимо активно применять технологию слияния данных и технологию анализа больших данных для отсеивания ключевых характеристик данных, поиска корреляции между данными, повышения взаимодополняемости и связи между информацией о данных, а затем улучшения всестороннего восприятия и возможностей взаимосвязи новой энергосистемы. С точки зрения применения данных, благодаря применению новых цифровых технологий, должен осуществляться обмен информацией о данных между различными бизнес-системами, должна быть создана интегрированная цифровая технологическая платформа облачной аналитики данных, а также ускорена разработка доступа к новой энергии и интеллектуального энергетического строительства, чтобы реализовать открытость и прозрачность состояния электросети, рыночных транзакций, состояния оборудования и управления состоянием в новой энергосистеме. Она также может обеспечить точное измерение при реализации поставленных целей. Информация, представленная отдельными данными, ограничена, что приводит к недостаточной точности восприятия цели, и после слияния информации от разных составляющих системы о данных о них можно дополнять и улучшать данные друг друга, тем самым повышая точность восприятия информации и решения поставленной задачи.

6.3.2 Создание цифровой инфраструктуры

Для построения новой энергосистемы, основной частью которой является новая энергия, особое внимание должно быть уделено наращиванию базовой мощности новой энергосистемы и консолидации пропускной способности цифровой сети. Это может быть реализовано следующим образом.

Ускорение создания цифровой инфраструктуры. Применяя глобальную систему измерения в реальном времени, для построения цифровой инфраструктуры, целесообразно использовать Интернет вещей и облачные

платформы, что заложит прочную основу для реализации новой системы электросетей, которая является «значительной, измеримой и контролируемой».

Построение шкалы вычислительной мощности. При построении новых энергосистем очень важно наращивание вычислительной мощности, и соответствующий персонал должен изучить и определить масштаб вычислительной мощности, отвечающий потребностям развития бизнеса, на основе фактических сценариев функционирования энергосистемы, таких как общая вычислительная мощность, специальная вычислительная мощность и супервычислительная мощность, для применения к потребностям массовой обработки данных.

Построение специального алгоритма. При построении новой энергосистемы необходимо создать алгоритмы, адаптированные к ней для удовлетворения потребностей различных сценариев функционирования, таких как моделирование электросети, прогнозирование и мониторинг новой энергии, энергетический баланс и реализация двойных углеродных целей. Как правило, существует два типа прикладных алгоритмов:

1) общие алгоритмы, семантика речи, машинное зрение, обработка больших данных и т. д.;

2) специальные алгоритмы, новые принципы работы энергосистемы, когнитивные и коллаборативные технологии, технологии управления и т.д. Например, China Southern Power Grid сотрудничает с Huawei Technologies Co., Ltd. для создания модели предварительного обучения ИИ, которая будет способна делать выводы из различных сценариев обучения, и ей нужно будет только изучить базовые курсы и практику, а затем продолжить обучение в различных сценариях применения для завершения интеллектуальной проверки, анализа записей и раннего предупреждения без необходимости создавать большое количество наборов данных с нуля, как предыдущие алгоритмы искусственного интеллекта. Практика показывает, что модель предварительного обучения ИИ обладает отличным прикладным эффектом,

может идентифицировать более 80% задач сценария приложения, а точность распознавания достигает 95%, что значительно повышает точность и интеллектуальность расследования скрытых дефектов энергетического оборудования и поиска неисправностей.

Улучшение разработки продуктов и уровня обслуживания. Новая энергосистема предназначена для различных типов пользователей, таких как правительство, предприятия, финансовые учреждения и частные лица, поэтому конкретные сценарии применения также чрезвычайно разнообразны, и соответствующий персонал должен сочетать эту особенность с преимуществами развития больших данных об энергосистеме, выполнять крупномасштабную индивидуальную настройку услуг, исследования и разработки продуктов данных, реализовывать эффективную работу и совместную работу интересов всех сторон в системе электросети, а также повысить эффективность работы новой энергосистемы.

6.3.3 Обеспечение интеграции данных и максимально эффективное использование ресурсов электросети

Новая энергосистема выдвигает более высокие требования к применению цифровых технологий, применению крупномасштабных интеллектуальных терминалов и датчиков, так что мониторинг, сбор, передача и другие связи в энергосистеме с числовым программным управлением постепенно улучшаются, но это также увеличивает сложность передачи и применения данных энергосистемы, и энергосистема срочно нуждается в «проводных + беспроводных» композитных коммуникационных технологиях для достижения «эффективных, стабильных, в реальном времени и надежных» требований к передаче информации и реализации функций энергосистемы. Что касается проводов, технология ВОЛС (широкополосная несущая), как широкодоступный метод передачи информации в электроэнергетике, широко используется при сборе электрической энергии и постепенно играет важную роль в передаче данных в зоне электроснабжения и распределения в зависимости от площади станции.

С точки зрения беспроводной связи, по сравнению с 4G, преимущества 5G более заметны, это большая пропускная способность, низкая задержка связи, высокая скорость передачи. При разработке новой энергосистемы с новой энергией в качестве основного органа, она может соответствовать удаленному руководству экспертов в режиме реального времени, эффективному обмену данными между производителями, рабочими площадками, предысторией принятия решений, эффективному мониторингу и анализу работы физических активов электросети, а также поможет глубоко раскрыть ценность эксплуатации активов электросети, играя ключевую техническую роль. Поэтому электроэнергетическим предприятиям необходимо широко внедрять терминальные средства преобразования протоколов, которые объединяют несколько методов связи, и освещать результаты применения композитных сетей технологии связи «проводная + беспроводная». В то же время необходимо активно углублять применение технологии цифровых двойников. Ядром технологии цифровых двойников является моделирование и симуляция, обладающие характеристиками правильности, эффективности и повторяемости, они являются ключевым звеном цифрового бизнеса, руководствуясь конкретными приложениями, основанными на моделировании, для достижения распространения функций, содействия автоматическому замкнутому циклу управления, а также реализации виртуального и реального взаимодействия и общего развития. Технология цифровых двойников широко используется, например, для моделирования эквивалентности ветряных электростанций, моделирования и эксплуатации интегрированной энергетической системы, а также для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. Взяв в качестве примера комплексное моделирование и эксплуатацию энергетической системы, путем создания модели цифрового двойника (моделирование оборудования, ввод граничных условий, идентификация топологии сети, расчет потока мощности системы, вывод результатов расчета), реализуется имитационное моделирование дополнительного использования нескольких

источников энергии и сопряжения нескольких источников энергии, а также реализуется весь бизнес-процесс, такой как моделирование и проектирование системы, строительство и ввод в эксплуатацию, моделирование и эксплуатация, техническое обслуживание. При этом реализуется двустороннее взаимодействие с фактическими системными данными и логикой управления, а технология искусственного интеллекта используется для постоянного улучшения и внедрения инноваций в стратегии регулирования и обслуживания системы. При построении новой энергосистемы технология цифрового двойника также может усилить интеграцию энергетических данных и данных моделирования умного города, способствовать обмену данными между энергосистемой и муниципальными, транспортными и коммуникационными департаментами, создать платформу цифрового обмена с интеллектуальным городом и помочь в компоновке и моделировании управления в рамках умного города, а также в эффективной эксплуатации и развитии города.

6.3.4 Модернизация бизнес-мидл-офиса для ускорения цифровизации управления устройствами

Такой подход укрепляет основу подключения и совместного использования услуг. Опираясь на соответствующие провинциальные и муниципальные технические стандарты и спецификации, нужно строго тестировать производительность и стандарты оборудования IoT и усиливать обнаружение сети и прием устройств IoT. Основываясь на различных технических стандартах датчиков, можно всесторонне учитывать различные факторы, такие как окружающая среда, состояние, сценарии применения и т. п., усиливать развязку узловых устройств, датчиков и т. д. и активно преодолевать технические барьеры между данными производителя и профессиональными данными. Необходимо усилить исследования и разработки интеллектуального оборудования, такого как интеллектуальное распределительное устройство, интегрировать его с датчиками, улучшить интеллект и автоматизацию сбора, передачи и мониторинга оборудования, а

также снизить производственные и эксплуатационные расходы на оборудование.

Модернизация управления бизнес-мидл-офисом заключается в получении доступа к визуальному мониторингу, роботам, энергетическому оборудованию, Интернету вещей и другим связанным данным на платформе управления, включая ретроспективные информационные данные, данные восприятия в реальном времени и т. Д., А также можно анализировать потоки мощности в реальном времени в новой энергосистеме, чтобы реализовать распределение ресурсов, и обеспечить баланс реактивной мощности в часы максимума и передачу нагрузки на уровне кросс-напряжения. Например, построить систему с платформой среднего управления в качестве ядра, интегрировать управление материалами, управление производством PMS, маркетинговый бизнес, автоматизацию моделирования, применение Интернета вещей и т. д. Необходимо создать платформу панорамного управления оборудованием «1 + N», сформировать универсальную конструкцию платформы, взять базовый контейнер в качестве основы для разработки платформы, охватить проектирование оборудования, производство, инспекцию эксплуатации, маркетинг, финансы и другие приложения, модульную композицию программного обеспечения, создать соответствующую базу данных оборудования и обеспечить эффективную поддержку управления всем жизненным циклом оборудования.

7. СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Системы накопления энергии сетевого типа привлекло широкое внимание, поскольку они имеют схожие характеристики отклика на управление с обычными генераторами и считаются ключевым оборудованием для поддержки построения новых энергосистем. На основе принципа технологии управления конфигурацией предложен метод моделирования конфигурационного накопителя энергии. В сочетании с основными атрибутами системы накопления энергии сетевого типа определены механизм распределения мощности после ее подключения к системе и определяются доля его установленной мощности в электросети.

7.1 Принцип технологии накопления энергии сетевого типа

7.1.1 Технология аккумулирования энергии

В соответствии с различиями в технических принципах технология хранения энергии в основном делится на физическое хранение энергии, электромагнитное хранение энергии и электрохимическое хранение энергии. Исследуемое структурированное накопление (хранение) энергии относится к электрохимическому хранению энергии с использованием преобразователей источника напряжения. Как показано на рисунке 4, система накопления энергии в основном состоит из аккумуляторной системы, преобразователя и его системы управления, повышающего трансформатора и других частей. Среди них аккумуляторная система и преобразователь являются основным оборудованием для реализации функции управления. Благодаря гибкому управлению мощностью и функциям накопления энергии, система накопления энергии имеет значительные преимущества в участии в балансе мощности электросети, а область ее применения включает в себя сторону электросети, сторону электропитания, сторону нагрузки и сторону микросети. Функции применения включают сглаживание новых колебаний энергии, участие в снижении максимума нагрузки системы, снижение пиков на стороне нагрузки и заполнение провала нагрузки, а также участие в

регулировании частоты электростанцией. Чтобы преобразовать энергию от возобновляемого источника с очевидной случайностью и колебаниями при выдаче мощности в систему, многие провинции Китая последовательно выпустили программные документы, требующие, чтобы новые проекты по производству энергии поддерживались электрохимическим накопителем энергии с конфигурационным соотношением 10-20% от установленной мощности новой энергии и временем резервного накопления 1-4 часа.

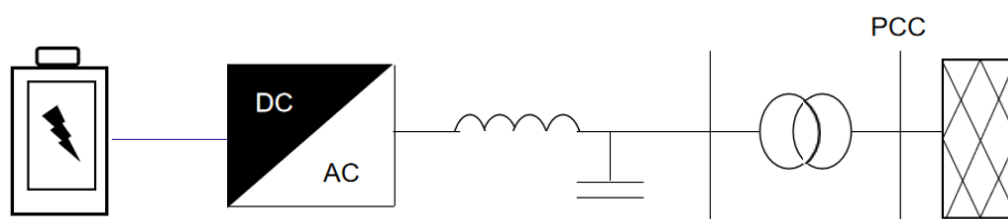


Рисунок 10 - Базовая структура системы накопления энергии

7.1.2 Принцип и метод моделирования накопления энергии сетевого типа

Накопитель энергии сетевого типа реализует гибкую регулировку выходной мощности путем управления фазой и амплитудой внутреннего потенциала, а также обладает характеристиками источника напряжения. Выражения его выходной активной мощности P и реактивной мощности Q показаны в уравнениях (1) и уравнениях (2) соответственно.

$$P = \frac{E^2}{Z} \cos \theta - \frac{EU}{Z} \sin(\theta - \varphi) \quad (1)$$

$$Q = \frac{E^2}{Z} \sin \theta - \frac{EU}{Z} \sin(\theta - \varphi) \quad (2)$$

В формуле: E и U – виртуальный внутренний потенциал и внешнее напряжение сети конфигурации типа накопителя энергии соответственно;

φ - разность фазового угла между накопителем энергии конфигурационного типа и внешней электросетью; Z и θ - амплитуда и угол контактного сопротивления между сетевым накопителем энергии и синхронным генератором, соответственно.

Существующее основное программное обеспечение для планирования и моделирования крупномасштабных электросетей использует электромеханический переходный технический путь.

Следовательно, для реализации приложений системного уровня сначала необходимо разработать электромеханическую имитационную модель накопления энергии, которая отвечает требованиям моделирования крупных электрических сетей.

Согласно предыдущему анализу, сетевой накопитель энергии состоит из системы управления виртуальным рабочим углом θ и внутренним потенциалом E , соответствующими активному и реактивному управлению соответственно. Основной функцией активного управления является моделирование опорных характеристик момента инерции, как показано в уравнении (3).

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = \omega_0 \Delta\omega \\ T_J \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e - D\Delta\omega \end{cases} \quad (3)$$

Где T_J — виртуальная инерционная постоянная времени;

D - коэффициент демпфирования;

P_m и P_e - виртуальная механическая мощность и электромагнитная мощность соответственно;

ω , ω_0 и $\Delta\omega$ — системная частота, номинальная частота и отклонение частоты соответственно.

Чтобы реализовать параллельную работу нескольких источников энергии, накопитель энергии сетевой типа должен обеспечить распределение

мощности с помощью механизма падения активной частоты, принцип работы которого аналогичен принципу обычных регуляторов энергоблоков, что показано в уравнении (4).

$$\Delta P_{ref} = \begin{cases} K(\Delta f + f_{db}) & \Delta f < -f_{db} \\ 0 & -f_{db} \leq \Delta f \leq f_{db} \\ K(\Delta f - f_{db}) & \Delta f > f_{db} \end{cases} \quad (4)$$

Формула: ΔP_{ref} - мощность первичной частотной модуляции;

f_{db} и Δf - количество мертвой полосы FM и отклонения частоты, соответственно;

K - коэффициент частотной модуляции.

Для управления реактивной мощностью, основанной на принципе управления интегральным возбуждением обычного генератора используется стратегия управления быстрым регулированием напряжения, основанная на обратной связи по напряжению, а внутренний потенциал E показан в уравнении (5).

$$\begin{cases} E = E_{set} + (V_{ref} - V) \left(K_a + \frac{1}{sT_a} \right) \\ V_{ref} = V_{set} + K_q(Q_{ref} - Q_e) \end{cases} \quad (5)$$

где: K_a и T_a - пропорциональный коэффициент и постоянная времени регулирования напряжения соответственно;

E_{set} , V_{ref} , V_{set} , V — это опорное значение внутреннего потенциала, целевое управляющее напряжение, опорное значение напряжения и измеренное напряжение конечной шины соответственно.

Q_{ref} и Q_e - эталонные значения и измеренные значения реактивной мощности соответственно;

K_q - коэффициент управления падением реактивной составляющей напряжения.

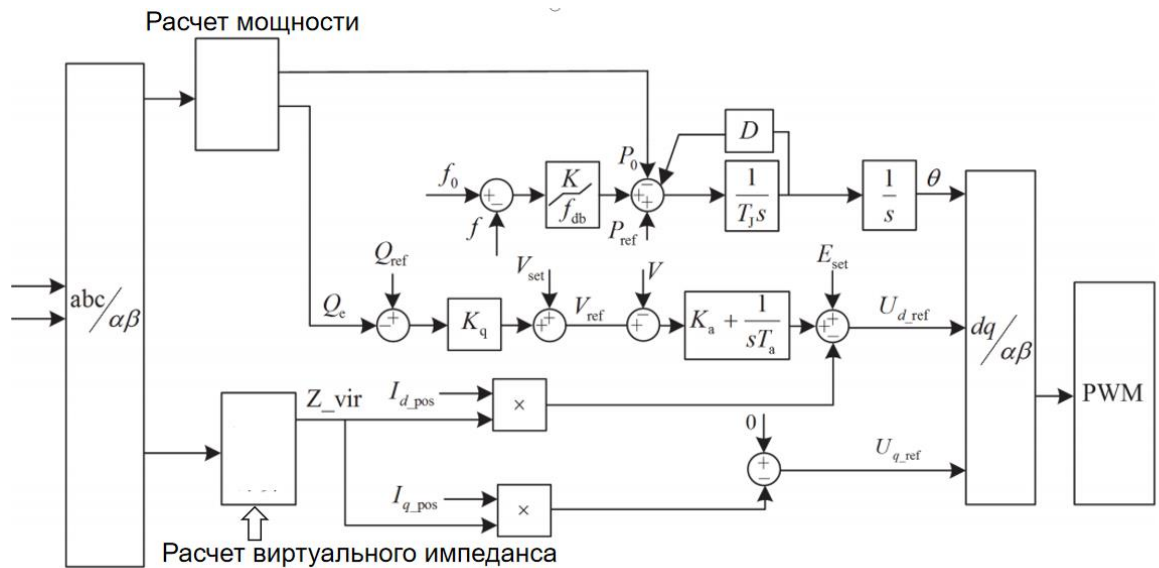


Рисунок 11- Механическая и электрическая переходная модель накопления энергии сетевого типа

В сочетании с уравнением (3) — уравнением (5) создается модель управления накоплением энергии сетевого типа, как показано на рисунке 3.

7.1.3 Размещение накопителя энергии сетевого типа в новой энергосистеме

В текущих сценариях применения, таких как использование ветровой и солнечной энергии, распределение и накопление ее в системе электроснабжения, централизованное накопление энергии в электрической сети, накопление энергии играет только вспомогательную роль, в основном включая сглаживание колебаний мощности ВИЭ, срез пиков и заполнение провалов, первичное регулирование частоты и т.д. Ее суть по-прежнему заключается в использовании управления источником тока и накопления энергии в сети, опираясь на сеть переменного тока для обеспечения поддержки источника напряжения. Для хранения энергии сетевого типа «управление источником напряжения + синхронное управление питанием»

является его наиболее важной функцией, которая может обеспечить поддержку источника напряжения для электросети переменного тока. Для позиционирования накопителей энергии сетевого типа в новой энергосистеме необходимо ориентироваться на потребности разных этапов развития энергосистемы и понимать основные проблемы на разных этапах.

Сосредоточив внимание на цели «снижения выброса углерода и углеродной нейтральности», с 2030 года развитие новой энергосистемы можно разделить на период углеродного выброса и период углеродной нейтральности. Основными характеристиками периода выбросов углерода являются следующие. Система электроснабжения постепенно формирует схему с новыми энергетическими установками в качестве основного звена, а основная сеть переменного тока в целом по-прежнему сохраняет высокий момент инерции и синхронную и стабильную работу системы переменного тока. На данном этапе конфигурация накопителя энергии должна в полной мере использовать «гармонизирующую» роль новой энергосистемы и сосредоточиться на решении проблем координации множества элементов, таких как сеть, источник и нагрузка в новой энергосистеме с высокой пропорцией, таких как недостаточный момент инерции, приводящий к быстрому изменению частоты, большое переходное отклонение частоты, недостаточная мощность короткого замыкания новых энергетических гибридных станций, приводящий к слабой опорной емкости напряжения и плохим характеристикам импеданса, что приводит к повышенному риску широкополосных колебаний. Вышеуказанные проблемы не являются распространенными проблемами в большой энергосистеме на данном этапе, но из-за их специфики и ограничений традиционных решений необходимо, чтобы структурированное хранение энергии играло роль регулирующего звена в системе электроснабжения.

Основными характеристиками периода углеродной нейтральности являются: генерация с новой энергией в качестве основной составляющей, гибридная электросеть переменного / постоянного тока, микросеть и

активные потребители. Основная проблема на этом этапе заключается в том, что доля традиционных источников энергии значительно снижается, что приводит к снижению уровня устойчивости сети. Накопление энергии сетевого типа должно играть вспомогательную роль источника энергии, аналогичную обычным синхронным блокам, для повышения уровня устойчивости. Сетевой накопитель энергии в некоторых автономных микросетях, которые были введены в эксплуатацию в настоящее время, берет на себя эту роль и использует схему конфигурации «новая энергия с управляемым источником тока + сетевой накопитель энергии, управляемый источник энергии» для достижения 100% нового энергетического острова в работе микросети. В отличие от сценария применения накопителя в микросети, особенность применения сетевого накопителя энергии в крупной энергосистеме учитывает переходный механизм распределения мощности и соотношение установленной мощности между ним и обычными устройствами.

7.2 Ключевые технологии

Распределение мощности обычных синхронных генераторных установок в регулировании активной мощности в системе можно разделить на 3 этапа. Среди них первым этапом является мгновенная силовая характеристика, суть которой заключается в том, что угол мощности синхронной машины не может быть резко изменен. Накопление энергии сетевого типа также имеет эту характеристику, и выражение распределения мощности двух источников на первом этапе может быть получено из рисунка 6 в качестве примера. Для приведенной выше сети комплексное выражение матрицы мощности для каждого узла имеет вид:

$$\hat{S} = \hat{V} \hat{I} = \hat{V} \hat{Y} \hat{V} \quad (6)$$

Формула: \hat{V} - вектор напряжения узла;

\hat{I} вводит вектор тока в узел;

- \dot{Y} – матрица допуски порядка $N \times N$ (N – количество узлов);
- \hat{V} - диагональная матрица, состоящая из сопряжения напряжений узлов;
- \hat{S} вводит сопряженную комплексную мощность в каждый узел.

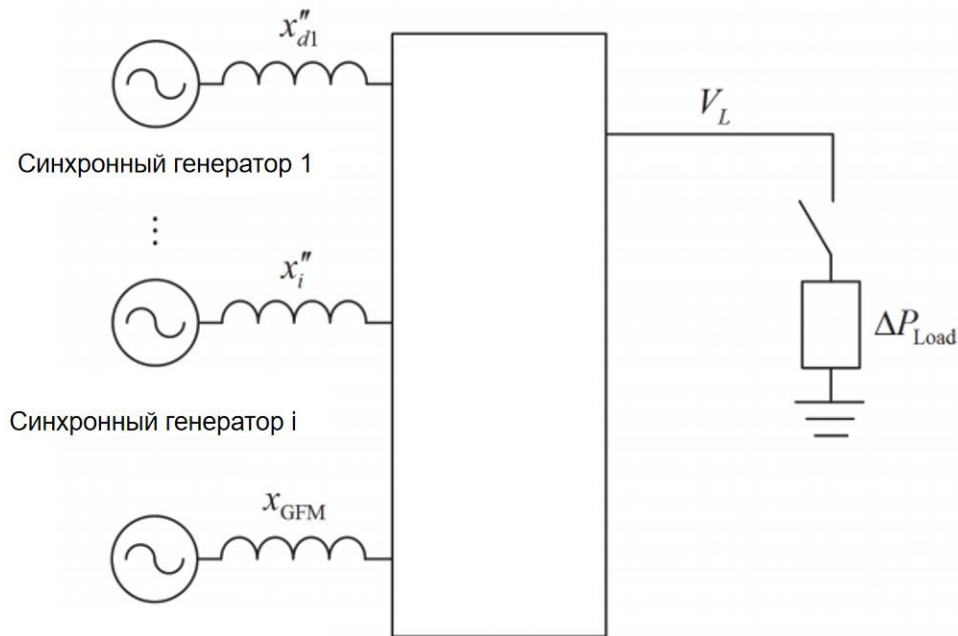


Рисунок 12 - Принципиальная схема системы накопления энергии сетевого типа и синхронного генератора

Напряжение узла указано в полярных координатах $\dot{V}_i = V_i \angle \theta$. Подстановка (6) дает активную и реактивную мощность узла i , как показано в уравнении (7).

$$\begin{cases} P_i = E_i^2 G_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i, L}^n E_i E_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) + V_L E_i (G_{iL} \cos \delta_{iL} + B_{iL} \sin \delta_{iL}) \\ Q_i = -E_i^2 B_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i, L}^n E_i E_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) + V_L E_i (G_{iL} \sin \delta_{iL} - B_{iL} \cos \delta_{iL}) \end{cases} \quad (7)$$

где E_i и E_j – потенциал в силовом узле i и j ;

V_L – амплитуда напряжения узла нагрузки; n – количество силовых узлов;

P_i и Q_i — активная мощность и реактивная мощность узла i соответственно;

G_{ii} , G_{ij} и G_{iL} — собственная проводимость узла i , взаимная проводимость между узлом i и узлом j , а также между узлом i и узлом L , соответственно; δ_{ij} и δ_{iL} — разность углов между узлом i и узлом j , а также узлом i и узлом L соответственно;

B_{ii} , B_{ij} и B_{iL} являются емкостными проводимостями узла i , узла i и узла j , а также узла i и узла L соответственно.

Если проводимость в сети не учитывается, уравнение дополнительно упрощается до нижеприведенного.

$$\begin{cases} P_i \approx \sum_{j=1, j \neq i, L}^n E_i E_j B_{ij} \sin \delta_{ij} + V_L E_i B_{iL} \sin \delta_{iL} \\ Q_i \approx -E_i^2 B_{ii} - \sum_{j=1, j \neq i, L}^n E_i E_j B_{ij} \cos \delta_{ij} - V_L E_i B_{iL} \cos \delta_{iL} \end{cases} \quad (8)$$

После того, как для различных типов источников питания происходит возмущение активной мощности ΔP_{Load} , изменение активного выхода узла i ΔP_i линеаризации выражения осуществляется следующим образом:

$$\Delta P_i = \sum_{j=1, j \neq i, L}^n (E_i E_j B_{ij} \cos \delta_{ij0}) \Delta \delta_{ij} + (V_L E_i B_{iL} \cos \delta_{iL0}) \Delta \delta_{iL} \quad (9)$$

Где: δ_{ij0} и δ_{iL0} — узлы i и узлы j , узел i и узлы, соответственно, начальное значение разности углов между точками L ;

$\Delta \delta_{ij}$ и $\Delta \delta_{iL}$ — узлы i и секции, соответственно, величина изменения разности углов между точкой j , узлом i и узлом L .

Из-за переходных процессов межструктурный сетевой накопитель энергии, в котором угол потенциала синхронного генератора не меняется резко, может быть получен

$$\delta_{ij} = 0 \quad (10)$$

Согласно $\sum_{i=1}^n \Delta P_i = \Delta P_{Load}$, результирующее колебание мощности узла i равно

$$\Delta P_i = \frac{P_{siL}}{\sum_{j=1}^n P_{sjL}} \Delta P_{Load} \quad (11)$$

где P_{siL} и P_{sjL} — коэффициенты синхронной мощности между узлом i и узлом L , узлом j и узлом L соответственно.

Видно, что мгновенное активное распределение мощности возмущения распределяется в соответствии с синхронным коэффициентом мощности от точки питания к точке возмущения мощности. Для систем накопления энергии сетевого типа величина колебания мощности может быть дополнительно выражена как

$$\Delta P_{bess} \approx \Delta P_{Load} \frac{x_d'' + x_{SL}}{(x_d'' + x_{SL}) + (x_{filt} + x_{viren} + x_{BL})} \quad (12)$$

Где: ΔP_{bess} — изменение активной мощности конфигурационного накопителя энергии;

x_d'' - синхронное переходное сопротивление;

x_{SL} - реактивное сопротивление передачи между синхронной машиной и узлом L ;

x_{filt} , x_{viren} и x_{BL} — это реактивное сопротивление фильтра структурированного хранения энергии, виртуальное реактивное

сопротивление стационарного входа и реактивное сопротивление передачи с узлом L.

Аналогичным образом, если система имеет возмущение реактивной мощности ΔQ_{Load} , выражение линеаризации изменения выходной реактивной мощности различных типов источников питания имеет вид (13)

$$\Delta Q_i = \sum_{j=1, j \neq i, L}^n B_{ij} \cos \delta_{ij} (E_{i0} \Delta E_j + E_{j0} \Delta E_i) - E_{i0} B_{iL} \cos \delta_{iL} \Delta V_L - (V_{L0} B_{iL} \cos \delta_{iL} + 2B_{ii} E_{i0}) \Delta E_i$$

где ΔQ_i – величина реактивного изменения выходного сигнала силового узла i; E_{i0} , E_{j0} и V_{L0} — начальные значения амплитуды напряжения узла i, узла j и узла L соответственно; ΔE_i , ΔE_j и ΔV_L — это изменения амплитуды напряжения для узла i, узла j и узла L соответственно.

Для источников напряжения амплитуда внутреннего потенциала является величиной состояния, которая также имеет свойство не изменяться скачкообразно, т.е. $\Delta E_i = \Delta E_j = 0$.

Отсюда можно получить

$$\Delta Q_i = -E_{i0} B_{iL} \cos \delta_{iL} \Delta V_L \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N \Delta Q_i = \Delta Q_{Load} \quad (15)$$

$$\Delta Q_i = \frac{P_{siL}}{\sum_{j=1}^n P_{sjL}} \Delta Q_{Load} \quad (16)$$

Как видно из приведенного выше уравнения, подобно активному распределению, мгновенное распределение реактивной мощности возмущения осуществляется в соответствии с синхронным коэффициентом мощности от точки питания до точки возмущения мощности.

Рисунок 7 используется в качестве примера для анализа минимального процента коммутационных устройств в системе. Среди них предполагается,

что переменная мощность увеличения накопления энергии (тип сетевой) и новой энергии (взяв в качестве примера фотоэлектрическую) равны установленной мощности, и повышение реактивного сопротивления сети составляет 10%. Внутреннее сопротивление сетевого накопителя энергии берется в соответствии с 0,14 у.е. (аналогичные параметры реактивного сопротивления вторичных переходных процессов в аналогичной синхронной машине, конденсаторе и других обычных устройствах, практическое применение зависит от конструктивных параметров).

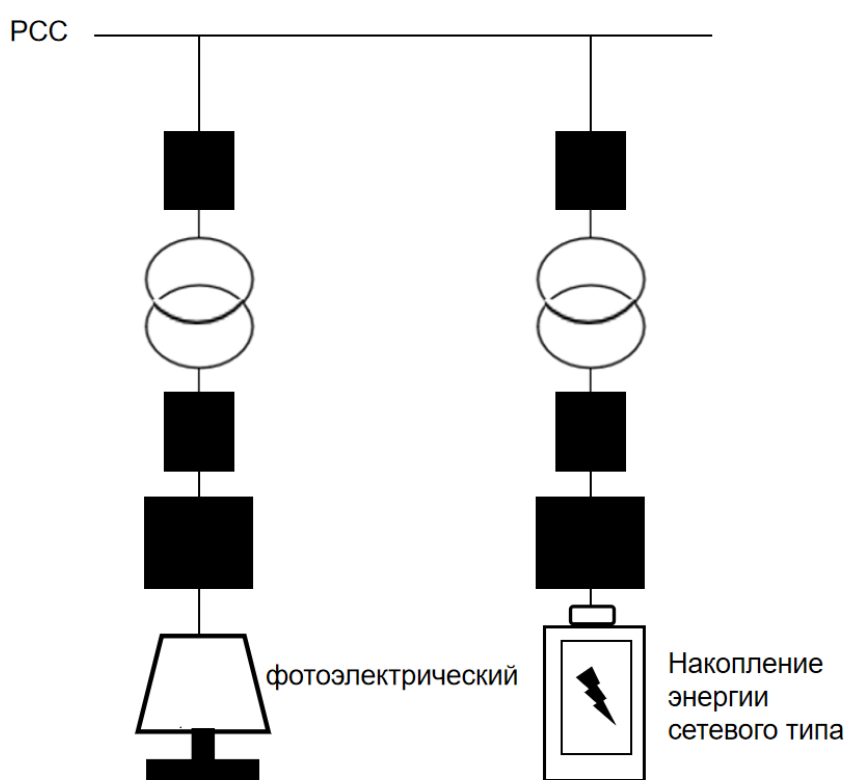


Рисунок 13 - Принципиальная схема системы накопления энергии сетевого типа и доступа к фотоэлектрической электростанции

Во-первых, необходимо определить долю установленной мощности накопителей энергии сетевого типа P_{GFM}

$$P_{GFM} = \frac{S_{GFM}}{S_{GFM} + S_{GFL}} \quad (17)$$

В формуле S_{GFM} и S_{GFL} устанавливаются соответственно для типа конструкции и следующего сетевого типа оборудования.

Мощность короткого замыкания равен S_{CR} :

$$S_{CR} = \frac{S_{ac}}{P_N} = \frac{1}{|Z_k|} \quad (18)$$

где: S_{ac} и P_N - мощность узла при коротком замыкании и активная мощность новой энергии;

$|Z_k|$ - эквивалентное реактивное сопротивление.

В соответствии с уравнением (17) и уравнением (18) получается мощность короткого замыкания S_{CRg} на шинах фотоэлектрической электростанции

$$S_{CRg} = \frac{1}{\frac{(1/7 + 0.1)}{P_{GFM}} + \frac{0.1}{1 - P_{GFM}}} \times \frac{1}{1 - P_{GFM}} \quad (19)$$

Согласно требованиям GB/T 40581-2021 «Кодекс расчета безопасности и стабильности энергосистемы»: мощность короткого замыкания многополевых станций на стороне высокого напряжения и низковольтной стороне нового энергоблока должен быть не менее 1,5, а мощность короткого замыкания многополевых станций в узлах, подключенных к энергосети, должен быть не менее 2,0 и не должен превышать 3,0. Подставив $S_{CRg} = 1.5$ в формулу(19), получаем $P_{GFM} = 0.3$.

Отсюда доля установленной мощности сетевого блока питания, полученная исходя из вышеуказанных условий, должна быть не менее 30%. Ограничения, учитываемые фактической электросетью, являются более

сложными, и необходимо провести подробный анализ на основе характеристик нагрузки электросети, состояния сети и стандартов оценки безопасности и стабильности электросети.

7.3 Определение мощности накопителей энергии сетевого типа

С целью повышения устойчивости планируется построить структурированный накопитель энергии на подстанции DL центра нагрузки. Его основные области применения заключаются в следующем:

Повышение пропускной способности терминальной электросети при коротком замыкании при работе с подключением к сети;

После того, как линия электропередачи 220 кВ включена в систему, накопители энергии + новая энергия подают энергию на важные нагрузки для повышения надежности. Исходя из вышеуказанных целей, во-первых, сетевая мощность накопителя энергии предварительно определяется путем расчета мощности короткого замыкания нескольких станций в режиме подключения к сети и развертки переходных процессов, а во-вторых, масштаб запуска новой энергии в режиме изолированной сети определяется расчетом баланса мощности (чтобы обеспечить непрерывное электроснабжение основной нагрузки 10 МВт в режиме изолированной сети, необходимо сохранить 30 МВт фотоэлектрической и 15 МВт ветровой энергии для запуска), и мощность короткого замыкания нескольких станций в режиме изолированной сети рассчитывается снова, повторное сканирование дефектов проводится для окончательного определения потребности в мощности хранения энергии в накопителе.

Результаты расчета мощности короткого замыкания нескольких станций на шинах фотоэлектрической электростанции и точки подключения к сети в режимах подключения к сети и вне сети приведены в таблице 4. Для обеспечения стабильности изолированной сетевой системы рекомендуется выбирать 25 МВт мощности хранения энергии сетевого типа. Мощность сетевого накопителя энергии составляет 41,67% от общей установленной мощности режима изолированной сети, что отличается от вышеупомянутого

результата расчета на 30%, поскольку ветряная электростанция и сетевой накопитель энергии должны быть подключены через линию электропередачи 110 кВ общей протяженностью 205 км на 2 уровнях, а мощность короткого замыкания на шинах ветряной электростанции низка. Учитывая результаты соблюдения баланса мощности и устойчивости системы, окончательная величина мощности накопителя энергии выбирается как 25 МВт / 25 МВтч.

Таблица 4 – Сравнение мощности короткого замыкания возобновляемой энергии при различных методах и мощности накопителя энергии

Мощность накопителя энергии, М В т	Режим подключения к сети		Режим изолированной сети	
	Шины машины	Точки включения в сеть	Шины машины	Точки включения в сеть
15	1.66	3.11	1.17	1.46
20	1.99	3.35	1.33	1.70
25	2.38	3.57	1.58	2.12

Система накопления энергии 25 МВт/25 МВтч подключается к шине 35 кВ через повышающий трансформатор. Топология каждого накопителя энергии показана на рисунке 5, а батарея накопителя энергии соединена последовательно и параллельно, образуя 4 комплекта аккумуляторных элементов, каждая аккумуляторная ячейка подключена к одному преобразователю накопления энергии постоянного тока в переменный мощностью 630 кВт, а четыре преобразователя PCS подключены параллельно к низковольтной стороне повышающего трансформатора.

7.4 Верификация симуляционной модели

Определение шага по мощности

Для проверки вывода об участии накопителей энергии сетевого типа в распределении мощности сети активная мощность станции DL устанавливается на 5 МВт в секунду режима подключения к сети, а начальная мощность накопителя энергии составляет 0 МВт. Активный

выходной отклик системы накопления энергии и эквивалентный источник питания внешней сети показаны на рисунке 17.

Аналогичным образом, реактивная выходная реакция системы накопления энергии и эквивалентного источника питания внешней сети моделируется при условии увеличения реактивной мощности нагрузки DL на 5 МВАр на 2 с, как показано на рисунке 18.

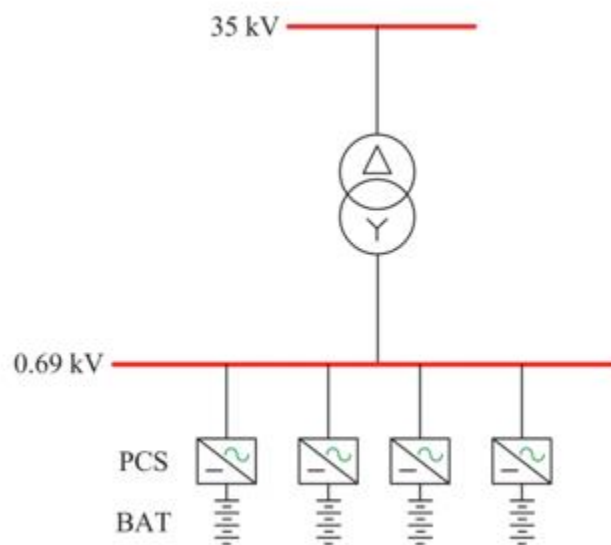


Рисунок 14 - Принципиальная схема системы доступа к накопителям энергии

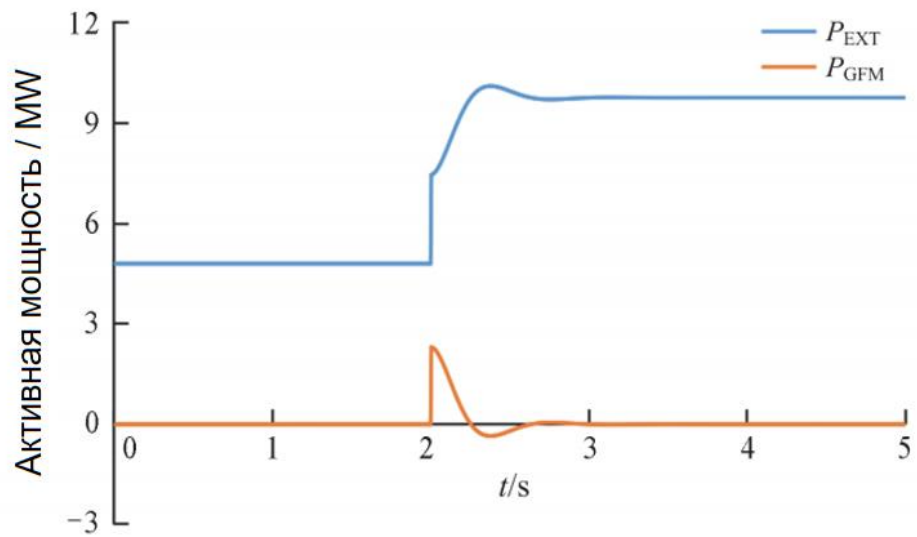


Рисунок 15 - Аккумуляция энергии, кривая отклика активной мощности внешней электросети

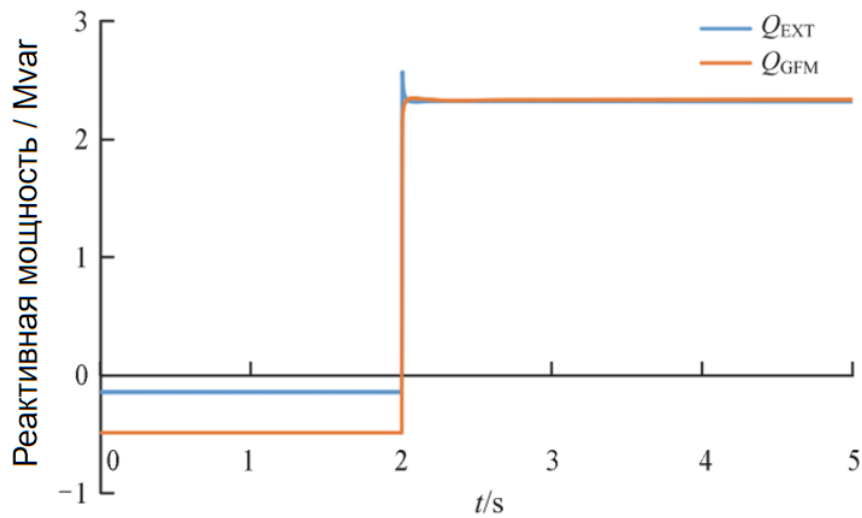


Рисунок 16 - Аккумуляция энергии, кривая отклика реактивной мощности внешней сети

На основании результатов моделирования рассчитывается распределение переходной мощности между накопителем энергии мгновенной конфигурации возмущения и внешней электросетью, как показано в уравнении (20).

$$\frac{\Delta P_{GFM}}{\Delta P_{EXT}} = 0.87 \approx \frac{\Delta Q_{GFM}}{\Delta Q_{EXT}} = 0.94 \approx \frac{X_{EXT-Load}}{X_{GFM-Load}} = 0.90 \quad (20)$$

Видно, что накопление энергии сетевого типа может мгновенно реагировать на неуравновешенную мощность системы в момент возмущения, а доля мощности, участвующей в распределении, аналогична доле обычных единиц, которая обратно пропорциональна электрическому расстоянию от

внутреннего потенциала до точки возмущения, что согласуется с предыдущим выводом анализа.

Короткое замыкание. Для дальнейшей проверки возможности поддержки источника напряжения сетевого накопителя энергии, когда на внешней контактной линии системы происходит короткое замыкание трехфазного металлического заземления, когда устанавливается секунда, защитное действие отключает контактную линию через 100 мс, и система переключается в режим работы на острове. На рисунке 19 показаны кривые переходного отклика системного напряжения, частоты, активной и реактивной мощности накопителя энергии сетевого типа.

Из рисунка 19 видно, что после того, как сбой системы приводит к незапланированной работе на острове, конфигурационный накопитель энергии может осуществлять плавное переключение режима работы системы электропитания терминала без необходимости переключения режимов управления, что повышает надежность электропитания.

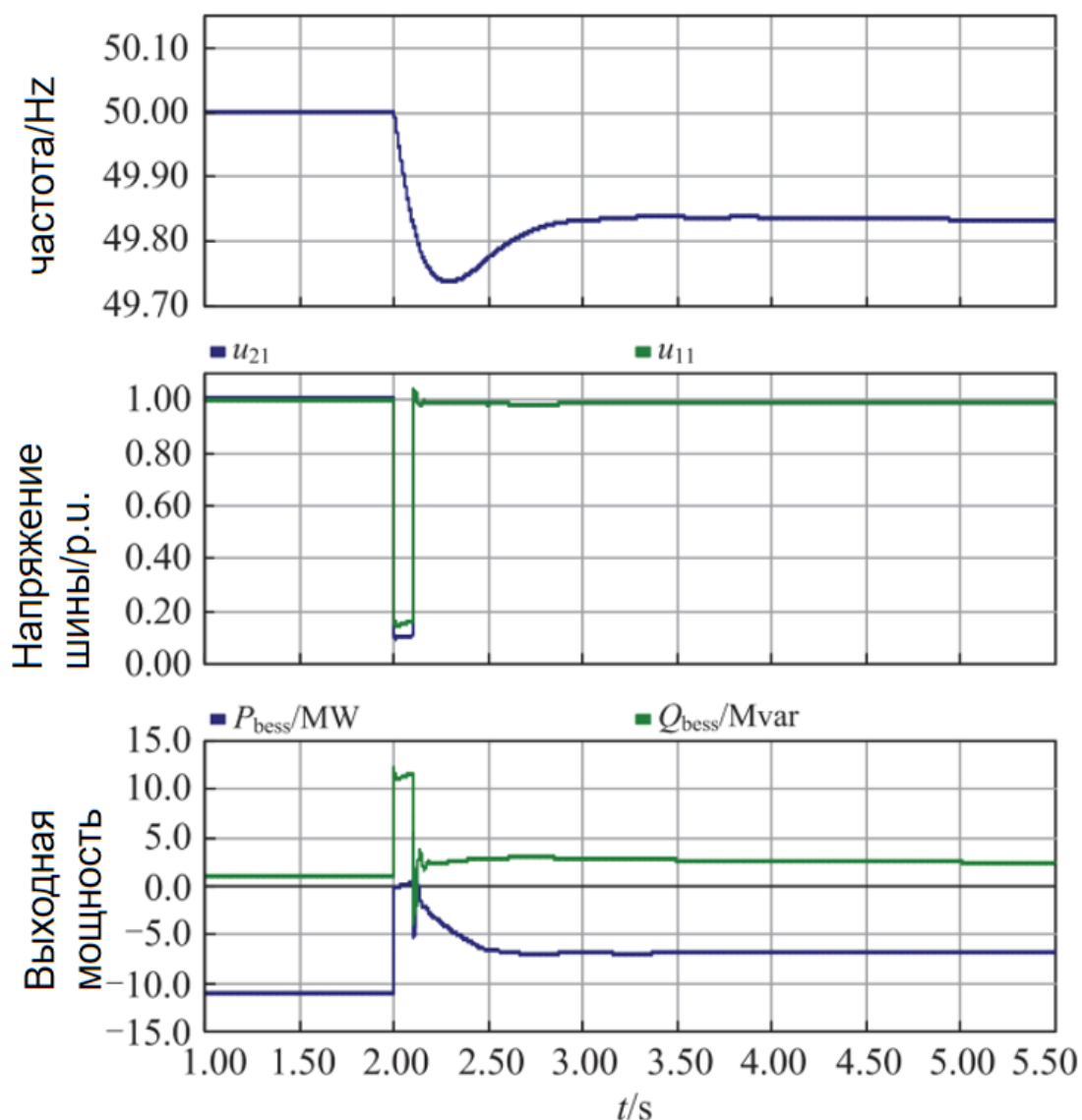


Рисунок 17 - Системная и автономная коммутация результатов экспериментов

7.5 Выводы

В данной работе рассматривается функциональное применение накопителей энергии сетевого типа в новых энергосистемах. Путем теоретического анализа и имитационного расчета получены следующие выводы:

Опираясь на характеристики обычных блочных контроллеров возбуждения и регулирования скорости, предложена электромеханическая модель анализа переходных процессов накопления энергии сетевого типа для выполнения вспомогательной роли, аналогичной обычным генераторам

электроэнергии.

Накопление энергии сетевого типа имеет характеристики источника напряжения + самосинхронизированного управления, аналогичного обычным синхронным генераторам, и его мгновенное изменение мощности после возмущения сети распределяется в соответствии с коэффициентом синхронной мощности от точки источника питания до точки возмущения мощности.

Основываясь на инженерном анализе накопителя энергии в бытовой сети, видно, что сетевой накопитель энергии имеет очевидные преимущества в улучшении мощности короткого замыкания новых энергетических многополевых станций и плавного переключения режимов работы, а также эффективно повышает уровень устойчивости системы. Применение сетевых накопителей энергии в Китае и за рубежом все еще находится в зачаточном состоянии, и для дальнейшего использования потенциала их применения на уровне крупных сетей соответствующая работа может быть выполнена по следующим аспектам:

Содействие разработке моделей оборудования сетевого типа на основе отечественных основных платформ моделирования крупномасштабных электросетей для поддержки инженерного моделирования и применения.

Нужно обратить внимание на выборе установки перегрузки по току для сетевого накопителя энергии и адаптировать его к традиционной релейной защите, улучшить построение соответствующих стандартных систем для применения технологии сетевого накопителя на уровне магистральной сети.

Нужно изучить инновационный механизм сетевого накопления энергии для участия в рынке вспомогательных услуг по питанию потребителей, а также создать вспомогательные услуги и системы оценки, такие как срез пиков, регулирование частоты и момента инерции системы с помощью сетевых накопителей энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью является перспективной технологической платформой будущей электроэнергетики. Современные технические возможности позволяют двигаться в направлении формирования SmartGrid. Этот процесс будет постепенным, поскольку необходимые мероприятия требуют значительных средств. Тем не менее, имеющиеся оценки показывают потенциальную эффективность реализации новой парадигмы развития электроэнергетики Китая.

Проведен анализ зарубежного опыта построения интеллектуальных сетей, ориентированных в первую очередь на развитие интерфейса с конечным потребителем и распределенной генерацией, построением интеллектуальных микросетей, обеспечивающих устойчивую работу электроприемников потребителей и местных источников питания, как в изолированном от внешней ЭЭС, так и в синхронном с ней, режимах работы.

Показаны идеология и принципы развития новой энергосистемы Китая, как клиентоориентированной энергосистемы нового поколения, основанные на последовательном повышении качества управления с помощью цифровых технологий, новых информационных технологий и технологий управления.

С тех пор, как было предложено строительство новой энергетической системы, были проведены обширные исследования в различных областях экономики, и в этой работе обобщены инновации на основе существующих исследований, а также показано построение новой энергетической системы со позиций многих аспектов. Концепция построения новых энергетических систем рассмотрена с точки зрения значимости, характеристик, структуры, путей реализации, проблем, создания цифровых технологий и систем накопления энергии. В результате исследования определено, что новые энергетические системы обладают основными характеристиками безопасности и управляемости, низкоуглеродной защиты окружающей среды

и экономических выгод.

В типичном сценарии углеродной нейтральности в 2060 году общая установленная мощность системы составит 8 миллиардов киловатт, установленная мощность неископаемой энергии составит около 90%, потребление электроэнергии всей страной составит 16 триллионов киловатт-часов, а производство электроэнергии неископаемой энергией составит около 95%.

Ключевыми вопросами на пути внедрения новой энергетической системы являются устойчивое и упорядоченное сокращение использования энергии угля, высокоинтенсивное применение полученных научных результатов о новой энергетике, а также рациональное и эффективное распределение гибких ресурсов системы, среди которых сокращение энергии угля должно быть хорошо обосновано. В соответствии с тенденцией сначала медленно, а затем быстро будет происходить интенсивное внедрение возобновляемой энергии в систему с учетом обеспечения устойчивости системы.

Таким образом, новая энергетическая система с возобновляемой энергией в качестве основного звена является важной мерой для достижения снижения выбросов углерода и углеродной нейтральности, но она также выдвигает новые требования к безопасной и эффективной работе электросети, а применение цифровых технологий в значительной степени удовлетворят потребности развития новой энергосистемы. Однако в практическом применении все еще есть много недостатков, и по-прежнему необходимо обращать внимание на моделирование электросетей и ускорять построение цифровых сетей. Необходимо содействовать интеграции данных и использовать ценность сетевых ресурсов, нужно модернизировать мидл-офис бизнеса, ускорить цифровизацию управления оборудованием и быстрее достичь цели углеродной нейтральности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГАО Чжюань. Размышления о некоторых характеристиках новой энергосистемы[J/OL]. Резервное копирование автоматизации питания.
2. Цифровая подстанция МЭК 61850 [Электронный ресурс]: сайт электротехнического завода «Вектор».
URL: http://etzvektor.ru/products/buklet_MEK_61850.pdf (дата обращения 11.12.18)
3. Ву Шань, Бянь Сяоянь, Чжан Цзинсянь и др. Обзор отечественных и зарубежных исследований рынка вспомогательных услуг по повышению гибкости новой энергосистемы [J / OL]. Труды Китайского электротехнического общества.
4. СЕ Сяорон. Обзор и перспектива применения функций накопления энергии в новой энергосистеме[J/OL]. Труды ЦСЭИ.
5. КАН Чунцин, Ду Эршунь, Ли Яован и др. «Углеродная перспектива» новой энергосистемы: научные проблемы и рамки исследований [J].Технология энергосистемы, 2022, 46 (3): 821-833.)
6. Национальное энергетическое управление. Национальное энергетическое управление опубликовало национальную статистику по электроэнергетике за 2022 год[ЭБ/ОЛ]. (2023-01-18) [2023-01-18].
7. ЧЖАН Чжиган, КАН Чунцин. Проблемы и перспективы построения новой энергосистемы с целью достижения углеродной нейтральности [J].Труды CSEE, 2022, 42 (8): 2806-2818.)
8. ЧЖО Чжэньюй, ЧЖАН Нин, СЕ Сяорун и др. Ключевые технологии и проблемы развития энергосистемы с высокой долей возобновляемых источников энергии [J].Автоматизация электроэнергетических систем, 2021, 45 (9): 171-191.)
9. М.А. Чжао, Чжоу Сяосинь, Шан Ювэй и др. Морфология и тенденция развития будущей системы распределения электроэнергии

[J].Труды CSEE, 2015, 35 (6): 1289-1298.)

10. Се Сяоронг, М.А. Нинцзя, Лю Вэй и др. Обзор и перспектива применения функций хранения энергии в новой энергосистеме [J].Труды CSEE, 2023 г., 43 (1): 158-168.)

11. СИНЬ Баоань. Использование возможности новой цифровой инфраструктуры для содействия цифровой трансформации электросети [J].Управление энергетическим оборудованием, 2021 (2): 17-19.)

12. Чжоу Дань ». Направление развития электроэнергетики Китая в рамках цели «двойного углерода»[J]. Китайско-иностранная энергетика, 2022, 27(10): 30

13. Лэн Цзюнь, Сюэ Юйшэн ». Идея оптимизации пути развития новой энергосистемы с целью «двойного углерода»[J]. Управление электроэнергетическим предприятием Китая, 2021 (19): 11-13.

14. ЧУ Лили . Траектория развития новой энергосистемы в соответствии с двойными углеродными целями[J]. Мир цифровых коммуникаций, 2022 (7): 155-157.

15. Ян Руопу ». Вызовы и контрмеры для построения новой энергосистемы в рамках цели «двойного углерода»[J]. Китайско-иностранная энергетика, 2022,27(7):17-22.

16. Государственная энергосистема Чжэцзян Электрик. Постройте новую энергетическую систему провинции с новой энергией в качестве основного корпуса

17. Схема построения демонстрационной площадки уровня[EB/OL]. (2022-01-19) [2022-12-28].

18. ЧЖАН Чжиган, КАН Чунцин. Задача построения новой энергосистемы в рамках цели углеродной нейтральностиТруды ЦЮВЕ, 2022,42(8):2806-2818.

19. Го Ци, Лу Юаньхун. Ключевые технологии и перспективы моделирования и симуляции новой энергосистемы[J].Автоматизация

электроэнергетических систем, 2022, 46(10):18-32.)

20. КАН Чунцин, ЯО Лянчжун. Ключевые научные вопросы и теоретические основы исследований энергосистемы с высокой долей возобновляемых источников энергии [J]. Автоматизация энергетических систем, 2017, 41 (9): 2-11.)

21. Шу Иньбяо, Чэнь Гопин, Хэ Цзинбо и др. Создайте новую энергию в качестве основного тела Исследование новой структуры энергосистемы [J]. Инженерные науки, 2021, 23 (6):61-69.

22. Жэнь Давэй, Сяо Цзиньюй, Хоу Цзиньмин и др. Новая электроэнергия Китая в рамках двойной углеродной цели Исследование построения и эволюции силовой системы [J]. Технология энергетических систем, 2022 г., 46 (10):3831-3839.

23. Комиссия по развитию и реформам провинции Цзянсу. Провинциальная комиссия по развитию и реформам издала приказ Цзяна Уведомление о 14-м пятилетнем плане развития возобновляемых источников энергии провинции Су [EB/OL]. (2022-06-30) [2022-12-28]

24. Ли Бо, Чэнь Миньюй, Чжун Хайван и др. Обзор долгосрочного планирования новой энергосистемы с высокой долей возобновляемых источников энергии [J]. Труды CSEE, 2023, 43(2):555-581.)

25. Китайская южная электросетевая корпорация. План действий China Southern Power Grid Corporation по строительству новой энергосистемы (2021-2030 гг.) Белая книга [EB/OL] . (2021-12-16) .

26. ЧЖАН Фэн, Ян Чжипэн, Чжан Ли и др. Экономическая эксплуатация микроэнергосистемы островного типа с учетом нескольких типов реагирования на спрос [J]. Технология энергосистемы, 2020, 44(2):547-555.

27. Се Сяоронг, Хэ Цзинбо, Мао Ханьинь и др. Новые проблемы и классификация устойчивости «двойной-высокой» энергосистемы [J]. Труды

ЦЮВЕ, 2021, 41(2): 461-475.

28. Программа инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» на 2016-2020 годы с перспективой до 2025 года [Электронный ресурс]: Приложение 3 к протоколу № 370 заседания совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС» 07.06.2017.URL:

29. Исследование энергетического перехода Китая и энергетического планирования «14-й пятилетки». Глобальное энергетическое взаимодействие Организация сетевого сотрудничества в области развития, 2020.

30. Чжао Цзяньбо, Ван Лэй». «Построение новой энергосистемы с новой энергией в качестве основного органа» в 14-м пятилетнем плане [J]. Энергетика Китая, 2021 г., 43 (5): 17-21.)

31. Тань Сяньдун, Лю Цзюнь, Сюй Чжичэн и др.» Электроэнергия «14-й пятилетки» в рамках цели «двойного углерода» Форсировать ситуацию спроса и предложения [J]. Электроэнергетика, 2021, 54(5): 1-6.

32. Чэнь Хайшэн». Развитие систем хранения энергии в рамках цели «двойного углерода» [J]. China Power Enterprise Management, 2021(22):23-24.)

33. ЦЗЭН Мин. Трудности и предложения по продвижению коммерциализации накопителей энергии в Китае [J]. China Power Enterprise Management, 2019 (31): 28-31.)

34. Чжэн Шуай, Лу Хао, Ли Вэньбо и др. Исследования по разработке крупномасштабных накопителей энергии в энергосистеме Шаньдуна [J]. Electrical Technology, 2020 (24): 35-37 + 40.)

35. Ду Цзилинь. Исследование контрмер для развития высокоустойчивой энергосистемы на фоне новой энергосистемы: тематическое исследование Yongnian Equipment Manufacturing Park [J]. Источник света и освещение, 2022 (7): 152-154.

36. ЦАО Яли. Продвигать стратегическую цель «двойного углерода» и ускорять строительство новой энергосистемы [N]. Новости промышленности Китая, 2021-11-26(1).

37. ЧЖАН Цзянь, Даниэль Чжан». Новые стратегические возможности для построения новой энергосистемы в рамках цели «двойного углерода»[J]. Наука проливов, 2021 (11): 47-53.
38. ЯН Хайсен. Технология накопления энергии в новой энергетической системе при различных сценариях применения[J]. Источник света и освещение, 2021 (7): 99-100, 138.
39. ЧЖОУ Циньюн. Как построить новую энергосистему, отвечающую цели «двойного углерода»[J]. Энергетика, 2021 (10): 28-32.
40. САН Баого, Цзи Синпэй, Сюй Чуаньлун и др. Анализ недавней ситуации с глобальным спросом и предложением на энергоносители и стратегия гарантий энергоснабжения Китая [J]. Электроэнергия, 2022, 55 (10): 1-13
41. Г.Э. Синьсинь, Фу Чжиян, Сюй Фэй и др. Коммерческая модель и ключевая технология виртуальной электростанции для новой энергосистемы[J]. Автоматизация электроэнергетических систем, 2022, 46 (18) : 129-146.
42. Национальное энергетическое управление. Энергосистема Китая обладает определенной способностью противостоять экстремальным погодным условиям и ускорит строительство энергосистемы нового поколения, основанной на энергосистеме. (2021-03-01) [2022-03-22] .
43. Новости Южной энергосистемы Китая. Компания взяла на себя ведущую роль в выпуске первой в отрасли новой стандартной системы для энергосистем [EB/OL]. (2021-10-12) [2022-03-22] .
44. Народная сеть. Новое поколение энергосистемы требует, чтобы энергосистема построила систему создания стоимости [EB/OL]. (2021-01-25) [2022-03-22]
45. Государственная электросетевая корпорация Китая. План действий Государственной электросетевой корпорации Китая «Пик выбросов

углерода и углеродная нейтральность»[J]. Государственная сетка, 2021 (3): 50-52.

46. Хуан Хайцзин, Гао Ян, Сунь Интао и др. Исследования по стандартизации оценки устойчивости безопасности энергосистем [J]. Стандартная наука, 2022 (1): 98-101.

47. ЧЖАН Юлян . Крупная историческая возможность для всесторонней трансформации и модернизации энергосистемы [EB/OL]. (2022-07-31).

48. Жэнь Цзяньцян, Ван Луян, Ву Цзяхао и др. Оценка рисков эксплуатации нового энергетического оборудования на основе построения сценария и дедукции [J/OL]. Журнал Университета Цинхуа (естественнонаучное издание), 2022 г.:1-8[2022-08-29].

49. ЛИНЬ Вэйбинь, Ву Цзяи. Три основные тенденции энергетического перехода Китая в соответствии с видением углеродной нейтральности [J].Теория и практика цен, 2021 (07): 21-23 + 114.)

50. ЧЖАН Сяоли, Лю Цзюньлин, Ван Кэ, Цуй Сюэцинь, Цзоу Цзи. Исследование среднесрочного и долгосрочного пути низкоуглеродного развития энергетического сектора Китая [J].Chinese Mouth, Resources and Environment, 2018, 28 (04): 68-77.)

51. КОНГ Ли, Пэй Вэй, РАО Цзянье, Сюй Инсинь. Строительство новой энергосистемы для содействия реализации углеродной нейтральности [J].Бюллетень Китайской академии наук, 2022,37(04):522-528.)