

Перспективные направления развития распределительных сетей при интеграции локальных интеллектуальных энергосистем

По материалам
VI Всероссийской конференции
«РАЗВИТИЕ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ»

УДК 621.311:621.316.1

Приведены основные причины и негативные системные эффекты от развития распределенной генерации промышленными предприятиями, а также существующее положение с их технологическим присоединением и функционированием в ЕЭС России. Рассмотрены позитивные эффекты от создания локальных интеллектуальных энергосистем (ЛИЭС) как объектов распределенной энергетики для субъектов Российской Федерации и всех видов потребителей энергоресурсов. Приведены предпосылки к созданию и перспективы развития ЛИЭС в России с учетом прогнозов экспертов и перечня проводимых научных исследований на международном и российском уровне. Рассмотрены локальные и системные технико-экономические эффекты от интеграции ЛИЭС в распределительные сети, а также экономическая основа этих эффектов для распределительных сетевых компаний при выстраивании эффективного взаимодействия с собственниками ЛИЭС. Приведена информация об отечественной автоматике управления режимами ЛИЭС, позволяющей решать задачи противоаварийного и режимного управления для обеспечения надежного функционирования ЛИЭС и потребителей в различных схемно-режимных условиях. Сформирован перечень шагов, направленных на ликвидацию административных, нормативных и технологических барьеров для масштабного развития ЛИЭС, а также создания благоприятных условий для притока частных инвестиций в сферу малого энергетического бизнеса.

Илюшин П.В.,
д.т.н., главный
научный сотрудник,
руководитель Центра
«Интеллектуальные
электроэнергетические
системы и распреде-
ленная энергетика»
ФГБУН «Институт
энергетических
исследований РАН»

Ключевые слова:
распределительная
сеть, локальная
интеллектуальная
энергосистема,
распределенная
генерация, технико-
экономические
эффекты, автоматика
управления режимами

В настоящее время во всем мире реализуется «энергетический переход» — формирование цифровой децентрализованной малоуглеродной энергетической инфраструктуры. Одновременно изменяется модель поведения потребителей, которые преобразуются в просьюмеров (потребителей-производителей), активно участвующих в функционировании энергосистемы. Это выражается в существенном изменении профилей электропотребления по сигналам рынка электроэнергии посредством участия в программе Demand Response (управление спросом на электроэнергию), в том числе за счет эффективного использования возможностей собственного производства и хранения электроэнергии.

Основой «энергетического перехода» являются элементы шестого технологического уклада и технологии четвертой промышленной революции. При этом на объектах распределенной энергетики используются все доступные виды энергетических ресурсов для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей при соблюдении требований по повышению энергоэффективности и снижению выбросов парниковых газов [1, 2].

Надежность поставок электроэнергии является важнейшей составляющей жизнеобеспечения бытовых потребителей, а от доступности электроэнергии для коммерческих и промышленных потребителей во многом зависит эффективность функционирования и дальнейшее развитие экономики страны. Повышение надеж-

ности и доступности электроснабжения являются в современных условиях основными трендами научно-технического развития, которые обуславливают создание MiniGrid (MicroGrid) во многих странах мира как нового объекта распределенной энергетики и Smart Grid как новой технологической платформы для управления распределительными сетями [3].

При этом сети среднего и низкого напряжения поэтапно преобразуются в локальные интеллектуальные энергосистемы (ЛИЭС) с распределенными энергоресурсами (РЭР), которые являются сложными гетерогенными объектами с децентрализованными системами управления. Эти ЛИЭС интенсивно насыщаются техническими (новые виды оборудования и системы автоматики) и организационными (новые виды услуг и моделей розничного рынка) инновациями. Данный тренд наблюдается и в России, где ведутся работы по созданию дефицитных промышленных объектов распределенной энергетики — активных энергетических комплексов (АЭК) в системах внутреннего электроснабжения промышленных предприятий, а также коммунальных ЛИЭС в системах энергоснабжения бытовых и приравненных к ним потребителей [4].

К РЭР относятся объекты распределенной генерации (РГ) мощностью до 25 МВт, в том числе на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), системы накопления электроэнергии (СНЭЭ) и активные потребители (просьюмеры).

Особенностями ЛИЭС как объекта распределенной энергетики являются:

- сбалансированность в нормальном режиме по электрической и тепловой генерации и нагрузке, с возможностью постоянно работать в режимах избытка и (кратковременно в послеаварийных режимах) дефицита мощности;
- возможность выработки холодовой энергии (при наличии спроса);
- функционирование в сетях среднего напряжения;
- способность работать как параллельно с ЕЭС России, так и в островном режиме;
- обеспечение заданного уровня балансовой и режимной надежности при работе в островном режиме;
- поддержание заданных показателей бесперебойности энергоснабжения потребителей с электроприемниками различных категорий надежности;
- наличие внутренних тепловых и электрических сетей, а также интеллектуальной системы управления ЛИЭС в целом.

Создание и интеграция ЛИЭС в ЕЭС России посредством технологического присоединения к распределительным сетям позволяет извлекать локальные и системные технико-экономические эффекты.

Целью статьи является подробное рассмотрение механизмов получения позитивных локальных и системных эффектов, возникающих при интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в распределительные сети, которые могут придать новый импульс их развитию.

СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ С РАЗВИТИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ (РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ) В РОССИИ

В последнее время в России наблюдается тенденция роста вводов объектов РГ, которые, как правило, сооружаются собственниками промышленных предприятий и подключаются к распределительным сетям или к собственным сетям внутреннего электроснабжения. Это позволяет промышленным предприятиям получать более дешевые энергоресурсы для снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности производимой продукции.

Опыт показывает, что объекты РГ (распределенной энергетики), как правило, работают либо в изолированном режиме, либо параллельно с ЕЭС России, но без выдачи мощности в сеть. Данное требование включено во все технические условия на технологическое присоединение, выдаваемые распределительными сетевыми компаниями.

В связи с отсутствием достоверных статистических данных по объектам РГ в России сложно сделать точную оценку динамики их внедрения. По оценкам экспертного сообщества $\approx 8,5\text{--}9$ ГВт суммарной установленной мощности объектов РГ расположены в изолированных энергорайонах, а также $\approx 14,5\text{--}15$ ГВт в централизованной зоне электроснабжения. Следовательно, около 23–24 ГВт мощностей установлено на объектах РГ, что составляет около 10% от суммарной величины генерирующих мощностей в ЕЭС России.

Как правило, именно экономические факторы определяют целесообразность строительства собственных объектов РГ:

- необходимость утилизации попутного нефтяного газа на месторождениях, без сжигания его в факеле;
- возможность эффективного использования вторичных энергоресурсов (шахтного газа, доменного и конвертерного газа, биогаза на очистных сооружениях, отходов лесопереработки и сельского хозяйства и др.);
- потребность в тепловой и холодовой энергии (развитие когенерации и тригенерации на производственных котельных при их техническом перевооружении);
- доступность газовой инфраструктуры с необходимыми объемами поставки природного газа;
- отклонение показателей качества электрической энергии от требуемых (например, для обеспечения прямых пусков крупных электродвигателей в сети внутреннего электроснабжения);
- необходимость обеспечения надежного электроснабжения особо ответственных электроприемников (например, при авариях во внешней распределительной сети);
- сложность и высокая стоимость реализации технических мероприятий по технологическому присоединению к распределительным сетям;
- высокая стоимость электроэнергии для промышленных потребителей (большие потери

электроэнергии в сетях — до 20%, перекрестное субсидирование, увеличение финансовой нагрузки на потребителей оптового рынка электрической энергии и мощности, высокие операционные издержки энергетических компаний, низкий КПД генерирующих установок и коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) в централизованной генерации и др.) [5].

Следует констатировать тот факт, что до последнего времени процесс развития распределенной генерации промышленными предприятиями носил малоуправляемый, слабо регулируемый и плохо прогнозируемый характер, что привело к негативным системным эффектам:

- снижению загрузки сетей высокого и среднего напряжения (величины нагрузки существенно ниже проектных);
- выпадающим доходам от снижения полезного отпуска в сеть;
- необходимости поддержания в нормативном техническом состоянии электросетевого оборудования в полном объеме;
- обвинениям в неэффективном расходовании инвестиционной составляющей тарифа на электроэнергию из-за наличия новых недогруженных электросетевых объектов (подстанций, линий электропередачи);
- неполучению локальных и системных эффектов от интеграции объектов распределенной энергетики.

Негативные последствия также проявились в виде роста нагрузки от перекрестного субсидирования на оставшихся в зоне централизованного электроснабжения потребителей и роста тарифа на передачу электроэнергии.

В этих условиях субъектами электроэнергетики были созданы административные, нормативные и технологические барьеры для объектов РГ и распределенной энергетики. Их преодоление требует существенных временных и материальных затрат на присоединение сбалансированных ЛИЭС (объектов распределенной энергетики) к сетям распределительных сетевых компаний, которые сопоставимы по величине с капиталовложениями в их создание.

На сегодняшний день в нормативно-правовых и нормативно-технических документах не делается различий между объектами РГ и ЛИЭС как объектами распределенной энергетики, хотя они существенны. Объект распределенной энергетики создается на базе объекта(-ов) распределенной генерации, в том числе на основе ВИЭ, и включает в себя, помимо активных потребителей и систем накопления энергии (при необходимости), внутренние тепловые и электрические сети, а также интеллектуальную систему управления ЛИЭС.

Важно отметить, что развитие ЛИЭС позволяет решить задачи, имеющие важное значение для субъектов Российской Федерации и всех видов потребителей энергоресурсов:

- повысить привлекательность инвестиций в электроэнергетику субъектов Российской Федерации

и содействовать притоку частных инвестиций в сферу малого энергетического бизнеса;

- содействовать повышению темпов социально-экономического развития субъектов Российской Федерации, в том числе за счет создания новых рабочих мест на вновь строящихся ЛИЭС;
- повысить доступность электрической и тепловой энергии для потребителей в нужном месте, требуемого качества и по приемлемой цене;
- снять проблему реконструкции «закрытых» центров питания распределительных сетей, а также ограничений пропускной способности существующих тепловых сетей;
- содействовать беспрепятственному развитию городов (поселков городского типа и др.) при расширении (освоении, переустройстве) территорий, где отсутствует или недостаточна энергетическая инфраструктура (территории опережающего социально-экономического развития, индустриальные парки, промышленные кластеры и др.);
- повысить бесперебойность поставок тепловой и электрической энергии потребителям, а также качество жизни бытовых потребителей;
- создать новые условия для развития конкуренции на розничном рынке электроэнергии;
- существенно снизить потери при передаче электрической и тепловой энергии от объектов РГ до конечных потребителей внутри ЛИЭС;
- содействовать сдерживанию роста тарифов на электрическую и тепловую энергию для потребителей;
- максимально эффективно использовать местные энергетические ресурсы, включая ВИЭ;
- повысить эффективность использования природного газа, утилизации вторичных энергоресурсов (отходов жизнедеятельности) и экологичности за счет применения когенерационных установок на объектах РГ в составе ЛИЭС;
- содействовать частичному решению проблемы перекрестного субсидирования на розничном рынке электроэнергии в рамках существующей системы тарифного регулирования;
- содействовать обеспечению энергетической безопасности регионов Российской Федерации и страны в целом.

На рисунке 1 приведена упрощенная однолинейная схема присоединения ЛИЭС к распределительной сети на напряжении 10 кВ.

В последнее время в ряде субъектов Российской Федерации наметился тренд на участие частных инвесторов в строительстве и эксплуатации ЛИЭС на базе объектов РГ с когенерационными установками, интегрируемых в распределительные сети. Внутри ЛИЭС осуществляется производство и поставка тепловой, электрической и даже холодной энергии потребителям, находящимся в непосредственной близости. Вовлечение частных инвесторов в указанные процессы формирует сферу малого энергетического бизнеса, конкурирующего с традиционным крупным, а также содействует раз-

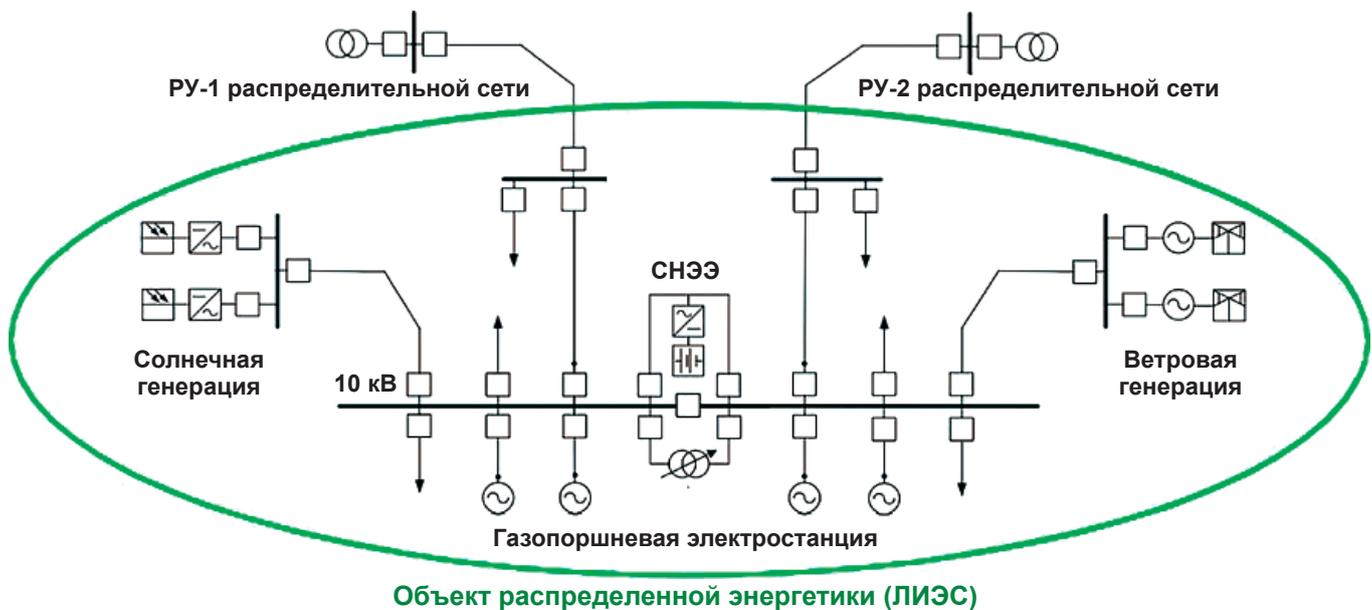


Рис. 1. Упрощенная однолинейная схема присоединения ЛИЭС

витию конкуренции и повышению эффективности деятельности [6].

На базе объектов РГ создаются промышленные, сельскохозяйственные и коммунальные ЛИЭС. Приведем несколько примеров:

- промышленные ЛИЭС — ПАО «Сургутнефтегаз», Тепличный комбинат «ЛипецкАгро», Тепличный комбинат «Майский», Нижнетагильский металлургический комбинат (группа компаний ЕВРАЗ);
- Активный энергетический комплекс в г. Тихвине (этап отбора пилотных площадок);
- коммунальные ЛИЭС — Мини-ТЭЦ «Березовая» 10 МВт (г. Новосибирск); Мини-ТЭЦ «Сфера» 7,2 МВт (г. Южно-Сахалинск) [7].

Для ликвидации указанных барьеров требуются усилия по разработке и внедрению инновационных технологических решений, позволяющих получать позитивные локальные и системные эффекты, размер которых позволит заинтересовать субъекты Российской Федерации, распределительные сетевые компании, субъекты малого и среднего предпринимательства, а также частных инвесторов в развитии объектов распределенной энергетики — ЛИЭС.

Как видно из статистических данных за последние пять лет и прогнозных данных на следующие пять лет, объем вводов новых генерирующих мощностей в мире существенно возрастает в сегменте распределенной генерации и снижается в сегменте централизованной генерации (рисунок 2) [8].

Однако вовсе не требуется осуществлять повсеместный переход от централизованной энергетики к распределенной, учитывая исторические и климатические особенности России. Следует обеспечить сбалансированное развитие централизованной

энергетики и ЛИЭС для получения эффектов для потребителей, экономики субъектов Российской Федерации и страны в целом, содействуя внедрению инновационных решений в электроэнергетике.

Распределительные сетевые компании могут кардинально изменить сложившееся положение, если конструктивно и непредвзято оценят рассмотренные в статье локальные и системные технико-экономические эффекты, которые они могут извлечь от интеграции ЛИЭС.

ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛИЭС

В Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года относительно данного направления развития электроэнергетики отмечается следующее:

- приоритетными, в рамках дорожной карты Национальной технологической инициативы по направлению «Энерджинет», в частности, являются новые технические средства для создания интеллектуальных энергетических систем, в том числе локальных как в изолированных энергорайонах, так и интегрируемых в ЕЭС России;



Рис. 2. Информация по вводам новых генерирующих мощностей в мире

- новые технологии распределенного производства электрической энергии, микрогенерации, управляемого потребления, виртуального агрегирования ресурсов создают принципиально новые условия для развития конкурентного розничного рынка, построенного на базе автоматизированных локальных торговых площадок по торговле электроэнергией;
- реализация пространственных приоритетов государственной энергетической политики предполагает повышение устойчивости и надежности энергоснабжения макрорегионов с максимальным, экономически эффективным использованием местных энергоресурсов, возобновляемых источников энергии и распределенной генерации, а также гарантированное обеспечение энергетической безопасности и развитие энергетической инфраструктуры для опережающего социально-экономического развития [9].

Таким образом, необходимо создавать условия для развития распределенной энергетики, являющейся базовым элементом «энергетического перехода» как в изолированных энергорайонах, так и интегрируемых в ЕЭС России.

На международном научном уровне предпринимаются шаги для решения проблемных вопросов создания и функционирования ЛИЭС мощностью до 25 МВт с интеллектуальными системами управления. Так, например, в качестве приоритетных тем на 49-ю сессию СИГРЭ, которая запланирована на 2022 год, по научному направлению «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергоресурсы» выбраны следующие:

- 1. Решения и наработки в сфере распределенных энергоресурсов для энергетического перехода и декарбонизации:**
 - конфигурирование и эксплуатация электрозарядной инфраструктуры;
 - управление спросом и интеллектуальное конфигурирование нагрузок для расширения возможностей потребителей;
 - электрификация транспорта, отопительных систем и промышленных процессов.
- 2. Инновационное планирование и эксплуатация активных распределительных сетей:**
 - платформы для агрегации и управления активными распределительными сетями;
 - стратегии и инструменты для интеграции РЭР, определения максимальной мощности подключаемых объектов РГ, управления перегрузками и предоставления системных услуг со стороны РЭР;
 - экологические аспекты электрификации сельских и неос-

военных районов, изолированные распределительные системы и промышленные системы с нулевым выбросом.

3. Объединение РЭР для повышения отказоустойчивости, надежности и энергетической безопасности распределительных сетей:

- конфигурация локальных систем накопления энергии для управления неопределенностями;
- координация многоресурсных энергосистем при поддержке современных технологий, включая интеллектуальные инверторные системы управления;
- индивидуальные MicroGrid AC/DC, MultimicroGrid, управление виртуальными электростанциями и локальными интеллектуальными энергосистемами при их интеграции в распределительные сети.

Анализ текущих и перспективных планов деятельности СИГРЭ показывает, что в мировом научном сообществе уделяется особое внимание вопросам создания и функционирования систем управления активными распределительными сетями с РЭР, а также ЛИЭС при их интеграции в распределительные сети.

При этом следует принимать во внимание, что объемы рынка коммерческих и промышленных ЛИЭС в России, как показывают прогнозы экспертов, будут только возрастать как в натуральном выражении (МВт), так и в финансовом выражении (млрд рублей), а темпы их вводов в эксплуатацию будут ежегодно ускоряться (рисунок 3) [10].

Отсутствие разработанных типовых технических условий на технологическое присоединение ЛИЭС к распределительным сетям приводит к значительному затягиванию процессов подписания технических условий на технологическое присоединение, рассмотрения и согласования проектов, а также получения подтверждений об исполнении технических условий.

Важно отметить, что именно распределительные сетевые компании могут и должны играть определяющую роль при решении вопросов: где, сколько, какой мощности и когда целесообразно вводить в эксплуатацию ЛИЭС.



Рис. 3. Объемы рынка коммерческих и промышленных ЛИЭС в России

ЛОКАЛЬНЫЕ И СИСТЕМНЫЕ ЭФФЕКТЫ ОТ ИНТЕГРАЦИИ ЛИЭС

Интеграция ЛИЭС в распределительные сети выгодна распределительным сетевым компаниям, так как позволяет обеспечить:

- сокращение объемов реконструкции линий электропередачи (ЛЭП) и центров питания (ЦП) за счет применения ЛИЭС, что позволяет снять ограничения на присоединение новых потребителей к «закрытым» ЦП;
- выравнивание графиков загрузки ЦП при использовании ЛИЭС в качестве компенсирующих устройств для повышения аппаратной надежности и долговечности электросетевого оборудования;
- снижение индикативных показателей SAIDI, SAIFI за счет разгрузки ЦП и повышения бесперебойности электроснабжения потребителей от ЛИЭС в островном режиме при повреждении оборудования распределительных сетей на время проведения аварийно-восстановительных работ;
- обеспечение показателей качества электроэнергии в прилегающей к ЛИЭС распределительной сети (нормализация уровней напряжения, симметрирование нагрузки, фильтро-компенсирующее устройство) за счет привлечения автоматических регуляторов возбуждения генераторов объектов РГ к поддержанию заданных уровней узловых напряжений и tgφ;
- сокращение перечня технических мероприятий, подлежащих реализации, для обеспечения

- требований потребителей 1-й и 2-й категории надежности к надежности внешнего электро-снабжения за счет наличия второго независимого источника электроснабжения в виде объекта РГ ЛИЭС;
- рост объема цифровизации, а также повышение наблюдаемости и управляемости распределительных сетей при реализации мероприятий по технологическому присоединению ЛИЭС на базе объекта(-ов) РГ (установка цифровых счетчиков, автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии, средств телемеханики, цифровых каналов связи, цифровых устройств релейной защиты и автоматики и др.); это не подразумевает оснащение электросетевых объектов распределительных сетевых компаний за счет сторонних инвесторов, строящих ЛИЭС, однако в соответствии с нормативно-техническими документами при присоединении объектов РГ мощностью более 5 МВт нужно обеспечить наблюдаемость режимов объектов РГ и генерирующих установок на них; если объект РГ оснащается на границах своей балансовой принадлежности и генерирующие установки индивидуально оснащаются цифровыми устройствами, а прилегающая к ним сеть внутри ЛИЭС оснащается устройствами измерения параметров режима, то это увеличивает наблюдаемость сети среднего напряжения; вся указанная информация будет передаваться в ЦУС распределительной сетевой



дугогасящие реакторы, резисторы заземления нейтрали, трансформаторы вывода нейтральной точки



Стандартные
резисторы NER



Комбинированные
резисторы NERC
(резистор
и трансформатор вывода
нейтрали в одном шкафу)

- Номинальное напряжение сети: 6, 10, 15, 20, 24, 35 кВ
- Номинальный ток: от 1 до 2000 А
- Номинальное сопротивление: от 1 до 10 000 Ом
- Время протекания номинального тока: от 5 с до длительного
- Материал рабочего элемента резистора: металл (сплав никель-хром-вольфрам-молибден)
- Трансформатор вывода нейтрали с сухой изоляцией
- Встроенные трансформаторы тока (количество ТТ и число вторичных обмоток — по заказу)
- Интеллектуальный блок контроля нагрева резистора (по заказу)
- Степень защиты шкафа: от IP23 до IP55
- Материал шкафа: нержавеющая сталь
- Охлаждение: естественное, воздушное
- Исполнение: для наружной/внутренней установки
- Сейсмостойкость: до 9 баллов по шкале MSK-64
- Диапазон рабочих температур: от -60 до +45°C
- Экспертное заключение ПАО «Россети»

**Продукция поставляется
по программам импортозамещения**

- компания, так как возможны схемно-режимные условия, когда объект РГ остановлен и вся нагрузка питается от распределительных сетей;
- усиление роли центров управления сетями и оперативно-диспетчерских групп в управлении режимами распределительных сетей среднего напряжения при выполнении ими функций оперативно-технологического управления ЛИЭС;
 - компенсация нестационарности выработки электроэнергии объектами ВИЭ (солнечной и ветровой генерации), находящимися в сетях ЛИЭС, и минимизация негативного влияния на электросетевое оборудование за счет применения в составе ЛИЭС СНЭЭ и специального управления выдчей мощности объекта(-ов) РГ, на базе которого(-ых) создана ЛИЭС.
- Рассмотрим экономическую основу получаемых распределительными сетевыми компаниями эффектов при выстраивании эффективного взаимодействия с собственниками ЛИЭС:
- перераспределение собственных инвестиций (например, на цифровизацию электросетевого комплекса) за счет сокращения объемов или отсрочки реконструкции электросетевых объектов;
 - увеличение полезного отпуска в сети за счет реализации технологического присоединения новых потребителей при снятии ограничений с «закрытых» ЦП;
 - снижение затрат на реализацию мероприятий по их техническому обслуживанию и ремонту за счет выравнивания графиков загрузки ЦП (силовых трансформаторов), повышения аппаратной надежности (индекса технического состояния) и долговечности электросетевого оборудования;
 - получение дополнительной надбавки к тарифу на передачу электроэнергии за счет повышения надежности и качества услуг (до + 2%), что возможно за счет разгрузки ЦП и повышения бесперебойности электроснабжения потребителей; необходимая валовая выручка может корректироваться для распределительной сетевой компании на повышающий коэффициент с учетом надежности и качества реализуемых услуг на последующий год, который определяется в % в соответствии с Методическими указаниями по расчету и применению понижающих (повышающих) коэффициентов, позволяющих обеспечить соответствие уровня тарифов, установленных для организаций, осуществляющих регулируемую деятельность, уровню надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг, утвержденными приказом ФСТ России от 26 декабря 2010 года № 254-э/1;
 - сокращение затрат на установку дополнительных средств компенсации реактивной мощности в распределительных сетях для снижения потерь в прилегающих к ЛИЭС распределительных сетях;
 - снижение затрат на установку бустеров (вольтодобавочных трансформаторов) для обеспечения показателей качества электроэнергии на шинах потребителей в соответствии с нормируемыми значениями;

- снижение потерь в распределительных сетях за счет оптимизации перетоков активной и реактивной мощности;
 - минимизация затрат на приобретение электроэнергии для компенсации потерь в распределительных сетях за счет ее приобретения по более низкой цене, чем у гарантирующего поставщика (что при определенных условиях выгодно собственникам ЛИЭС);
 - снижение затрат на обеспечение требований потребителей 1-й и 2-й категории надежности к надежности внешнего электроснабжения от распределительных сетей;
 - снижение затрат на цифровизацию распределительных сетей среднего и низкого напряжения при обеспечении роста наблюдаемости и управляемости;
 - расширение списка клиентских сервисов для получения дополнительных доходов (например, за счет выполнения функции агрегатора управления спросом на электроэнергию в ЕЭС России).
- Важно отметить, что для обеспечения надежного функционирования ЛИЭС в составе ЕЭС России они должны быть в обязательном порядке оснащены интеллектуальной системой управления, реализующей, в том числе, функции автоматизации управления режимами (нормальными и послеаварийными).

АВТОМАТИКА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЛИЭС

Интеграция в распределительные сети ЛИЭС отдельных объектов РГ, объектов ВИЭ и микрогенерации приводит к невозможности ручного управления электрическими режимами в них [11].

В настоящее время в России разработана автоматика управления режимами ЛИЭС, в которой реализованы все основные функции управления, освобождающие оперативно-технологический персонал распределительных сетевых компаний и ЛИЭС от принятия решений в темпе процесса, что позволяет снизить риск неправильных действий персонала [12].

Назначение автоматизации управления режимами — выполнение функций автооператора сбалансированной ЛИЭС, способной работать как параллельно с ЕЭС России в режимах избытка, дефицита и самобаланса по мощности под автоматическим режимным и противоаварийным управлением, так и в островном режиме, обеспечивая надежное электроснабжение потребителей ЛИЭС.

В автоматике управления режимами реализованы следующие функции:

- поддержание постоянной готовности к спорадическому противоаварийному сбалансированному отделению ЛИЭС от распределительной сети действием автооператора и режимной автоматизации по выбору состава включенного генерирующего оборудования, его загрузки и подготовки сечений для отделения;
- опережающее противоаварийное сбалансированное отделение ЛИЭС от распределительной сети с целью предотвращения нарушений

- устойчивости параллельной работы и перехода в островной режим;
- автоматический перевод ЛИЭС из режима параллельной работы в островной, из островного в режим параллельной работы с ЕЭС России с целью обеспечения и восстановления нормального режима, а также при оперативной необходимости;
 - децентрализованное управление режимами ЛИЭС, функционирующее согласовано с централизованной системой оперативно-диспетчерского управления;
 - информационная интеграция ЛИЭС с распределительной сетью для решения задачи повышения наблюдаемости сети.

Разработанная в России автоматика управления режимами ЛИЭС на базе объекта РГ открывает возможности для масштабной трансформации энергосистем и получения дополнительных локальных и системных эффектов за счет привлечения частных инвестиций в электроэнергетику [13, 14].

Разработанная автоматика управления режимами ЛИЭС обеспечивает:

- возможность создания ЛИЭС на базе существующих или вновь вводимых в эксплуатацию объектов РГ с нагрузками соизмеримой мощности;
- повышение экономической эффективности малого энергетического бизнеса по производству электрической и тепловой энергии (на основе когенерационных установок), что содействует привлечению инвестиционных ресурсов к созданию

- ЛИЭС и позволяет обеспечить надежное и бесперебойное энергоснабжение потребителей со сроками возврата инвестиций 5–7 лет;
- надежное электроснабжение потребителей в условиях возникновения локальных или системных аварий во внешней сети за счет опережающего противоаварийного сбалансированного отделения ЛИЭС с нагрузкой [15–17];
 - при наличии нескольких точек присоединения ЛИЭС к распределительной сети и использовании одной или двух из них для осуществления режима параллельной работы ЛИЭС может выступать в качестве эффективного средства управления пропускной способностью части внешней распределительной сети, непосредственно связанной с ЛИЭС.

Технологическая готовность к применению автоматики управления режимами подтверждается:

- результатами испытаний созданных физических моделей в НГТУ НЭТИ и НИУ «МЭИ» (при испытаниях была проведена проверка полного функционала автоматики в различных схемно-режимных условиях);
- разработкой компьютерного тренажера автоматики ЛИЭС и учебных программ для подготовки оперативно-технологического персонала, специалистов по проектированию, а также специалистов по эксплуатации автоматики управления режимами ЛИЭС;
- реализацией пилотного проекта ЛИЭС «Березовое» в Первомайском районе г. Новосибирска

ИС-05, ИС-06

измерители сопротивления заземления



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Измерение сопротивления элементов заземления от 0,01 Ом до 10 кОм;
- защита от появления напряжения во время измерения;
- автоматический выбор диапазонов измерений;
- возможность калибровки прибора на сопротивление измерительных проводников произвольной длины;
- высокоинформативный ЖК-дисплей (для ИС-05), светодиодный дисплей (для ИС-06);
- память на последнее измерение;
- ударопрочный, пыле- и влагозащищенный корпус, степень защиты IP54;
- питание от пяти сменных элементов питания типоразмера АА.

СТАЛКЕР 80-24

комплекс трассопоисковый

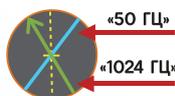
ПРИЕМНИК ПТ-24

- GPS-выноска подземных трасс с последующим наложением на карту;
- использование смартфона вместо внешнего GPS-трекера.

ФУНКЦИЯ «КОМПАС» С РЕЖИМОМ «ВТОРАЯ ЛИНИЯ»

Одновременное схематическое отображение на дисплее искомой коммуникации и трассы с протекающим током 50, 100 или 300 Гц.

- Время работы – до 10 часов;
- увеличенный, сверхъяркий цветной дисплей;
- диапазон рабочих температур: от -30 до +55 °С.



ПЗ0-510, ПЗ0-510/1

измерители параметров УЗО

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Проверка УЗО в автономном режиме без подключения в сеть типов АС, А, В на токах от 10 до 500 мА;
- проверка времени срабатывания УЗО;
- проверка УЗО по заранее выбранной программе;
- аккумуляторное питание (для ПЗ0-510), от 5-ти щелочных элементов питания 1,5 В АА (для ПЗ0-510/1);
- измерение активного сопротивления петли «фаза-нуль» (R) (для ПЗ0-510);
- измерение напряжения прикосновения (Uпр) при протекании номинального дифференциального тока УЗО.



ГЕНЕРАТОР ГТ-80

- Мощность и ток до 80 Вт, 12 А;
- фиксированные частоты генератора: 273, 526, 1024, 8928, 32768 Гц;
- выбор произвольной частоты от 300 до 10000 Гц для работы с приемниками других производителей;
- дистанционное управление генератором через сеть GSM;
- отложенный старт;
- встроенный индуктор обеспечивает наведение сигнала 33 кГц в линию с поверхности земли;
- бесконтактная подача сигнала при помощи передающих клещей КИ-50 или КИ-100;
- встроенный аккумулятор.



РАДИО-СЕРВИС www.radio-service.ru, e-mail: office@radio-service.ru

426000, г. Ижевск, а/я 10047, ул. Пушкинская, 268. Тел.: (3412) 43-91-44, факс: (3412) 43-92-63

на правах рекламы

на базе мини-ТЭЦ с установленной мощностью 10 МВт с 5-ю газопоршневыми агрегатами мощностью по 2 МВт, осуществляющей снабжение электрической, тепловой энергией и горячей водой жилого массива;

- согласованием проектных решений по созданию ЛИЭС и применению автоматики с АО «Региональные электрические сети» и филиалом АО «СО ЕЭС» — Новосибирским РДУ (работоспособность и эффективность подтверждена результатами проведенных натурных испытаний, а также опытной эксплуатацией, которая дала положительный результат [18]).

НЕОБХОДИМЫЕ ШАГИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЛИЭС

Для масштабного внедрения ЛИЭС и получения рассмотренных в статье локальных и системных технико-экономических эффектов необходимо при активном участии распределительных сетевых компаний:

- поддерживать интеграцию в сети не столько объектов распределенной генерации, сколько объектов распределенной энергетики (ЛИЭС) с целью соблюдения требований по повышению энергетической эффективности и снижению выбросов парниковых газов;
- разработать основные принципы построения ЛИЭС в зоне централизованного электроснабжения для их интеграции в ЕЭС России, а также в изолированных энергорайонах (Крайний Север, Дальний Восток и др.), которые должны быть универсальными и адаптироваться к местным условиям в процессе проектирования;
- разработать общие технические требования к ЛИЭС на базе объектов РГ и типовые технические условия на технологическое присоединение к распределительным сетям с учетом их специфики, с целью упрощения и ускорения реализации технологического присоединения ЛИЭС;
- снять запрет на выдачу мощности от ЛИЭС в распределительные сети;
- минимизировать (при возможности) технические требования по оснащению ЛИЭС дополнительными устройствами релейной защиты и автоматики, а также силовым оборудованием (токоограничивающие реакторы, высоковольтные выключатели и др.);
- сформировать перечень технических решений на базе отечественных наилучших доступных технологий для создания ЛИЭС;
- разработать методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию и проектированию ЛИЭС;
- определить перечень ЦП, в первую очередь, «закрытых», к которым технически возможно и желательно технологическое присоединение ЛИЭС с определением величины суммарной мощности и графиков нагрузки;
- определить перечень длинных ЛЭП среднего напряжения (проходящих в труднодоступной местности и др.), которые часто отключаются при

неблагоприятных погодных условиях и в которые желательна интеграция ЛИЭС с созданием условий для их присоединения через включение в тариф (снижение социальной напряженности, возможность проведения аварийно-восстановительных работ в сетях без погашения потребителей);

- определить совместно с региональными органами исполнительной власти перечень муниципальных котельных, которые могут быть преобразованы в мини-ТЭЦ с выдачей мощности в распределительную сеть среднего напряжения;
- обеспечить расширение распределительных устройств 6–10 кВ в «закрытых» и перегруженных ЦП (оптимизация присоединений для возможности интеграции ЛИЭС) без замены силовых трансформаторов и усиления питающих ЛЭП;
- инициировать внесение изменений и дополнений в Федеральные законы Российской Федерации (от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» с целью исключения требования по разделению энергетического бизнеса по видам деятельности (генерация, передача, продажа электроэнергии) в ЛИЭС, работающих в составе ЕЭС России для снижения операционных расходов и повышения оперативности принятия решений; от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» с целью введения требования по обязательному рассмотрению вариантов теплоснабжения потребителей с использованием технологий распределенной энергетики при разработке схем теплоснабжения населенных пунктов);
- инициировать внесение изменений и дополнений в Постановления Правительства Российской Федерации (от 17 октября 2009 года № 823 «О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики» с целью включения информации по распределенной генерации для оптимизации затрат на сооружение электросетевых объектов и усиления конкуренции на розничных рынках электроэнергии; от 22 февраля 2012 года № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» с целью включения в схемы теплоснабжения муниципальных образований информации по распределенной энергетике для возможности определения, где, когда, какой мощности и сколько объектов целесообразно вводить для повышения доступности и бесперебойности теплоснабжения потребителей).

ВЫВОДЫ

Создание локальных интеллектуальных энергосистем на базе объектов распределенной генерации, распределительных сетей и интеллектуальных систем управления предусмотрено Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года.

Научные исследования на международном и российском уровне нацелены на решение проблемных вопросов создания и функционирования локальных интеллектуальных энергосистем мощностью до 25 МВт с интеллектуальными системами управ-

ления, реализующими функции противоаварийного и режимного управления.

Процесс развития распределенной генерации промышленными предприятиями носил малоуправляемый, слабо регулируемый и плохо прогнозируемый характер, что привело к негативным системным эффектам.

Развитие локальных интеллектуальных энергосистем (объектов распределенной энергетики) позволяет решить важные задачи, а также получить позитивные локальные и системные технико-экономические эффекты для субъектов Российской Федерации, распределительных сетевых компаний и всех видов потребителей.

Как видно из прогнозных данных, объемы рынка коммерческих и промышленных локальных интеллектуальных энергосистем в России в натуральном и финансовом выражении будут ежегодно возрастать, а темпы вводов их в эксплуатацию будут ускоряться.

Разработанная отечественная автоматика управления режимами позволяет решать все необ-

ходимые задачи противоаварийного и режимного управления для обеспечения надежного функционирования локальной интеллектуальной энергосистемы и потребителей в различных схемно-режимных условиях.

Для масштабного развития локальных интеллектуальных энергосистем необходимо реализовать шаги, направленные на ликвидацию административных, нормативных и технологических барьеров, а также создание благоприятных условий для притока частных инвестиций в сферу малого энергетического бизнеса.

Распределительные сети могут возглавить процесс развития локальных интеллектуальных энергосистем, определяя целесообразность их создания, мощности и места интеграции исходя из получаемых позитивных эффектов.

Реализация «энергетического перехода» обеспечит взаимовыгодное функционирование распределительных сетей и создаст благоприятные условия для развития локальных интеллектуальных энергосистем. 

ЛИТЕРАТУРА

- Есяков С.Я., Лунин К.А., Стенников В.А., Воропай Н.И., Редько И.Я., Баринов В.А. Трансформация электроэнергетических систем // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2019, № 4. С. 134–141.
- Филиппов С.П., Дильман М.Д., Илюшин П.В. Распределенная генерация и устойчивое развитие // Теплоэнергетика, 2019, № 12. С. 4–17.
- Воропай Н.И. Надежность систем электроснабжения: Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. Новосибирск: Наука, 2015. 208 с.
- Воропай Н.И., Губко М.В., Ковалев С.П., Массель Л.В., Новиков Д.А., Райков А.Н., Сендеров С.М., Стенников В.А. Проблемы развития цифровой энергетики в России // Проблемы управления, 2019, № 1. С. 2–14.
- Илюшин П.В. Перспективы применения и проблемные вопросы интеграции распределенных источников энергии в электрические сети: монография // Библиотечка электротехника, 2020, № 8 (260). С. 1–116.
- Бык Ф.Л., Васильев В.Г., Карпухин В.А., Мышкина Л.С. Функции региональных сетевых компаний при интеграции локальных энергосистем // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2020, № 2(59). С. 20–27.
- Бык Ф.Л., Мышкина Л.С. Надежность объектов распределенной энергетики // Надежность и безопасность энергетики, 2021, т. 14, № 1. С. 45–51.
- Прогноз развития энергетики мира и России 2019. Под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН – Московская школа управления СКОЛКОВО, 2019. 210 с.
- Проект «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года». Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>.
- Активные энергетические комплексы — первый шаг к промышленным микросетям в России ссылка. URL: http://www.ntc-msk.ru/assets/upload/testimonials/Doklad_AEK_2020.pdf.
- Воропай Н.И., Курбацкий В.Г., Томин Н.В. и др. Комплекс интеллектуальных средств для предотвращения крупных аварий в электроэнергетических системах. Новосибирск: Изд-во Наука, 2016. 332 с.
- Фишов А.Г., Марченко А.И., Денисов В.В., Мурашкина И.С. Исследование устойчивости параллельной работы локальной системы энергоснабжения малой мощности с внешней электрической сетью энергосистемы // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2020, № 1. С. 116–127.
- Гежа Е.Н., Ивкин Е.С., Сердюков О.В., Глазырин В.Е., Глазырин Г.В., Марченко А.И., Семендяев Р.Ю., Фишов А.Г. Системная автоматика для интеграции локальных систем электроснабжения с синхронной малой генерацией в электрические сети // Релейщик, 2018, № 2(32). С. 24–31.
- Мукатов Б.Б., Карджаубаев Н.А., Фишов А.Г. Особенности обеспечения надежности электроснабжения в изолированно работающих энергосистемах с малой генерацией // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации, 2015, № 4(29). С. 94–104.
- Илюшин П.В. Учет особенностей объектов распределенной генерации при выборе алгоритмов противоаварийного управления в распределительных сетях // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2011, № 4. С. 19–25.
- Илюшин П.В. О свойствах энергоустановок с газопоршневыми двигателями // Электрические станции, 2009, № 11. С. 42–46.
- Илюшин П.В. Требования к разгрузке при вынужденном отделении от сети электростанции с собственными нуждами и нагрузкой на напряжении 6–10 кВ // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2011, № 6. С. 23–27.
- Разработка целевой модели (прототипа) Mini/MicroGrid // Вести в электроэнергетике, 2021, № 3(113). С. 26–35.

REFERENCES

1. Yesyakov S.Ya., Lunin K.A., Stenikov V.A., Voropay N.I., Red'ko I.Ya., Barinov V.A. Power system transformation // *ELEKTROENERGIYA. Peredacha i raspredeleniye* [ELECTRIC POWER. Transmission & Distribution], 2019, no. 4, pp. 134–141. (In Russian)
2. Filippov S.P., Dil'man M.D., Ilyushin P.V. Distributed generation and sustainable development // *Teploenergetika* [Heat power], 2019, no. 12, pp. 4–17. (In Russian)
3. Voropay N.I. Reliability of power supply systems: Study guide, Edition 2, revised and enlarged. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015. 208 p. (In Russian)
4. Voropay N.I., Gubko M.V., Kovaliev S.P., Massel L.V., Novikov D.A., Raykov A.N., Senderov S.M., Stenikov V.A. Problems of digital power development in Russia // *Problemy upravleniya* [Management Issues], 2019, no. 1, pp. 2–14. (In Russian)
5. Ilyushin P.V. Integration of distributed power sources into electrical networks: application perspectives and issues of concern: monograph // *Bibliotekha elektrotehnika* [Small library for electrical engineer], 2020, no. 8 (260), pp. 1–116. (In Russian)
6. Byk F.L., Vasilyev V.G., Karpukhin V.A., Myshkina L.S. Functions of regional grid companies in local power system integration // *ELEKTROENERGIYA. Peredacha i raspredeleniye* [ELECTRIC POWER. Transmission & Distribution], 2020, no. 2(59), pp. 20–27. (In Russian)
7. Byk F.L., Myshkina L.S. Reliability of distributed generation facilities // *Nadyozhnost' i bezopasnost' energetiki* [Power reliability and security], 2021, vol. 14, no. 1, pp. 45–51. (In Russian)
8. Forecast of world and Russian power development 2019. Under edition of Makarov A.A., Mitrova T.A., Kulagin V.A. Moscow, Moscow School of Management SKOLKOVO, 2019. 210 p. (In Russian)
9. Project "Energy strategy of Russia for the period until 2035". Ministry of Energy of the Russian Federation. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>.
10. Active energy centers as the first step to industrial microgrids in Russia. URL: http://www.ntc-msk.ru/assets/upload/testimonials/Doklad_AEK_2020.pdf.
11. Voropay N.I., Kurbatskiy V.G., Tomlin N.V. and others. Intelligent complex to prevent major faults in power systems. Novosibirsk, Nauka Publ., 2016. 332 p. (In Russian)
12. Fishov A.G., Marchenko A.I., Denisov V.V., Murashkiva I.S. Study of stability of local small-power supply system parallel operation // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika* [News of the Russian Academy of Sciences. Power industry], 2020, no. 1, pp. 116–127. (In Russian)
13. Gezha E.N., Ivkin E.S., Serdyukov O.V., Glazyrin V.E., Glazyrin G.V., Marchenko A.I., Semendyaev R.Yu., Fishov A.G. System automation for integration of local power supply systems with synchronous small generation into electrical networks // *Releyshchik* [Relay engineer], 2018, no. 2(32), pp. 24–31. (In Russian)
14. Mukatov B.B., Kardzhaubaev N.A., Fishov A.G. Peculiarities of power supply reliability provision in isolated small generation systems // *Doklady Akademii nauk vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii* [Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences], 2015, no. 4(29), pp. 94–104. (In Russian)
15. Ilyushin P.V. Consideration of specific features of distributed generation facilities in selection of anti-emergency control algorithms in distribution networks // *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'* [Electro. Electrical engineering, power industry, electrical engineering industry], 2011, no. 4, pp. 19–25. (In Russian)
16. Ilyushin P.V. On features of electric installations with gas reciprocating machines // *Elektricheskiye stantsii* [Electrical stations], 2009, no. 11, pp. 42–46. (In Russian)
17. Ilyushin P.V. Requirements to load shedding at forced separation from an auxiliary network and the 6-10 kV voltage load // *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'* [Electro. Electrical engineering, power industry, electrical engineering industry], 2011, no. 6, pp. 23–27. (In Russian)
18. Development of Mini/MicroGrid target model (prototype) // *Vesti v elektroenergetike* [Electrical engineering news], 2021, no. 3(113), pp. 26–35. (In Russian)

Хренников А.Ю., Любарский Ю.Я.

Использование элементов искусственного интеллекта: компьютерная поддержка оперативных решений в интеллектуальных электрических сетях

Учебно-методическое пособие. ЛИТРЕС, 2021. 140 стр., 30 ил.

Для умных электрических сетей рассмотрены интеллектуальные программные средства, выполняющие новые функции и повышающие уровень компьютерной поддержки диспетчерских решений. Одна из целей построения умных сетей — обеспечение восстановления после аварий, основное внимание уделяется проблемам диагностики нештатных ситуаций, интеллектуальному мониторингу состояний электрических сетей, планированию послеаварийного восстановления электроснабжения. Подробно рассмотрен новый вид программного тренажера для диспетчеров электрических сетей — тренажер анализа нештатных ситуаций. Изложение в книге сопровождается множеством примеров в форме протоколов работы реальных интеллектуальных систем. Книга предназначена для руководителей и специалистов оперативных служб предприятий энергетических систем, электрических и распределительных сетей и электрических станций, филиалов ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС», слушателей курсов повышения квалификации, а также для аспирантов, магистрантов и студентов электроэнергетических специальностей.



Книгу можно приобрести в интернет-магазине электронных книг «ЛитРес» в разделе «Электроэнергетика»