

Кобызов Александр Алексеевич

*студент, кафедра электроснабжение промышленных предприятий,
Алтайский государственный технический
университет имени И.И. Ползунова,
РФ, г. Барнаул*

Грибанов Алексей Александрович

*Научный руководитель, кандидат технических наук, доцент,
Алтайский государственный технический
университет имени И.И. Ползунова,
РФ, г. Барнаул*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы разработки интеллектуальной модели оптимизации эксплуатации систем накопления электроэнергии в электросетевом комплексе Алтайского края. Проведен анализ особенностей функционирования распределительных сетей региона и выявлены основные факторы, влияющие на эффективность использования накопителей энергии. Рассмотрены современные методы интеллектуального управления энергетическими системами, основанные на цифровых технологиях, прогнозировании режимов нагрузки и алгоритмах адаптивного регулирования. Предложена структура интеллектуальной модели управления накопителями энергии, обеспечивающая оптимизацию режимов работы распределительной сети, снижение потерь мощности и повышение надежности электроснабжения. Выполнена оценка эффективности применения интеллектуальных алгоритмов в условиях изменяющихся нагрузок и интеграции распределенной генерации. Полученные результаты подтверждают возможность повышения эксплуатационной эффективности электросетевого комплекса за счет применения интеллектуальных систем управления накопителями энергии.

Ключевые слова: система накопления электроэнергии, интеллектуальная модель, оптимизация режимов, цифровая энергетика, распределительные сети, управление нагрузкой, электросетевой комплекс, алгоритмы управления, прогнозирование потребления, Алтайский край.

AN INTELLIGENT MODEL FOR OPTIMIZING ENERGY STORAGE SYSTEM OPERATION IN THE ALTAI KRAI ELECTRIC GRID

Alexander Alekseevich Kobyzhev

*Student, Department of Power Supply of Industrial Enterprises,
Polzunov Altai State Technical University,
Barnaul, Russian Federation*

Alexey Alexandrovich Gribanov

*Scientific Supervisor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Polzunov Altai State Technical University,
Barnaul, Russian Federation*

Abstract. This article examines the development of an intelligent model for optimizing the operation of energy storage systems in the Altai Krai electric grid. The operational characteristics of the region's distribution networks are analyzed, and the main factors influencing the efficiency of energy storage systems are identified. Modern methods of intelligent energy system management based on digital technologies, load forecasting, and adaptive control algorithms are considered. The structure of an intelligent energy storage system management model is proposed, ensuring optimization of distribution network operating modes, reducing power losses, and increasing power supply reliability. The effectiveness of intelligent algorithms under conditions of fluctuating loads and the integration of distributed generation is assessed. The obtained results confirm the feasibility of increasing the operational efficiency of the electric grid through the use of intelligent energy storage system management systems.

Keywords: energy storage system, intelligent model, mode optimization, digital energy, distribution networks, load management, electric grid complex, control algorithms, consumption forecasting, Altai Krai.

Развитие современной электроэнергетики сопровождается ростом требований к устойчивости и эффективности функционирования распределительных электрических сетей. В условиях цифровой трансформации энергетического комплекса особое значение приобретают технологии интеллектуального управления, обеспечивающие адаптивное регулирование режимов работы оборудования.

Одним из ключевых направлений модернизации распределительных сетей является внедрение систем накопления электроэнергии. Подобные комплексы позволяют компенсировать неравномерность нагрузки, повышать надежность электроснабжения и обеспечивать интеграцию распределенной генерации.

Однако эффективность эксплуатации накопителей энергии в значительной степени зависит от качества алгоритмов управления. Применение традиционных методов регулирования не позволяет в полной мере учитывать динамический характер нагрузки и изменения режимов работы сети.

В связи с этим возрастает актуальность разработки интеллектуальных моделей оптимизации эксплуатации систем накопления электроэнергии, способных обеспечивать автоматическую адаптацию к изменяющимся условиям функционирования энергосистемы.

Электросетевой комплекс Алтайского края представляет собой сложную инфраструктурную систему, обеспечивающую электроснабжение промышленных предприятий, сельскохозяйственных объектов, коммунально-бытового сектора и транспортной инфраструктуры.

Значительная часть распределительных сетей региона характеризуется высокой степенью физического износа оборудования, что оказывает влияние на надежность электроснабжения и эффективность эксплуатации энергосистемы.

Особенностью функционирования распределительных сетей региона является выраженная неравномерность нагрузки, обусловленная сезонным характером работы агропромышленного комплекса и значительной долей удаленных потребителей. В периоды максимального потребления возникают перегрузки отдельных участков сети, сопровождающиеся увеличением потерь электроэнергии и ухудшением параметров качества электроснабжения.

Дополнительным фактором, оказывающим влияние на режимы работы распределительных сетей, становится развитие распределенной генерации. Рост количества солнечных электростанций малой мощности приводит к необходимости оперативного регулирования баланса мощности и компенсации колебаний генерации.

В подобных условиях системы накопления электроэнергии рассматриваются как один из наиболее эффективных инструментов повышения устойчивости энергоснабжения. Вместе с тем максимальная эффективность эксплуатации накопителей может быть достигнута только при использовании интеллектуальных алгоритмов управления, обеспечивающих адаптивное регулирование режимов работы оборудования.

Современные тенденции развития электроэнергетики связаны с активным внедрением технологий интеллектуального управления. Использование цифровых систем анализа и прогнозирования позволяет обеспечить автоматическое регулирование режимов работы накопителей энергии в зависимости от состояния энергосистемы.

Интеллектуальная система управления накопителями энергии представляет собой программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий обработку данных о параметрах сети, прогнозирование нагрузки и формирование управляющих воздействий в режиме реального времени.

Основной задачей интеллектуального управления является поддержание оптимального режима функционирования накопителей энергии с учетом текущих параметров сети и прогнозируемых изменений нагрузки. Для решения данной задачи используются алгоритмы машинного обучения, методы анализа временных рядов и технологии адаптивного регулирования.

Особое значение приобретает возможность прогнозирования графиков электропотребления. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет заранее определять периоды возникновения пиковых нагрузок и формировать оптимальные режимы заряда и разряда накопителей энергии.

Применение цифровых технологий обеспечивает снижение влияния человеческого фактора и позволяет повысить оперативность принятия решений при изменении параметров энергосистемы.

Разработка интеллектуальной модели оптимизации эксплуатации накопителей энергии требует формирования многоуровневой системы управления, обеспечивающей непрерывный анализ параметров распределительной сети.

На первом уровне осуществляется сбор информации о состоянии энергосистемы. Источниками данных выступают интеллектуальные измерительные устройства, цифровые датчики и автоматизированные системы мониторинга. В процессе анализа учитываются параметры нагрузки, напряжения, режимов работы накопителей энергии и распределенной генерации.

Следующий уровень модели связан с обработкой и анализом поступающих данных. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет выявлять закономерности изменения нагрузки, прогнозировать вероятность перегрузок и определять оптимальные режимы функционирования накопителей энергии.

Особую роль в структуре интеллектуальной модели играет подсистема прогнозирования. Анализ временных рядов и применение методов машинного обучения обеспечивают возможность формирования краткосрочных и среднесрочных прогнозов электропотребления.

На основе результатов анализа формируются управляющие воздействия, обеспечивающие оптимальное распределение мощности и регулирование режимов заряда и разряда накопителей энергии. В процессе управления учитываются ограничения по пропускной способности сети, технические характеристики оборудования и требования к надежности электроснабжения.

Заключительным элементом модели является интеграция системы управления накопителями энергии в цифровую инфраструктуру электросетевого комплекса. Подобный подход обеспечивает централизованный мониторинг состояния оборудования и возможность оперативной корректировки режимов работы сети.

Одной из ключевых задач интеллектуального управления выступает оптимизация режимов эксплуатации накопителей энергии в условиях изменяющейся нагрузки. Эффективное распределение мощности позволяет снизить потери электроэнергии и обеспечить устойчивость функционирования распределительной сети.

В условиях выраженной неравномерности нагрузки накопители энергии могут использоваться для компенсации пикового потребления и сглаживания графиков электропотребления. Заряд накопителей

осуществляется в периоды минимальной нагрузки, а накопленная энергия выдается в сеть в часы максимального спроса.

Использование интеллектуальных алгоритмов управления позволяет учитывать изменение режимов работы сети в реальном времени и автоматически корректировать параметры эксплуатации накопителей энергии.

Дополнительным направлением оптимизации является снижение потерь мощности в распределительных сетях. Перераспределение нагрузки между отдельными участками сети способствует уменьшению токовых перегрузок и повышению эффективности эксплуатации оборудования.

Существенное значение имеет поддержание качества электроэнергии. Интеллектуальная система управления способна обеспечивать компенсацию отклонений напряжения и повышение устойчивости режимов работы энергосистемы.

Современное развитие электроэнергетики связано с формированием цифровых электрических сетей, предусматривающих широкое использование интеллектуальных систем управления и автоматизированных комплексов анализа режимов работы энергосистемы.

Интеграция накопителей энергии в цифровую инфраструктуру распределительных сетей позволяет обеспечить оперативное регулирование мощности, удаленный мониторинг состояния оборудования и автоматическое выявление аварийных ситуаций.

Для электросетевого комплекса Алтайского края внедрение цифровых технологий имеет особую актуальность в связи с высокой протяженностью распределительных сетей и необходимостью повышения надежности электроснабжения удаленных районов.

Использование интеллектуальных систем управления накопителями энергии способствует формированию адаптивной энергетической

инфраструктуры, способной оперативно реагировать на изменение параметров нагрузки и режимов генерации.

Дополнительным преимуществом цифровизации является возможность создания единой платформы управления распределительными сетями, обеспечивающей централизованное взаимодействие между накопителями энергии, объектами генерации и диспетчерскими системами.

Эффективность интеллектуальных систем управления накопителями энергии определяется совокупностью технических, эксплуатационных и экономических показателей.

Одним из основных результатов внедрения интеллектуального управления является снижение потерь электроэнергии в распределительных сетях. Оптимизация режимов передачи мощности позволяет уменьшить нагрузку на оборудование и сократить объемы аварийного ремонта.

Дополнительный эффект связан с повышением надежности электроснабжения. Использование интеллектуальных алгоритмов управления обеспечивает оперативное реагирование на изменение режимов работы сети и позволяет минимизировать последствия аварийных ситуаций.

Применение цифровых систем анализа способствует повышению качества электроэнергии и обеспечивает более эффективное использование распределенной генерации.

В долгосрочной перспективе внедрение интеллектуальных систем управления накопителями энергии способно обеспечить снижение эксплуатационных затрат и повышение устойчивости функционирования распределительных сетей.

Дальнейшее развитие интеллектуальных систем управления связано с расширением применения технологий искусственного интеллекта и созданием цифровых двойников энергосистем.

Использование самообучающихся алгоритмов позволит обеспечить более точное прогнозирование нагрузки и адаптивное изменение режимов эксплуатации накопителей энергии.

Перспективным направлением выступает внедрение технологий предиктивной диагностики, обеспечивающих раннее выявление дефектов оборудования и предотвращение аварийных ситуаций.

Развитие облачных платформ обработки данных и распределенных вычислительных систем создает условия для формирования интеллектуальной энергетической инфраструктуры нового поколения.

Для Алтайского края внедрение подобных решений может стать основой модернизации распределительных сетей и повышения эффективности эксплуатации электросетевого комплекса.

Использование интеллектуальных алгоритмов управления позволяет обеспечить адаптивное регулирование режимов работы накопителей энергии, повысить надежность электроснабжения и снизить потери мощности в распределительных сетях.

Интеграция накопителей энергии в цифровую инфраструктуру электросетевого комплекса способствует формированию интеллектуальной энергетической системы, ориентированной на эффективное использование энергетических ресурсов и повышение устойчивости энергоснабжения.

Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего развития интеллектуальных систем управления накопителями энергии и расширения их практического применения в распределительных сетях.

Список литературы

1. Беляев И.Н. Цифровая трансформация распределительных сетей // Электрические сети и системы. — 2024. — №3.
2. Гришин В.А. Применение машинного обучения в задачах управления энергосистемами // Автоматизация и IT в энергетике. — 2023. — №11.
3. Ковалев П.Д. Накопители энергии в распределительных сетях // Электроэнергетика. — 2024. — №5.
4. Морозов Е.С. Методы прогнозирования нагрузки в интеллектуальных энергосистемах // Электротехнические комплексы и системы. — 2022. — №8.
5. Чернов И.В. Интеллектуальные алгоритмы оптимизации режимов работы энергосистем // Энергетик. — 2024. — №10.