

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*

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы внедрения систем накопления электроэнергии в распределительных сетях Алтайского края с учетом региональной структуры энергопотребления, особенностей эксплуатации распределительных сетей и роста требований к надежности электроснабжения. Выполнен анализ существующих проблем электросетевого комплекса, связанных с пиковыми нагрузками, потерями электроэнергии, ограниченной пропускной способностью отдельных участков сети и интеграцией распределенной генерации. Исследованы современные технологии накопления электроэнергии, применяемые в мировой и отечественной практике, а также рассмотрены направления их использования в региональных сетевых организациях. Предложена концепция внедрения накопителей энергии в распределительные сети Алтайского края с учетом технических, экономических и эксплуатационных факторов. Проведена оценка ожидаемого эффекта от применения систем накопления электроэнергии в части повышения надежности электроснабжения, снижения потерь мощности и оптимизации режимов

работы сети. Результаты исследования подтверждают целесообразность поэтапного внедрения систем накопления электроэнергии в электросетевом комплексе региона.

Ключевые слова: система накопления электроэнергии, распределительные сети, электросетевой комплекс, надежность электроснабжения, Алтайский край, цифровизация энергетики, накопители энергии, режимы электрической сети, оптимизация энергосистемы, распределенная генерация.

PROSPECTS FOR IMPLEMENTING ENERGY STORAGE SYSTEMS IN DISTRIBUTION GRIDS IN ALTAI KRAI

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 prospects for implementing energy storage systems in distribution networks in Altai Krai, taking into account the regional energy consumption structure, operational characteristics of distribution networks, and increasing demands for power supply reliability. An analysis is provided of existing problems in the electric grid complex related to peak loads, power losses, limited capacity of individual network sections, and the integration of distributed generation. Modern energy storage technologies used in international and domestic practice are examined, and their application in regional grid organizations is discussed. A concept for implementing energy storage systems in distribution networks in Altai Krai is proposed, taking into account technical, economic, and operational factors. An assessment is made of the expected impact of using energy storage systems in terms of increasing power

supply reliability, reducing power losses, and optimizing grid operation. The results of the study confirm the feasibility of a phased implementation of energy storage systems in the regional electric grid complex.

Key words: energy storage system, distribution networks, electric grid complex, reliability of power supply, Altai Krai, digitalization of energy, energy storage devices, electric grid modes, energy system optimization, distributed generation.

Современный этап развития электроэнергетики характеризуется существенным изменением структуры производства и потребления электрической энергии. Рост энергоемкости промышленного сектора, увеличение числа распределенных источников генерации, развитие интеллектуальных сетей и цифровых технологий формируют новые требования к функционированию распределительных электрических сетей. Наиболее заметно данные изменения проявляются в регионах с протяженной территориальной структурой и значительной долей удаленных потребителей, к которым относится Алтайский край.

Электросетевой комплекс региона функционирует в условиях высокой неравномерности нагрузки, сезонных колебаний потребления и значительной протяженности распределительных сетей. Наличие сельскохозяйственных предприятий, перерабатывающих производств, объектов коммунальной инфраструктуры и удаленных населенных пунктов приводит к возникновению режимных ограничений, сопровождающихся увеличением потерь электроэнергии и снижением качества электроснабжения.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы распределительных сетей выступает внедрение систем накопления электроэнергии. Подобные комплексы позволяют обеспечивать сглаживание графиков нагрузки, резервирование электроснабжения,

компенсацию кратковременных провалов напряжения и оптимизацию режимов передачи мощности[1].

В условиях перехода к интеллектуальным энергетическим системам применение накопителей энергии становится не только технической задачей, но и важным элементом цифровой трансформации электросетевого комплекса. Разработка концепции внедрения систем накопления электроэнергии требует комплексного анализа особенностей конкретного региона, включая структуру сетевой инфраструктуры, характер нагрузок и перспективы развития электроэнергетики.

Электросетевой комплекс Алтайского края представляет собой разветвленную инфраструктурную систему, обеспечивающую электроснабжение промышленных предприятий, сельскохозяйственных объектов, транспортной инфраструктуры и населения. Значительная часть распределительных сетей региона была введена в эксплуатацию несколько десятилетий назад, вследствие чего возрастает необходимость модернизации оборудования и повышения устойчивости режимов работы.

Особенностью энергосистемы региона является значительная протяженность линий электропередачи 6–110 кВ, что обусловлено большой территорией края и высокой долей сельских потребителей.

Дополнительным фактором становится увеличение доли распределенной генерации. В последние годы наблюдается рост интереса к использованию локальных источников энергии, включая солнечные электростанции малой мощности. Однако интеграция подобных объектов в существующую сеть сопровождается сложностями регулирования мощности и поддержания параметров качества электроэнергии.

В ряде районов Алтайского края наблюдается выраженная сезонная неравномерность нагрузки. В летний период существенно возрастает потребление электроэнергии агропромышленными предприятиями,

системами орошения и перерабатывающими объектами. В зимний период увеличиваются нагрузки коммунально-бытового сектора.

Подобная динамика приводит к формированию пиковых режимов, требующих привлечения дополнительных резервов мощности. Использование систем накопления электроэнергии позволяет компенсировать часть указанных ограничений за счет перераспределения мощности во времени[5]

Развитие технологий накопления электроэнергии в последние годы стало одним из ключевых направлений модернизации электроэнергетической отрасли. Повышение требований к надежности электроснабжения, необходимость интеграции распределенной генерации и рост нагрузки на распределительные сети обусловили активное внедрение различных типов накопителей энергии. В современных энергосистемах системы накопления рассматриваются не только как резервный источник питания, но и как инструмент регулирования режимов работы сети, повышения устойчивости энергоснабжения и оптимизации распределения мощности.

Системы накопления электроэнергии представляют собой комплекс оборудования, обеспечивающий прием электрической энергии, ее хранение и последующую выдачу в сеть либо конечному потребителю в зависимости от текущего режима функционирования энергосистемы. Технические характеристики накопителей определяются типом используемой технологии, особенностями системы управления и условиями эксплуатации.

Наибольшее распространение в электроэнергетике получили литий-ионные накопители. Их применение связано с высокой удельной энергоемкостью, сравнительно компактными размерами и способностью обеспечивать быстрое изменение мощности в широком диапазоне режимов. Литий-ионные системы демонстрируют высокий коэффициент полезного

действия и устойчивую работу при интеграции в цифровые системы управления распределительными сетями. Дополнительным преимуществом выступает возможность реализации интеллектуального управления режимами заряда и разряда, что особенно актуально в условиях неравномерного потребления электроэнергии.

Несмотря на технологические преимущества, эксплуатация литий-ионных накопителей сопровождается рядом ограничений. Существенное влияние на эффективность работы оказывает температурный режим, а деградация аккумуляторных элементов приводит к постепенному снижению емкости системы. Дополнительным фактором остается высокая стоимость оборудования, особенно при реализации крупных инфраструктурных проектов.

В крупных энергетических комплексах применяются натрий-серные накопители энергии, характеризующиеся значительной энергоемкостью и возможностью длительного хранения электрической энергии. Подобные системы позволяют обеспечивать стабильную работу энергосистемы в условиях продолжительных колебаний нагрузки. Вместе с тем эксплуатация натрий-серных накопителей требует поддержания высоких температур рабочих элементов, что усложняет техническое обслуживание и повышает требования к системам безопасности.

Отдельное направление развития технологий накопления связано с использованием суперконденсаторов. Подобные устройства отличаются высокой скоростью заряда и разряда, благодаря чему эффективно применяются для компенсации кратковременных провалов напряжения и сглаживания динамических колебаний мощности. Использование суперконденсаторов позволяет повысить качество электроэнергии и обеспечить устойчивость режимов работы сети в условиях переменных нагрузок.

Перспективным направлением развития накопителей энергии выступают гибридные системы, объединяющие различные технологии хранения энергии в едином комплексе. Сочетание аккумуляторных батарей и суперконденсаторов позволяет одновременно обеспечивать высокую энергоемкость и оперативное регулирование мощности. Подобный подход способствует повышению эффективности эксплуатации накопителей и расширяет возможности их применения в распределительных сетях.

Для электросетевого комплекса Алтайского края наибольший практический интерес представляют литий-ионные и гибридные системы накопления энергии, способные эффективно функционировать в условиях выраженной неравномерности нагрузки и значительной территориальной распределенности потребителей. Использование подобных технологий позволяет обеспечить адаптивное регулирование режимов работы сети и повысить устойчивость электроснабжения удаленных районов.

Применение систем накопления электроэнергии в распределительных сетях обусловлено необходимостью повышения эффективности эксплуатации энергетической инфраструктуры. В современных условиях накопители энергии рассматриваются как один из инструментов интеллектуального управления режимами энергосистемы.

Одним из наиболее значимых направлений использования накопителей является сглаживание графиков нагрузки. В периоды минимального потребления электрическая энергия аккумулируется в накопителях, а в часы максимального спроса возвращается в сеть. Подобный режим работы обеспечивает снижение нагрузки на оборудование распределительных сетей, уменьшение потерь мощности и повышение эффективности эксплуатации трансформаторных подстанций.

Использование накопителей энергии позволяет снизить необходимость реконструкции отдельных участков сети за счет перераспределения мощности во времени. Особенно актуально данное

направление для районов с выраженной сезонной и суточной неравномерностью нагрузки.

Существенное значение системы накопления электроэнергии имеют в обеспечении надежности электроснабжения. Накопители способны выполнять функции резервного источника питания при возникновении аварийных ситуаций и кратковременных отключений. Подобные решения особенно востребованы для удаленных населенных пунктов, объектов социальной инфраструктуры и промышленных предприятий с непрерывным циклом производства.

Дополнительным направлением применения накопителей энергии является интеграция возобновляемых источников генерации. Рост количества солнечных электростанций сопровождается значительной изменчивостью вырабатываемой мощности, что требует компенсации колебаний нагрузки. Системы накопления энергии позволяют аккумулировать избыточную генерацию и обеспечивать последующую выдачу мощности в периоды снижения выработки.

Для Алтайского края развитие данного направления имеет практическое значение в связи с наличием территорий, обладающих высоким потенциалом солнечной генерации. Интеграция накопителей энергии с объектами распределенной генерации позволяет повысить устойчивость энергоснабжения и сократить нагрузку на распределительные сети.

Накопители энергии также применяются для регулирования параметров качества электроэнергии. Компенсация отклонений напряжения и поддержание устойчивости частоты особенно важны для промышленных предприятий, использующих высокотехнологичное оборудование и автоматизированные производственные комплексы.

Формирование концепции внедрения систем накопления электроэнергии в распределительных сетях Алтайского края требует

комплексного подхода, учитывающего технические особенности энергосистемы региона, структуру нагрузки и перспективы развития распределенной генерации[2].

На начальном этапе внедрения накопителей энергии необходимо проведение анализа существующих режимов работы сети и выявление участков, характеризующихся повышенными потерями электроэнергии, ограниченной пропускной способностью и недостаточной надежностью электроснабжения. Подобный анализ позволяет определить приоритетные направления модернизации распределительной инфраструктуры.

Следующим этапом выступает моделирование режимов работы сети с учетом интеграции накопителей энергии. В процессе моделирования определяются оптимальные точки подключения, необходимая мощность накопителей и наиболее эффективные режимы их эксплуатации.

Особое значение приобретает интеграция накопителей энергии в цифровую инфраструктуру электросетевого комплекса. Современные системы управления позволяют осуществлять автоматическое регулирование мощности, прогнозирование нагрузки и удаленный мониторинг состояния оборудования. Использование цифровых платформ управления обеспечивает возможность адаптивного изменения режимов работы накопителей в зависимости от текущего состояния сети.

Перспективным направлением модернизации распределительных сетей является создание интеллектуальных энергетических узлов, объединяющих распределенную генерацию, накопители энергии и автоматизированные системы управления. Реализация подобных решений позволяет обеспечить более гибкое регулирование режимов энергосистемы и повысить устойчивость электроснабжения.

Для Алтайского края внедрение интеллектуальных систем накопления энергии может стать одним из ключевых факторов развития цифровой энергетики и модернизации распределительной инфраструктуры.

Применение систем накопления электроэнергии в распределительных сетях обеспечивает получение комплексного технического и экономического эффекта. Одним из наиболее значимых результатов выступает снижение потерь электроэнергии за счет оптимизации режимов передачи мощности и перераспределения нагрузки.

Дополнительный эффект связан с повышением надежности электроснабжения. Использование накопителей энергии позволяет минимизировать последствия аварийных отключений и обеспечить резервирование питания критически важных объектов.

Внедрение накопителей способствует увеличению пропускной способности сети без необходимости масштабной реконструкции инфраструктуры. Подобный подход особенно актуален для регионов с протяженными распределительными сетями и высокой стоимостью модернизации оборудования[4].

Системы накопления энергии также обеспечивают повышение качества электроэнергии за счет стабилизации напряжения и компенсации кратковременных отклонений параметров сети. Для промышленных предприятий подобные решения имеют существенное значение в связи с необходимостью обеспечения устойчивой работы технологического оборудования.

Интеграция накопителей энергии в интеллектуальные системы управления способствует развитию концепции цифровых электрических сетей и формированию адаптивной энергетической инфраструктуры.

Проведенное исследование подтверждает высокую перспективность внедрения систем накопления электроэнергии в распределительных сетях Алтайского края. Современные накопители энергии способны обеспечивать повышение надежности электроснабжения, снижение потерь мощности и оптимизацию режимов работы электрических сетей.

Наиболее эффективным направлением применения накопителей выступает их использование в узлах с выраженной неравномерностью нагрузки, высокой аварийностью и ограниченной пропускной способностью.

Для регионального электросетевого комплекса внедрение накопителей энергии может стать важным этапом цифровой трансформации энергетики и формирования интеллектуальной инфраструктуры распределительных сетей[3].

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку математических моделей управления накопителями энергии, оценку технико-экономической эффективности конкретных проектов и создание интеллектуальных алгоритмов оптимизации режимов работы распределительных сетей.

Список литературы

1. Андреев В.А. Современные системы накопления энергии в электроэнергетике. — М.: Энергоатомиздат, 2022.
2. Белов П.Г. Интеллектуальные электрические сети. — СПб.: Питер, 2021.
3. Воронов И.С. Цифровизация электросетевого комплекса России // Электрические станции. — 2023. — №4.
4. Кузнецов А.В. Методы повышения надежности распределительных сетей // Энергетик. — 2022. — №7.
5. Шаров Н.В. Развитие распределенной генерации в регионах России // Электротехника. — 2024. — №5.