**Инженерный вестник Дона**, №7 (2025)
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10246

# Вопросы применения систем накопления электроэнергии изолированных и удаленных распределительных сетей

*О.В. Наумов, Г.Ф. Фаттахова*

*Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** На примере Бурзянской электростанции (Республика Башкортостан), работающей в автономном от энергосети режиме, описаны возможности применения возобновляемых источников энергии и систем накопления энергии. Рассмотрены задачи систем накопления энергии в энергосистеме: стабилизация частоты и напряжения, оптимизация нагрузки, снижение потерь электроэнергии. Проведен анализ экономической эффективности внедрения систем накопления энергии.
**Ключевые слова:** электроэнергетические сети, возобновляемые источники электроэнергии, системы накопления энергии, изолированные системы, электроснабжение.

Электроэнергетика является ключевой отраслью промышленности России, играя значительную роль в экономике. Уровень ее развития непосредственно влияет на эффективность функционирования промышленных объектов, а также на состояние всего народного хозяйства. Что, в свою очередь, определяет производительность на предприятиях, социальное развитие общества, прогресс в науке и технике, а также создание комфортных условий для жизни граждан.

Один из главных минусов получения электроэнергии от возобновляемых источников – это непостоянство ее выработки. Особенно остро данная проблема ощущается в изолированных сетях, где выполнить резервирование довольно сложно или попросту неосуществимо. С внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) качество электроэнергии снижается за счет резких сбросов или набросов мощности генерации. С помощью систем накопления энергии (СНЭ) можно аккумулировать излишки энергии, производимой в пиковые часы, и использовать ее позже, в часы, когда выработка снижается. Это увеличивает коэффициент полезного использования возобновляемой энергии и снижает

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

необходимость в резервных источниках питания. В тоже время работа накопителей, используемых для регулирования частоты, может приводить к изменениям напряжения в локальной сети. По этой причине вводятся ограничения на количество накопителей, которое рассчитывается исходя из характеристик оборудования и данные о сети, где эти накопители планируется использовать [1].

Не менее важная проблема – это нагрузка на сети. В связи с тем, что электростанции на возобновляемых источников энергии нельзя использовать повсеместно, растет нагрузка на распределительную инфраструктуру. Системы накопления электроэнергии позволяют переносить потребление электроэнергии на менее загруженные временные интервалы, что способствует оптимизации распределения ресурсов и снижению затрат на передачу и распределение энергии. На рис.1 представлен вариант однодневного хранения электроэнергии с помощью систем накопления энергии. Энергия сохраняется в период низкого спроса для удовлетворения пиковых нагрузок в этот же день [2].

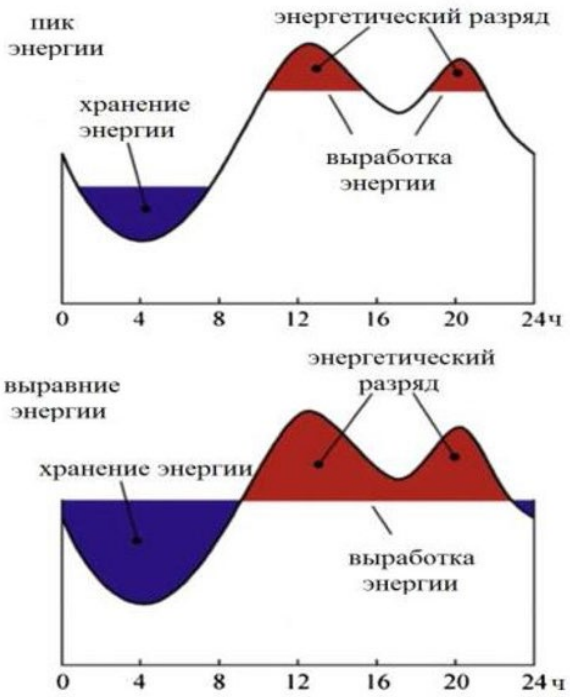


Рис. 1. Однодневный график нагрузки системы хранения электроэнергии

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

Также имеется возможность компенсации колебаний мощности, возникающих по причине непостоянства работы возобновляемых источников энергии. Это помогает поддерживать стабильную частоту и напряжение в сети, снижая риск аварийных отключений.

Инверторы, входящие в состав накопителя, позволяют оптимизировать нагрузку следующими вариантами [3]:

- симметрирование трехфазных нагрузок. Для жилых домов свойственна разница в нагрузке между фазами. Она составляет до 30% между самой загруженной фазой и средней загрузкой всех фаз.

- компенсация реактивной мощности. Инвертор может частично компенсировать реактивную мощность, тем самым увеличивая возможность потребления активной мощности.

Отдельной проблемой являются удаленные и изолированные системы, где транспортировка электроэнергии нецелесообразна или попросту невозможна. В подобных местах энергосистемы работают автономно. Использование накопителей позволяет хранить не востребованную электроэнергию, вырабатываемую местными источниками, и использовать ее тогда, когда это необходимо, обеспечивая бесперебойность питания.

Также использование систем хранения позволяет существенно сэкономить на прокладке линий электропередач и их обслуживании, так как снижается потребность в резервных источниках питания. То же относится к генераторам на ископаемом топливе, так как потребность в их работе будет ниже, чем в сети без систем накопления энергии [4].

Накопитель может быть эффективно использован в случае отсрочки строительства новой сетевой инфраструктуры для снятия краткосрочных и редких пиков потребления. Пиковые нагрузки могут быть снижены в следующих ситуациях:

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

- покрытие пиков перегруженности подстанций, возникающих в определенное время;

- обеспечение резерва для редких событий, приводящих к высоким, но кратковременнным нагрузкам;

- обеспечение резерва при отказе трансформаторов.

Эффективность использования систем накопления энергии для таких целей определяется следующими факторами: профилем суточного графика нагрузки, частотой возникновения пиковых нагрузок, требуемой категорией надежности потребителя, схемой подключения [5].

Основные варианты использования систем накопления энергии в удаленных и изолированных сетях – автономные жилые комплексы, промышленные и исследовательские объекты, островные поселения. В процессе функционирования мини-энергосистем возникают краткосрочные пики нагрузки, требующие наличия резерва генерирующей мощности. Объем этого резерва составляет 60-80%, из которых около 40% находятся в оперативном резерве. Таким образом, актуальность накопителей в децентрализованной энергосистеме значительно выше, нежели чем в централизованной [6].

Теплоэлектростанции на дизеле и газе чувствительны к работе на низких нагрузках. При снижении нагрузки на 60% и более возрастает износ оборудования и риски аварии. Неравномерный график нагрузки с большими пиками и провалами увеличивает стоимость обслуживания и необходимость резерва. Применение СНЭ повышает надежность, потребность в резерве снижается [7].

СНЭ в удаленных системах выступают одновременно и источником мощности, и элементом системы бесперебойного питания, что повышает надежность энергосистемы. В изолированных системах накопители могут решать те же задачи, что и в централизованных, но их доля может быть

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

значительно выше, равно как и экономический эффект от их использования [8].

Одним из ярких примеров использования систем накопления электроэнергии является Бурзянская солнечная электростанция, расположенная в Бурзянском районе Республики Башкортостан. Введена в эксплуатацию в 2020 году.

Основные характеристики объекта:

- мощность станции 10 МВт;
- тип солнечная электростанция с встроенной системой хранения;
- емкость аккумуляторных батарей 8 МВт·ч;
- уровень резервирования 80% от установленной мощности

Особенностью энергосистемы является возможность работы в двух режимах – параллельно с ЕЭС России и в автономном режиме. Станция обеспечивает электроэнергией местных потребителей, а также может автономно снабжать социально значимые объекты при аварийных ситуациях.

На станции используются литий-ионные накопители сроком службы 2500 циклов заряд-разряд.

Станция может работать в автономном режиме до шести часов, снабжая электроэнергией больницы, школы, детские сады и другие объекты социальной инфраструктуры. В 2022 году было проведено первое испытание, в ходе которого станция проработала в автономном режиме 1,5 часа, тем самым подтвердив эффективность работы в условиях невозможности передачи электроэнергии из ЕЭС. Также станция подтвердила стабильность работы солнечной генерации с накопителями [9].

Данный проект является одним из крупнейших в России в секторе промышленных накопителей энергии.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

Экономический эффект от внедрения системы накопления энергии на Бурзянской электростанции можно оценить по нескольким ключевым направлениям [10]:

1. Снижение затрат на обслуживание:

Сокращение расходов на ремонт и замену оборудования на 15% благодаря стабилизации напряжения. Затраты на дизельное топливо резервных генераторов снизились на 4,8 млн руб/год. Также уменьшились расходы на обслуживание линий электропередач на 150 тыс. руб/год. Снижены потери электроэнергии с 12% до 8%.

2. Оптимизация работы станции:

Станция может работать в пиковые часы, когда тарифы на электроэнергию выше. Также повысилась эффективность использования установленной мощности. Среднее время наработки на отказ увеличилось с 6000 до 8000 часов.

3. Финансовый анализ:

Простой срок окупаемости рассчитывается как отношение суммарных инвестиций к годовому экономическому эффекту. При емкости СНЭ 8 МВт·ч и КПД 95% годовой эффект составляет порядка 40 тыс. рублей. Срок окупаемости системы накопления: 7-8 лет.

4. Дополнительные преимущества:

Станция имеет возможность участия в программе регулирования частоты, может получать дополнительный доход от предоставления услуг по обеспечению качества электроэнергии. КПД СЭС вырос на 25%. За счет использования СНЭ сократилось время простоя и вероятность аварийных ситуаций, повысилась инвестиционная привлекательность объекта.

5. Факторы влияния:

Электростанция показывает стабильность работы в различных погодных условиях. Использование систем накопления энергии позволяет

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

снизить потери при передаче электроэнергии. Есть возможность работы в автономном режиме.

6. Долгосрочные перспективы:

Станция имеет потенциал увеличения эффективности при модернизации. В дальнейшем систему накопления можно расширить. В долгосрочной перспективе снижаются операционные расходы.

Важно отметить, что экономическая эффективность усиливается с увеличением масштаба системы накопления и продолжительности её эксплуатации. При этом учитываются как прямые финансовые показатели, так и косвенные выгоды от повышения надежности и устойчивости энергоснабжения.

В целом, внедрение системы накопления энергии на Бурзянской электростанции демонстрирует успешную модель интеграции современных технологий в энергетику, обеспечивающую как экономическую эффективность, так и технологическое развитие объекта.

## Литература

1. Воропай Н.И, Ковалев Г.Ф., Кучеров Ю.Н. Концепция обеспечения надежности в российской электроэнергетике. М.: ООО ИД «Энергия», 2013. 304 с.

2. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. М.: Издательский дом «ДодекаXXI», 2018. 384 с.

3. Колосов Р.В., Титов В.В., Титов В.Г. Особенности сопряжения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в контексте развития интеллектуальной энергетической системы России // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1922.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

4. Абрамов А.Ю., Богаченко П.В., Куликов А.В., Ряпин И.Ю. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры// Экспертно-аналитический отчет, М., 2019. С. 94-112.

5. Дебиев М.В., Курбанов З.М., Кагиров Х.Л., Исаев М.Р., Дебиева А.М. Автоматизированная система управления региональными электрическими сетями // Инженерный вестник Дона. 2025. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10124.

6. Jean-Claude Sabonnadiere. Renewable Energies. USA: Wiley, 2009. P. 477.

7. Felix A. Farret M. Godoy Simoes. Integration of alternative sources of energy. USA: Wiley, 2006. P. 471.

8. Strzelecki R., Benysek G. Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks. Springer, 2008. P. 414.

9. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

10. Илюшин П.В. Перспективы применения и проблемные вопросы интеграции распределительных источников энергии в электрической сети. М.: Энергопрогресс, 2020. 116 с.

## References

1. Voropai N.I., Kovalev G.F., Kucherov Yu.N. Kontseptsiya obespecheniya nadezhnosti v rossiyskoy elektroenergetike [The concept of ensuring reliability in the Russian electric power industry]. M.: OOO ID «Energiya», 2013. 304 p.

2. Voronin P.A. Silovyye poluprovodnikovyye klyuchi: semeystva, kharakteristiki, primeneniye [Power semiconductor switches: families, characteristics, application]. M.: Izdatel'skiy dom «DodekaXXI», 2018. 384 p.

3. Kolosov R.V., Titov V.V., Titov V.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. No 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1922.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

4. Abramov A.Yu., Bogachenko P.V., Kulikov A.V., Ryapin I.Yu. Primeneniye sistem nakopleniya energii v Rossii: vozmozhnosti i bar'yery [Application of energy storage systems in Russia: opportunities and barriers] // Ekspertno-analiticheskiy otchet, M., 2019. Pp. 94-112.

5. Debiev M.V., Kurbanov Z.M., Kagirov Kh.L., Isaev M.R., Debieva A.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. No 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10124.

6. Jean-Claude Sabonnadiere. Renewable Energies. USA: Wiley, 2009. P. 477.

7. Felix A. Farret M. Godoy Simoes. Integration of alternative sources of energy. USA: Wiley, 2006. P. 471.

8. Strzelecki R., Benysek G. Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks. Springer, 2008. P. 414.

9. Rozanov Yu.K., Ryabchitsky M.V., Kvasnyuk A.A. Silovaya elektronika [Power electronics]. M.: Izdatel'skiy dom MEI, 2009.

10. Ilyushin P.V. Perspektivy primeneniya i problemnyye voprosy integratsii raspredelitel'nykh istochnikov energii v elektricheskoy seti [Prospects for the application and problematic issues of integration of distribution energy sources in the electric network]. M.: Energoprogress, 2020. 116 p.

**Дата поступления: 18.05.2025**

**Дата публикации: 10.07.2025**

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025