

С учетом принятой мировым сообществом концепции по интеграции генерирующих объектов на основе ВИЭ с целью повышения уровня жизни населения, снижения негативного воздействия деятельности людей на окружающую среду и истощение запасов полезных ископаемых, используемых для углеводородного топлива, а также для выполнения решений, обеспечивающих экономический рост, сектор производства электроэнергии находится на пороге серьезной трансформации, вызванной в значительной степени все более широким использованием возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнечная энергия. Хранение электроэнергии считается ключевой технологией, имеющей решающее значение для обеспечения этой трансформации. В данной статье представлен широкий взгляд на ценностное предложение для всех типов накопителей.

Проанализировав представленную информацию можно сделать вывод о том, что выбор оборудования накопителей энергии может зависеть от параметров электрической сети и/или возобновляемого источника генерации. Применяя накопители энергии можно аккумулировать электроэнергию, вырабатываемую от ВИЭ во время малых нагрузок, и генерировать в дневное время при пиковых нагрузках. Преимущество устройства накопителей энергии заключаются в возможности поддержания статических и динамических нагрузок электрической сети. Так же накопители энергии могут участвовать в накоплении электроэнергии из электросети в момент дефицита нагрузки потребителей. Также накопители энергии могут способствовать поддержанию организованной системы противоаварийного управления и этим содействовать предотвращению каскадных аварий, что является одной из главных проблем современной электроэнергетики.

Хранение является самым слабым звеном энергетической сферы, но является ключевым элементом для роста возобновляемых источников энергии. Когда источник энергии является прерывистым и расположен в изолированной области, которая не может быть подключена к распределительной сети, хранение становится критически важным. Эта потребность не столь очевидна, когда источник энергии подключен к сети — как это имеет место в случае с ветрогенераторами и фотоэлектрическими системами в промышленно развитых странах, — но хранение может стать неизбежным в будущем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. BloombergNEF [Electronic resources]. Access mode: <https://about.bnef.com/blog/when-the-going-gets-tough-for-asias-energy-transition/>.—Date of access: 02.03.2020.
2. International Energy Agency, The power of transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems / International Energy Agency. — Paris, 2014. — 238 с.
3. Арский, Ю. М. Экологическая экспертиза: Обзорная информация, выпуск №6 / Ю.М. Арский. — Москва: ВИНИТИ, 2018. — 145 с.
4. Жарков, П. В. Перспективные технологии производства тепловой и электрической энергии/ П.В. Жарков, А. Ю. Маринченко и др. — Иркутск: ИРНИТУ, 2018. — 102 с.

## НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СЕТИ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ ENERGY STORAGE, SMART GRID WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

***В. И. Красовский, П.В. Яцко***  
***V. Krasovsky, P. Yatsko***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*PavelYatsko@yandex.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Возобновляемые источники энергии (далее — ВИЭ) становятся все более конкурентоспособными на энергетическом рынке. Вместе с ростом возобновляемых мощностей хранение (или накопление) электроэнергии считается в настоящее время ключевой технологией, обеспечивающей дальнейшее распространение ВИЭ. Повышение требований со стороны потребителей, надежность электроснабжения, экологичность и энергоэффективность требуют внедрения технологии интеллектуальных энергетических сетей (далее — ИЭС).

Renewable energy sources are becoming increasingly competitive in the energy market. Together with renewable capacities, storage (or accumulation) of electricity is currently considered as a key technology that ensures the further spread of RES. Increasing demands from consumers, reliability of power supply, environmental friendliness and energy efficiency require the introduction of the technology of smart energy grid.

*Ключевые слова:* возобновляемые источники энергии (ВИЭ), накопители энергии, аккумулирование энергии, электрические энергосистемы, интеллектуальные энергетические сети (ИЭС).

*Keywords:* renewable energy sources (RES), energy storage, energy storage, electric power systems, smart grid (SG).

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-396-399>

За последнее десятилетие энергетический сектор претерпел изменения в связи с появлением альтернативных технологий генерации. Возобновляемые источники энергии становятся все более конкурентоспособными по цене, и регулирующие органы разработали благоприятную политику для облегчения осуществления. Однако так же, как возобновляемые технологии изменили способ производства электроэнергии, накопление энергии может существенно изменить способ потребления электроэнергии. Хранение (или способность накопления) электроэнергии считается ключевой технологией, имеющей решающее значение для обеспечения этой трансформации.

Согласно докладу Международного энергетического агентства (далее – МЭА), интеграция малых объемов ВИЭ (под малыми объемами понимается доля в 5-10% по отношению к традиционным источникам энергии) в сеть энергосистемы не вызывает трудностей, но даже при интеграции малых объемов рекомендуется соблюдать следующие правила: не допускать неконтролируемых локальных концентраций ВИЭ («горячих точек»); обеспечить возможность стабилизации сети традиционными источниками энергии при работе ВИЭ, когда это необходимо; прогнозировать производство электроэнергии на основе ВИЭ и использовать эти прогнозы для планирования работы других электростанций и потоков электроэнергии в сети. Сложности возникают при генерации электроэнергии от ВИЭ в энергосистему при значительных объемах (25-40% годовой доли выработки ВИЭ по отношению к традиционным источникам энергии), что требует внедрения определенных технических решений [1].

Эффективное использование энергетических ресурсов будет зависеть от наличия гибкости и избирательного обеспечения энергией в любое время, что является фундаментальным для технологий накопления энергии – преобразование энергии из одного состояния в другое (т. е. кинетическое в потенциальное или наоборот) с тем, чтобы аккумулированную энергию можно было использовать позже или использовать альтернативным способом. Наличие гибкости в использовании мощности во времени, обеспечиваемой накопителями энергии, может помочь энергетическому сектору приспособиться к периодам несоответствия спроса и предложения (от кратковременных колебаний до длительных отключений) нагрузки и тем самым повысить надежность сети, качество генерируемой электроэнергии и рентабельность инвестиций в инфраструктуру.

Для обеспечения гибкости использования мощности во времени, помимо накопителей энергии, важную роль будут играть интеллектуальные сети (Smart Grid), в частности, за счет интеграции управления спросом (demand – side management) в процесс эксплуатации энергетической системы. Энергообеспечение в будущем будет осуществляться не при помощи лишь нескольких централизованных электростанций, а с использованием множества малых генерирующих установок, таких как солнечные панели, ветровые турбины и другие генерирующие установки на ВИЭ – часть из которых будет задействована в распределительной сети, а остальные будут объединены в крупные электростанции (ветроэлектростанции, фотоэлектростанции) [2,7].

Термин «Интеллектуальные энергетические сети» до сих пор не имеет единой, общепринятой интерпретации. Под интеллектуальными энергетическими сетями понимаются «электрические сети, удовлетворяющие будущим требованиям по энергоэффективному и экономичному функционированию энергосистемы за счет скординированного управления при помощи современных двусторонних коммуникаций между элементами электрических сетей, электрическими станциями, аккумулирующими источниками и потребителями» [8].

На настоящем этапе при развитии Smart Grid рассматривают наборы программно-аппаратных средств, которые способствуют повышению эффективности производства, распределению и передачи электроэнергии. При этом под эффективностью подразумевается [3-4]:

- децентрализация функций генерации и управления потоками электроэнергии и информации в энергетической системе;
- снижение затрат на генерацию, распределение и передачу электроэнергии;
- оперативное устранение неисправностей;
- возможность передачи электроэнергии и информации в двух направлениях, что является важным условием для более интенсивного развития распределенной и возобновляемой энергетики.

Основные новые качества Smart Grid четко сформулированы в документе «Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью» и определяются следующими аспектами [5-6]:

- Обеспечение равного доступа любых производителей и потребителей электрической энергии к услугам инфраструктуры. Создание специальных интерфейсов для унифицированного и надежного подключения к сетям возобновляемых и нетрадиционных источников энергии на условиях параллельной работы в составе энергосистемы. Участие в управлении режимом работы ИЭС генерации, управляемых элементов сетевой инфраструктуры, потребителей электроэнергии.

- Обеспечение «активности» потребителей электроэнергии за счет их оснащения интеллектуальными системами учета с возможностью ситуативного управления спросом. Обеспечение за счет применения этих систем рационального использования энергии в нормальных режимах и управления потреблением электроэнергии с целью поддержания требуемых параметров функционирования ИЭС.

- Наличие достаточных объемов информации о текущем состоянии и ее элементов (включая векторные измерения), и о внешней среде (освещенность, осадки, гололед, ветровые нагрузки и другие метеофакторы), а также современной системы управления, позволяющей в реальном времени обрабатывать указанную информацию.

- Обеспечение максимальной самодиагностики элементов ИЭС, использование ее результатов в алгоритмах функционирования автоматических систем режимного и противоаварийного управления.

- Наличие распределенных и иерархических централизованных систем режимного и противоаварийного управления, основанных на адаптивных алгоритмах реального времени.

- Применение быстродействующих программ и вычислительных ресурсов, обеспечивающих как выработку автоматических управляющих воздействий, так и предоставление рекомендаций (с помощью экспертных и других систем) диспетчерскому, оперативно-технологическому и ремонтному персоналу для реализации управляющих воздействий и проведения необходимых работ.

В таблице приведен анализ сравнения традиционных сетей и активно-адаптивной (интеллектуальной) сети, изложенный в «Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно адаптивной сетью» [5].

*Таблица – Сравнение традиционной сети и активно-адаптивной (интеллектуальной) сети*

	Традиционная сеть	Активно-адаптивная сеть
<i>1. Сети потребителей:</i>		
1.1. Автоматизированная система управления энергопотреблением со стороны ЭЭС, в т.ч. с вовлечением потребителей-регуляторов к участию в режимном управлении	нет	есть
1.2 Автоматизированная система учета электропотребления	недостаточно	повсеместно
1.3. Система регулирования напряжения и компенсации	недостаточно	в необходимом объеме
1.4. Местные (резервные) источники генерации	практически отсутствуют	широко применяется малая генерация + накопители ЭЭ
1.5. Наличие интерфейса связи с единым центром управления	нет	есть
1.6. Интеллектуальные энергосберегающие технологии в системах электроснабжения, в т.ч. «умный дом» - «умный город»	нет	есть
<i>2. Распределительные сети общего пользования</i>		
2.1. Системы автоматического контроля поузлового баланса активной и реактивной мощности	незначительно	повсеместно
2.2. Системы контроля качества электроэнергии в узлах сети	незначительно	есть
2.3. Системы централизованного автоматического управления нагрузкой потребителей	нет	есть
2.4. Наличие управляемых сетевых элементов, изменяющих параметры сети	незначительно	есть
2.5. Наличие систем управления для поддержания баланса при выделении узлов на изолированную работу	нет	есть
2.6. Системы контроля и управления надежностью электроснабжения	нет	есть
<i>3. Системообразующие сети ОЭС</i>		
3.1. Системы автоматического контроля поузлового баланса активной и реактивной мощности, потерь электрической энергии	нет	есть
3.2. Системы контроля напряжения в контрольных точках сети	не развита	повсеместно
3.3. Системы оценки текущего состояния (режима) сети	есть пассивная	есть активная
3.4. Наличие сетевых элементов, изменяющих топологию сети по управляющим воздействиям	практически нет	есть
3.5. Система автоматического контроля загрузки критических сечений и выдачи управляющих воздействий для их разгрузки	есть	дополнительно – автоматическое управление параметрами и конфигурацией сети
3.6. Система регулирования частоты и поддержания баланса активной мощности в отделившихся энергорайонах при аварийных ситуациях	не развита	автоматическое управление
3.7. Автоматизированная технология реконфигурации электрических сетей	локальное применение в распределительных сетях	есть
3.8. Системы мониторинга переходных процессов на базе синхронизированных векторных измерений	локальное применение	повсеместно
<i>4. Межсистемные межгосударственные сети</i>		
4.1. Системы оценки текущего состояния (режима) передачи	есть пассивная	есть активная
4.2. Система автоматического контроля загрузки передачи и выдачи управляющих воздействий для ее разгрузки (при перегрузке)	есть	дополнительно – автоматическое управление параметрами и конфигурацией сети

Проанализировав представленную информацию можно сделать вывод о том, что для создания энергетической системы, которая может практически целиком состоять из возобновляемых источников энергии, потребуется новая объединенная архитектура энергосистем. Совокупность применяемых технологий будет соответствовать современным требованиям со стороны потребителей, а также обеспечивать надежность электроснабжения, экологичность и энергоэффективность. Технология интеллектуальных электрических сетей позволит снизить строительство новых генерирующих мощностей, результатом чего будет являться снижение капиталовложений и топливных затрат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. International Energy Agency, The power of transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems / International Energy Agency. – Paris, 2014. – 238 с.
2. Симон, С., Филютич, И. и др. Энергетическая [р]еволюция: перспективы устойчивого развития энергетического сектора Беларуси // Фонд им. Г. Белля. – Минск: ООО «Типография «Плутос», 2018. – 124 с.
3. Левченко, С.А. Интеллектуальные энергетические сети (Smart Grids) в Беларуси: проблемы в построении «умных» сетей и варианты их решения [Электронный ресурс] /С.А. Левченко// Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. – Режим доступа: <http://www.scienceportal.org/by/upload/Levchenko 27.06.2012.pdf>. – Дата доступа: 04.03.2020.
4. Короткевич, А.М., Колик, В.Р., Кулаковская, Е.В. Умные распределительные электрические сети 0,4–10(6) кВ в Белорусской энергосистеме – первый шаг // Энергетическая стратегия, 2011.–№ 5. – С. 27 – 29.
5. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно адаптивной сетью [Электронный ресурс] // ОАО «НТЦ электроэнергетики». – Режим доступа: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies\\_aas.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf). – Дата доступа: 03.03.2020.
6. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно адаптивной сетью [Электронный ресурс] // ОАО «НТЦ электроэнергетики». – Режим доступа: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691>. – Дата доступа: 03.03.2020.
7. European Commission, EUR 22040 — European Technology Platform Smart Grids / European Commission. – Luxembourg, 2006. – 44 с.
8. Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: материалы 19-й международной научной конференции, 23–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. /Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редколлегия: С. А. Маскевич [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 300 с.

## ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

## TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF PHOTOVOLTAIC CELLS

**Л. А. Липницкий, Н. Д. Сирисько, А. А. Быкова, А. А. Бутко**  
**L. Lipnitski, N. Sirisko, A. Bykova, A. Butko**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
leonid-l@tut.by  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В данной работе были проведены исследования свойств и поведение фотоэлектрических систем. Также составлена зависимость напряжения фотоэлектрических элементов от температуры. Предложена система охлаждения фотоэлектрических панелей с целью повышения эффективности их работы.

In this work, we studied the properties and behavior of photovoltaic systems. Besides it was compiled the temperature dependence of the voltage of the photovoltaic cells. A cooling system for photovoltaic panels is proposed in order to increase their efficiency.

**Ключевые слова:** фотоэлектрические системы, температурные характеристики, фотоэлектрическая панель, параметры фотоэлектрических панелей, вольт-амперные характеристики, эффективность.

**Keywords:** photovoltaic systems, temperature characteristic, photovoltaic panel, temperature characteristic, parameters of photovoltaic panel, volt-ampere characteristic, efficiency.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-399-402>