

2023. № 10. С. 103-104.

3. **Засухина О.А.** Технология обработки больших данных (BIG DATA) / Засухина О.А., Ершов Е.В., Головатюков Л.К., Шитенков Г.А. // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2022. № 16. С. 98-100.

4. **Абрамович, Б.Н.** Выбор способа пуска синхронного двигателя используемого в качестве потребителя регулятора / Б.Н. Абра-

мович, Д.А. Устинов, Ю.В. Коновалов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2012. № 6. – С.1-9.

5. **Коновалов, Ю.В.** Моделирование координатных преобразований в электромеханических системах с учётом пространственного положения ротора / Ю.В. Коновалов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 12(59). – С. 234-240.

УДК 621.311

к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: yrvaskon@mail.ru

Калинин Евгений Андреевич, студент группы ЭАПЭб-22-1, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», e-mail: kalininevgenii1597824@gmail.com

СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Konovalev Yu. V., Kalinin E. A.

STATUS AND FORECASTS OF USE OF ENERGY STORAGE SYSTEMS

Аннотация. Представлен обзор эффективных систем аккумуляции произведенной электроэнергии, которые устраняют недостаток возобновляемых источников энергии, заключающийся в непостоянстве выдаваемой ими мощности, обусловленной природными особенностями таких источников. Обоснованы прогнозы использования систем накопления энергии в мире.

Ключевые слова: обзор, системы накопления энергии, возобновляемые источники энергии, прогноз.

Abstract. An overview of efficient systems for accumulating produced electricity is presented, which eliminate the disadvantage of renewable energy sources, consisting in the variability of the power they produce, due to the natural characteristics of such sources. Forecasts for the use of energy storage systems in the world are substantiated.

Keywords: review, energy storage systems, renewable energy sources, forecast.

Современным и перспективным направлением развития электроэнергетики являются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Одним из недостатков генерации электроэнергии с помощью ВИЭ является непостоянство выдаваемой мощности, что обусловлено природными особенностями таких источников [1-3].

Преодоление этой проблемы может быть решено применением эффективных систем накопления энергии (СНЭ).

Системы накопления энергии могут быть применены для решения широкого спектра задач. СНЭ могут применяться как источники бесперебойного питания [4], они могут накапливать, хранить длительное время и отдавать в сеть в нужный момент избы-

точную электроэнергию. Эта способность СНЭ используется для поддержки работы электростанций на ВИЭ.

Также с помощью СНЭ можно практически безынерционно управлять балансом активной мощности по любому заданному алгоритму в соответствии с решаемой задачей.

Таким образом, широкое внедрение СНЭ в электроэнергетику при достижении ими мощности и емкости, востребованной в Единой энергетической системе (ЕЭС) России, помогут решать многие задачи регулирования и управления, в том числе противоаварийного.

ГАЭС представляет собой электростанцию, имеющую два водоема, располо-

женных на разных высотах (верхний и нижний бьефы), соединенных между собой водопроводом, через который осуществляется переток воды из одного водоема в другой. ГАЭС оборудована комплексом генераторов и насосов, осуществляющих перекачку воды между водоемами. Также на ГАЭС могут использоваться обратимые гидроэлектроагрегаты, которые могут работать и как генераторы, и как насосы.

В ночное время, когда наступает «провал» графика потребления электроэнергии, ГАЭС использует избыток генерируемой мощности для перекачки воды из нижнего бьефа в верхний. В дневное время станция использует запасенную в верхнем бьефе воду для приведения в работу своих гидроагрегатов. Это позволяет покрывать пиковые нагрузки в энергосистеме [5].

КПД современных ГАЭС составляет 70-75% [6]. Зачастую ГАЭС строятся рядом с ТЭС и АЭС – на последних регулирование режима выдаваемой мощности в течение суток затруднено в связи с особенностями технологического процесса, а использование ГАЭС решает эту сложность.

Общее количество ГАЭС в мире на данный момент приближается к 500, их суммарная мощность составляет порядка 300 ГВт [7].

В энергетике широко применяются химические методы аккумулирования электроэнергии.

Литий-ионный аккумулятор состоит из нескольких составляющих.

Анод – изготавливается из графита. В заряженном состоянии между углеродными слоями графита находятся ионы лития. При разряде аккумулятора ионы лития переходят от анода к катоду.

Катод – изготавливается из оксида металла (например, кобальта). По мере разрядки батареи ионы лития перемещаются от анода к катоду, создавая электрический ток.

Свинцово-кислотный аккумулятор представляет собой свинцовые электроды, погруженные в раствор серной кислоты.

При зарядке аккумулятора на катоде восстанавливается диоксид свинца, на аноде происходит окисление свинца.

При подключении нагрузки оксид свинца вступает в реакцию с серной кислотой, свинец окисляется и возникает электрический ток.

Принцип работы твердотельной аккумуля-

лирующей электростанции (ГАЭС) основан на использовании электроэнергии для поднятия грузов на высоту (несколько сотен метров) и ее выработке при опускании грузов силой тяжести [8]. КПД такой установки составляет не менее 80%, срок службы – 50 лет. Нормированная стоимость хранения энергии для ГАЭС на 16% ниже, чем у литий-ионных аккумуляторов и на 72% ниже, чем у ГАЭС.

В марте 2024 года первый в мире коммерческий гравитационный аккумулятор подключен к энергосистеме Китая. Его мощность составила 25 МВт. Для запасания энергии блоки из прессованной земли массой 24 т поднимаются на высоту около 100 м. Таким образом, установка может отдавать 100 МВт·ч в сеть в течение 4 часов. Данный гравитационный аккумулятор будет запасать электроэнергию находящейся рядом ветроэлектростанции. На основании опыта эксплуатации данной установки будет приниматься решение о расширении практики использования этой технологии в будущем на территории Китая [9].

Пневматический аккумулятор использует избыточную мощность для закачивания воздуха под давлением в полости в горных породах. Во время пиковых нагрузок энергия сжатого воздуха используется для генерации недостающей электроэнергии.

Средние значения характеристик систем накопления энергии на основе криогенных технологий сжатия воздуха (LAES): мощность 50 МВт, емкость 300 МВт·ч [10]. LAES используют электроэнергию для работы установок, сжижающих воздух. Сжиженный воздух хранится в специальных емкостях при низком давлении. Из этих емкостей воздух перекачивают к установке, где он при повышенных температуре и давлении становится газообразным. После этого воздух проходит через турбину, подключенную к электрическому генератору.

Принцип действия сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии (СПИНЭ) основан на следующем явлении: при охлаждении проводника с током ниже определенной (критической) температуры, он теряет свое электрическое сопротивление. Вследствие этого исчезают потери электроэнергии. Устройство со сверхпроводящим соленоидом теоретически может позволить сохранять энергию длительное время в виде энергии магнитного поля. Заряд такого устройства требует конвертации переменного

го тока в постоянный, а отдача заряда потребителю требует обратного преобразования [11].

Ионистор – это электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, обкладками в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода или электролита. Обладают значительной емкостью [12].

Ионисторы имеют ряд преимуществ:

- удельная энергия симметричных ионисторов меньше, чем у аккумуляторов (5-12 Вт·ч/кг при 200 Вт·ч/кг для литий-ионных аккумуляторов);
- напряжение зависит от степени заряженности;
- низкое рабочее напряжение по сравнению с другими типами конденсаторов (несколько вольт);
- малая деградация по мере нарастания числа циклов заряда-разряда (после 100 000 циклов ухудшения характеристик не наблюдалось).

Характеристики суперконденсаторов позволяют применять их в энергосистеме для ряда задач. В частности, ионисторы могут быть применены как источник бесперебой-

ного питания в случае кратковременных аварийных событий в энергосистеме. На станциях с ВИЭ, в частности, на ветровых электростанциях, ионисторы могут использоваться для стабилизации генерируемого напряжения [13]. Также на станциях с ВИЭ ионисторы могут быть использованы вместе с аккумуляторами для защиты последних от высоких токов, что позволяет продлить срок службы СНЭ.

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика рассмотренных выше способов и систем накопления энергии.

Из таблицы 1 видно, что наиболее длительный срок службы характерен гидроаккумулирующим электростанциям. Однако, по экономическим показателям они уступают остальным системам аккумулирования. Кроме того, их применение усложняется необходимостью размещать ГАЭС в местности с подходящим рельефом и с наличием водоемов. Экономическую эффективность характеризует величина CAPEX (от англ. Capital Expenditure) – это капитальные затраты, показатель инвестиционной деятельности предприятия, приходящиеся на 1 кВт установленной мощности.

Таблица 1

Технология	КПД, %	Срок службы, лет	Циклы зарядки-разрядки	CAPEX евро/кВт
Литий-ионный аккумулятор	85-95	10-15	3500	160-1600
Свинцово-кислотный аккумулятор	70-80	10	900	400-1500
Пневматический аккумулятор	70-85	20-60	10000	1200
ГАЭС	70-75	40-120	15000	500-5000

В России реализован ряд проектов систем накопления энергии, представленных в таблице 2. В настоящее время эксплуатируются гидроаккумулирующие станции: Загорская ГАЭС-1, Кубанская ГАЭС, Зеленчукская ГЭС-ГАЭС. Также реализуются СНЭ с использованием электрохимических методов накопления энергии [14].

Согласно исследованиям [15], в 2023 году рынок систем накопления энергии в мире вырос почти в три раза. Рост рынка произошел на фоне низких цен на СНЭ (в Китае стоимость электричества, запасаемого в СНЭ, стала на 43 % ниже по сравнению с предыдущим годом). Падение цен на СНЭ

стало возможным за счет производства литий-железо-фосфатных аккумуляторов (LFP), которые не требуют никеля. LFP-аккумуляторы постепенно вытесняют никель-магний-кобальтовые литий-ионные аккумуляторы (NMC). Рост производства LFP-аккумуляторов обусловлен ростом производственных мощностей Китая.

Компании за пределами Китая, многие из которых исторически специализировались на производстве LFP-аккумуляторов, планируют перейти к производству СНЭ с использованием LFP-аккумуляторов. Примером служат такие компании, как LG Energy Solutions, Samsung SDI, Panasonic, Freyr.

Ожидается, что к 2030 году доля NMC-аккумуляторов на рынке снизится до 1%.

Таблица 2

№ пп	Местоположение	Тип аккумуляторов	Суммарная номинальная мощность / энергоемкость	Назначение СНЭ	Ввод в эксплуатацию
1	г. Москва, ЕЭС России	Цинк-бромные	25 кВА / 25 кВт·ч	Снижение затрат потребителя на покупку мощности и электроэнергии у потребителя	Информация отсутствует
2	ПС «Сколково», Московская обл., ИЦ «Сколково», ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	1200 кВА / 1000 кВт·ч	Источник бесперебойного питания (ИБП)	2012 г.
3	ПС Смирново», Московская обл., ИЦ «Сколково», ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	1200 кВА / 1000 кВт·ч	ИБП	2012 г.
4	ПС «Веселое», г. Сочи, п. Веселое, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	600 кВА / 500 кВт·ч	ИБП	2012 г.
5	ПС «Спортивная», п. Красная поляна, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	600 кВА / 500 кВт·ч	ИБП	2012 г.
6	ПС «Псоу», г. Сочи, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	1500 кВА / 2500 кВт·ч	ИБП, регулирование частоты, компенсация пиковой мощности	2013 г.
7	ПС «Волхов-Северная», г. Санкт-Петербург, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	1500 кВА / 2500 кВт·ч	Параллельная работа с газотурбинной установкой для выравнивания графика нагрузки и регулирования частоты	2014 г.
8	ПС «Восход», г. Омск, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	1200 кВА / 1000 кВт·ч	ИБП	2014 г.
9	Зарядная станция для электромобилей г. Рязань, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-железо-фосфатные)	22 кВА / 100 кВт·ч	СНЭ для зарядной станции электромобилей	2016 г.
10	Забайкальский край, с. Менза	Литий-ионные (литий-железо-фосфатные)	90 кВА / 300 кВт·ч	Оптимизация работы солнечной электростанции и ДЭС	2017 г.
11	Республика Тыва, п. Мугур-Аксы	Литий-ионные (литий-железо-фосфатные)	400 кВА / 460 кВт·ч	Оптимизация работы солнечной электростанции и ДЭС	2019 г.
12	Республика Тыва, п. Кызыл-Хая	Литий-ионные (литий-железо-фосфатные)	100 кВА / 250 кВт·ч	Оптимизация работы солнечной электростанции и ДЭС	2019 г.

В дальнейшем ожидается устойчивый рост вводов СНЭ. Такое возрастание будет обусловлено ростом емкости рынка СНЭ в Китае, который станет крупнейшим рынком СНЭ в мире.

Вторым по величине рынком, вероятно, станут США. В Европе, Африке и на Ближнем Востоке ожидается спрос на СНЭ с аккумуляторными батареями. Среди европейских стран ожидается спрос в Германии, Италии, Австрии, Швейцарии, Бельгии, Швеции, Испании и Великобритании.

Согласно прогнозу, к 2030 году мировой рынок СНЭ будет поддерживаться ежегодными темпами роста в 21 %. Мощность и емкость составят 137 ГВт и 442 ГВт·ч.

Среди причин создания систем накопления энергии – распространение электростанций на ВИЭ; необходимость электроснабжения населенных пунктов, удаленных от объектов электрогенерации; потребность в источниках бесперебойного питания на объектах электроэнергетики.

Традиционный тип СНЭ – гидроаккумулирующая электростанция. Однако, несмотря на ее преимущества, такие как значительная емкость и длительный срок эксплуатации, ГАЭС не получили широкого распро-

странения, необходимого для решения всего спектра задач, стоящих перед СНЭ. Это связано с необходимостью наличия подходящих водоемов и определенного рельефа местности, а также с высокими капиталовложениями. Это стало толчком для развития иных типов СНЭ.

В России и мире распространены электрохимические аккумуляторы. Из всех видов СНЭ такие аккумуляторы применяются наиболее широко, и пока именно они рассматриваются при планировании и реализации СНЭ на практике.

Опыт реализации СНЭ, таких как ГАЭС и аккумуляторные батареи, показывает их достоинства и большой потенциал, их эффективность при решении поставленных перед ними задач. Поэтому можно ожидать, что в ближайшем будущем будет продолжаться разработка новых СНЭ и улучшение характеристик уже имеющихся систем.

Существуют также другие типы систем СНЭ, однако ряд разработок пока представлены только теоретически, на практике такие системы еще не реализованы и не испытаны. Среди них – воздухоаккумулирующие, гравитационные, криогенные и другие перспективные типы СНЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коновалов, Ю.В.** Гидроэлектростанции малой мощности / Ю.В. Коновалов, В.Ю. Конев // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2015. № 9. – С. 160-163.

2. **Коновалов, Ю.В.** Пути повышения динамической стабилизации режимов работы электростанций / Ю.В. Коновалов, А.А. Дудко // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2013. Т. 1. № 1. – С. 22-28.

3. **Коновалов, Ю.В.** Тенденции развития мировой энергетики в современных условиях / Ю.В. Коновалов, Н.В. Буякова, Н.К. Малинин, А.А. Терехова, А.С. Хухрянская, Д.А. Марченко // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2024. № 21. – С. 302-308.

4. **Пранкевич Г.А.** Разработка математической модели и методики выбора параметров накопителя энергии как элемента энергосистемы: дис. 05.14.02. - Новосибирск, 2021. - 158 с.

5. **Чаронов, В.Я.** Электродвигатели насосных станций как потребители-регуляторы активной и реактивной мощности / В.Я. Чаронов, А.Н. Евсеев, Б.Н. Абрамович, Ю.В. Коновалов, А.С. Логинов // Нефтяное хозяйство. 1990. № 5. – С. 9.

6. **Баходир А.Н. Нозина Ш.Ш.** Об понятие гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС) // ACADEMIC RESEARCH IN EDUCATIONAL SCIENCES. - 2021. - №2. - С. 286-293.

7. **Малинина Т.В., Поташева А.С., Шульгинов Р.Н.** Комплексная оценка эффективности функционирования ГАЭС на рынке электроэнергии северо-запада // Энергоэконом. - 2012. - №2. - С. 82-85.

8. Патент РФ № 2669885С1/11.09.2019.

9. Первый в мире гравитационный аккумулятор подключили к энергосистеме Китая — он запасает 100 МВт·ч в прессованной земле // 3DNews URL: <https://3dnews.ru/1101407/kitay-pervim-v-mire-podklyuchil-gravitatsionnyy-akkumulyator-k-natsionalnoy-energosisistem-e> (дата обращения: 15.10.2025).

10. Liquid Air Energy Storage (LAES) // Sumitomo Heavy Industries, Ltd. URL: <https://www.shi.co.jp/english/products/energy/cryobattery/index.html> (дата обращения: 27.03.2025).

11. **Михтахов К.Р., Орлов А.В.** Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии // Современные инновации. - 2017. - № 6.

12. **Гриц В.И., Дубовой Т.В.** Ионисторы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. - 2015. - №1. - С. 240-241.

13. **Jie Zhang, Min Gu, Xi Chen** Supercapacitors for renewable energy applications: A review // Micro and Nano Engineering. - 2023. - №21

14. Ионисторы в энергетике // Энерговектор URL: <https://www.energovector.com/en/ergoznanie-ionistory-v-energetike.html> (дата обращения: 15.10.2025).

15. Global Energy Storage Market Records Biggest Jump Yet // BloombergNEF URL: <https://about.bnef.com/blog/global-energy-storage-market-records-biggest-jump-yet/> (дата обращения: 15.10.2025).

УДК 621.311.243

Коновалов Юрий Васильевич,

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: yrvaskon@mail.ru*

**Гончаренко Алена Анатольевна, Гончаренко Роман Анатольевич,
Шаура Максим Петрович, Иванов Иван Сергеевич,**

студенты группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Петрова Анастасия Владимировна,

*ГБПОУ ИО «Ангарский политехнический техникум», преподаватель специальных дисциплин,
e-mail: nastya.surova.98@bk.ru*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Konovalov Yu.V., Goncharenko A.A., Goncharenko R.A., Shaura M.P., Ivanov I.S., Petrova A.V.

MODERN TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF SOLAR BATTERIES

Аннотация. Выполнен анализ тенденций развития основных технологий при производстве высокоэффективных солнечных батарей. Установлено, что не только применение инновационных полупроводниковых материалов имеет важное значение для повышения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. Отмечена важная роль топологии размещения соединительных шин и рациональное использование дополнительных отражающих возможностей.

Ключевые слова: развитие, технологии, производство, солнечные батареи, топология размещения, соединительные шины, отражающие возможности.

Abstract. The analysis of the development trends of the main technologies in the production of highly efficient solar batteries is carried out. It is established that not only the use of innovative semiconductor materials is important for increasing the efficiency of converting solar energy into electrical energy. The important role of the topology of the placement of connecting buses and the rational use of additional reflective capabilities are noted.

Keywords: development, technology, production, solar panels, placement topology, busbars, reflecting possibilities.

Тенденции по повышению экологичности при производстве электроэнергии обретают все большее значение [1-3]. В России оказывается государственная поддержка развитию технологии возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В этом тренде находится и солнечная энергетика, которая становится

все более важным элементом глобальной энергетической системы. Повышение эффективности солнечной энергетики базируется на развитии технологий преобразователей солнечной энергии в электрических солнечных батареях [4-7].

На текущий момент можно отметить