

СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ

АВТОРЫ:

Д.А. РОССИХИН,
ФИЛИАЛ
ПАО «ФСК ЕЭС» —
МЭС ЦЕНТРА

Т.В. ВЫПРИЦКАЯ,
ФИЛИАЛ
ПАО «ФСК ЕЭС» —
ВОЛГО-ДОНСКОЕ ПМЭС

А.В. СИДОРОВА,
ФИЛИАЛ
ПАО «ФСК ЕЭС» —
МЭС ВОСТОКА

В настоящее время отчетливо проявился новый общемировой тренд развития энергетики, а именно — лю-бая генерация, будь то ветровая, сол-нечная или гидрогенерация, должна быть связана с накоплением вы-рабатываемой мощности. В России данное направление пока находится в начальной стадии развития.

Ключевые слова: системы накопления электроэнергии; возобновляемые источники электроэнергии; накопитель; источник бесперебойного питания; батарея; аккумулятор; энергосистема; электроснабжение; генерация; потребление; электроэнергия.



Батарея современных накопителей электроэнергии

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире энергетика стоит на пороге важных перемен. Одним из этапов этих изменений являются развитие систем накопления электроэнергии (СНЭ) и удешевление ее хранения. С помощью внедрения данных технологий генерирующие станции смогут оптимизировать режим работы оборудования, а сети и потребители — выравнять нагрузку и аккумулировать электроэнергию для дальнейшего использования.

Прорыв в области систем накопления электроэнергии сможет стать стимулом к расширению использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Особенно актуальным этот вопрос является в регионах России, технологически не присоединенных к Единой энергетической системе страны, например, Крайнем Севере и Заполярье.

СНЭ находят широкое применение во многих сферах жизни человека: без эффективных аккумуляторных батарей невозможны были бы исследование космоса, покорение водных глубин, внедрение в повседневную жизнь электромобилей.

McKinsey Global Institute включил технологии накопителей электроэнергии в число 12 наиболее значимых для развития мировой экономики. По прогнозу Bloomberg New Energy Finance, установленная мощность накопителей энергии в мире к 2040 г. возрастет до 1095 ГВт, а их емкость достигнет 2850 ГВт·ч. Прогнозируется, что на мировом рынке лидерами в данной области станут США, Китай, Германия и Индия. Объем инвестиций к 2040 г. вырастет до 662 млрд долл. США [1]. В России после 2022 г. ожидается новый инвестиционный цикл в энергетике. Сумма вложений может составить 500–700 млрд долл. США к 2035 г.

При этом выиграть от применения накопителей смогут практически все участники рынка.

Развитие технологий систем накопления электроэнергии позволит повысить надежность работы энергосистемы, сделает ее более гибкой, сгладит пики потребления, расширит зоны распределенной генерации, внедрит в генерацию больший объем ВИЭ, создаст возможность локального перехода на системы постоянного тока и снизит необходимость строгой одно-временности процессов генерации и потребления электроэнергии.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Существует ряд приоритетных сфер применения СНЭ, формирующих крупнейшие сектора внутреннего рынка и обеспечивающих достижение наибольшего эффекта для экономики [2]:

- системы распределенной энергетики, микрогриды, smartgrid-ы, включая применение СНЭ в электроснабжении изолированных и удаленных районов, системах энергоснабжения жилых районов, промышленных и коммерческих потребителей, электрическом транспорте и зарядной инфраструктуре, специальные сервисные применения СНЭ (передвижные аварийные источники питания, коллективные источники бесперебойного питания (ИБП), сервисы повышения качества электроэнергии);
- новая генеральная схема устройства энергетических систем, включая управление суточным графиком потребления и генерации, а также качеством электроэнергии, вращающийся резерв энергосистемы и другие системные услуги;
- водородная энергетика.

СТРУКТУРА ВВЕДЕННЫХ ПРОЕКТОВ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ

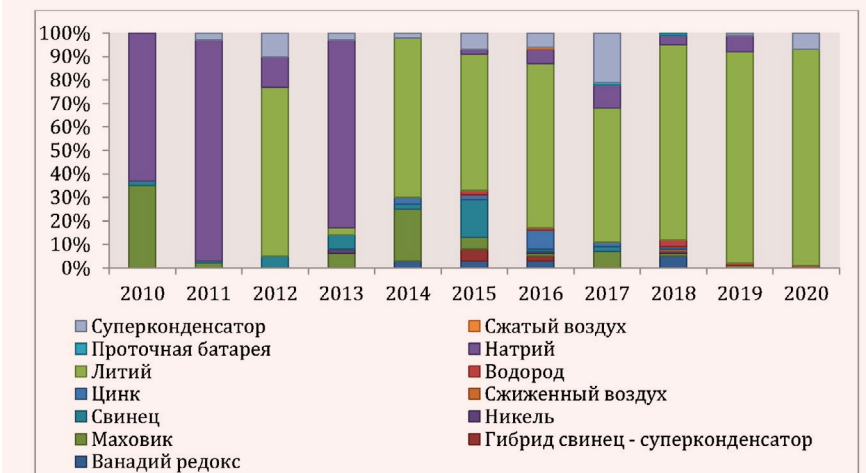


Рис. 1

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Системы хранения электроэнергии				
механические/ пневматические	тепловые	химические	электро- химические	электрические
Гидроаккумулирующие системы (ГАЭС)	Термохимические аккумуляторы	Аккумулятор энергии с водородным циклом	Li-ion	Суперконденсаторы
Подземные накопители сжатого воздуха	Хранение энергии за счет нагревания вещества	Преобразование водорода в метан — синтетический газ	Ni-Cd	Сверхпроводящие системы
Система хранения жидкого воздуха	Хранение энергии с использованием материалов с обратными фазами		NaS	
Инерционные накопители			LeadAcid и т.д.	

Таблица 1

На основе анализа 1500 мировых проектов, которые либо были реализованы, либо находятся в процессе реализации, выявлен спектр наиболее используемых технологий [3] (рис. 1).

Основные виды систем хранения электроэнергии представлены в табл. 1. Следует также отметить, что ГАЭС составляют 98,5% общего объема мощности накопителей в мире, на втором и третьем месте находятся электрохимические накопители и накопители на сжатом воздухе соответственно [4].

Сферы применения СНЭ классифицируются по функциям и типам потребителей (табл. 2).

По оценкам Navigant Research, рынок систем накопления электроэнергии, используемых в сетевых и системных услугах, превысит 18 млрд долл. США, а установленная мощность составит более 20 000 МВт к 2025 г. (рис. 2).

Основными двигателями развития рынка и практики применения СНЭ являются: удешевление и массовое распространение генерации на основе ВИЭ [5]; развитие и массовое

распространение электрического транспорта; промышленное освоение литий-ионных АКБ и резкое снижение их стоимости; рост потребности в генерирующих и сетевых мощностях.

Приоритетные технологии и изделия на их основе для СНЭ в 2021–2035 гг., на которые необходимо делать ставку России, относятся к следующим пяти группам:

- 1) «пост-литиевые» электрохимические технологии, в число которых входят технологии натрий-, калий-, магний-ионных и других типов электрохимических аккумуляторов. Они характеризуются более высокой плотностью энергии, низкой стоимостью и большим ресурсом циклов заряд — разряд;
- 2) проточные батареи, в которых разделяются источник мощности и электролит. К этой группе относятся редокс-ванадиевые, цинк-бромидные, цинк-железные и ряд других, различающихся типом токообразующей реакции;
- 3) металл-воздушные аккумуляторы, такие как цинк- и алюминий-воз-

душные батареи, обеспечивающие снижение стоимости энергоемкости при большом количестве циклов и высокую плотность энергии;

- 4) водородные технологии, основанные на сочетании технологии power-to-gas и топливных элементов и обеспечивающие хранение энергии в синтетическом химическом топливе;
- 5) гравитационные накопители. К ним относятся твердотельные аккумулирующие электростанции, работающие на принципе лифта твердых грузов. Данный тип накопителей благодаря высокому коэффициенту полезного действия может стать технологическим лидером в России.

ОПЫТ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ

В России в настоящее время существует более 15 предприятий, выпускающих электрохимические накопители и суперконденсаторы. В основном все они выполняют

заказы оборонно-промышленного комплекса, поэтому чаще всего выпускаются не СНЭ в готовом виде, а комплектующие для них. Единственным заводом, выпускающим литий-ионные аккумуляторы в России, является «Литотех». Его объемы производства превышают 1 ГВт·ч, что даже больше имеющегося в стране спроса. Кроме того, за последние два года в России начато создание новых производственных мощностей по разным направлениям СНЭ. Так, ООО «Энер Зет» работает в сфере литий-ионных АКБ (технология NMC), ООО «ИнЭнерджи» — в сфере водородной энергетики и топливных элементов. Важным событием стал запуск производства современных суперконденсаторов ООО «ТЭЭМП».

В России эксплуатация СНЭ в большей степени осуществляется

на трех крупных ГАЭС: Загорская ГАЭС-1 (1,2 ГВт), Кубанская ГАЭС (15,9 ГВт) и Зеленчукская ГАЭС (320 ГВт). Также существуют проекты на стадии реализации. На Кош-Агачской СЭС планируется установка сетевой системы емкостью 584 кВт·ч. На Верхней и Нижней Бурзянских СЭС проводятся пусконаладочные работы на двух накопителях суммарной емкостью 8000 кВт·ч. Компанией-производителем ООО «Системы накопления энергии» завершены испытания накопительных систем емкостью 400 кВт·ч, позволяющих регулировать график нагрузки и предотвращающих отключения газопоршневых установок при его резком изменении [6].

Также эксплуатируются СНЭ, основанные на иных технологиях, некоторые из них приведены в табл. 3.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАРУБЕЖНЫХ КОМПАНИЙ

Американская компания Tesla подключила одну из самых больших литий-ионных батарей мощностью 150 МВт и емкостью 193,5 МВт/ч к ветряной электростанции Hornsdale в штате Южная Австралия. Это является перспективным и актуальным направлением, так как в Австралии все больше используют энергию ветра и солнца. Аналогичные технологии Tesla также внедряют на юге Калифорнии, в Новой Зеландии, Великобритании, на Гавайях и ряде тихоокеанских островов.

Лидирующая корейская компания LS Power ввела в округе Сан-Диего

ПРОГНОЗ РОСТА МИРОВОГО РЫНКА СНЭ И ПРОГНОЗ ИЗ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ В МИРЕ

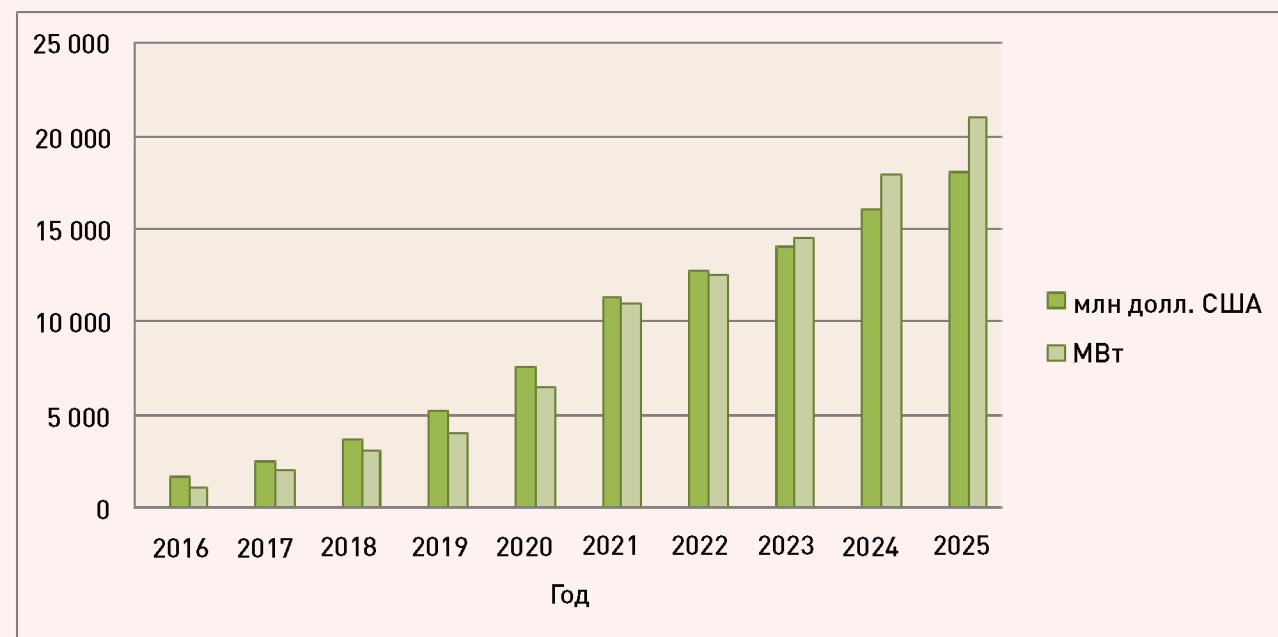


Рис. 2

СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ФУНКЦИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Средний диапазон разряда	Основные функции использования систем хранения электроэнергии	Типы потребителей систем хранения электроэнергии			
		национальные и региональные энергосистемы, от 500 кВт·ч	коммерческие и промышленные предприятия, от 150 до 500 кВт·ч	частный и общественный электрический транспорт, от 50 до 150 кВт·ч	домохозяйства и промышленное оборудование, от 10 до 50 кВт·ч
>12 ч	Основной источник энергии	-	Собственный источник энергии для предприятий	Источник энергии на личном электрическом и гибридном транспорте	Собственные источники энергии для домохозяйств и промышленного оборудования
				Источник энергии на общественном электрическом и гибридном транспорте	
0,25–8 ч	Аварийный источник энергии	Вращающийся резерв мощности на загрузку и разгрузку	Источник бесперебойного питания предприятий	-	Источники бесперебойного питания домохозяйства
			Источники аварийного питания социальных объектов и оборудования		
0,5–6 ч	Управление графиком потребления	Сглаживание суточного графика нагрузки в энергосистемах	Ценовой арбитраж	-	Ценовой арбитраж
		Сглаживание годовой неравномерности потребления электроэнергии	Сглаживание графика потребления		Сглаживание графика потребления
		Разгрузка центров питания и сечений	Повышение эффективности собственной генерации, в том числе ВИЭ		Повышение эффективности собственной генерации
<15 мин	Регулирование системных параметров	Первичное и вторичное регулирование частоты в энергосистеме	Регулирование системных параметров	Рекуперация энергии на неподключенном общественном транспорте	Рекуперация энергии на оборудовании
			Пусковые системы		Электротрансмиссия

Таблица 2

в Калифорнии в эксплуатацию крупнейшую в мире систему накопления энергии — объект Gateway Energy Storage мощностью 250 МВт, основанную на литий-ионных аккумуляторах. Данная батарея задействована для интеграции все возрастающих объемов солнечной генерации в штате и повышения надежности его энергосистемы.

Японская компания NGK Insulators одной из первых вышла на мировой рынок СНЭ с технологией серно-натриевых батарей с жидким электролитом. На сегодняшний день суммарная мощность аккумуляторов NGK Insulators, установленных по всему миру, составляет около 3 ГВт, а самая большая в мире сеть накопительных батарей создана в Японии. Также данная технология реализована в столице ОАЭ Абу-

Даби: 15 аккумуляторных систем общей мощностью 108 МВт были установлены в 10 разных точках города, при этом каждая из систем способна выдавать заявленную мощность в течение шести часов.

Китайская компания CATL разработала аккумуляторную систему накопления энергии емкостью 100 МВт·ч для демонстрационного проекта Luneng Haixi, который представляет собой комбинацию электростанций, основанных на ВИЭ различных типов. Данная система является первым в мире электрохимическим накопителем энергии с виртуальным синхронным генератором.

Платформа SonnenCommunity немецкого производителя бытовых систем хранения энергии Sonnen

позволяет создать виртуальный пул из владельцев солнечных систем и электрических батарей. Излишки электроэнергии, полученной солнечными батареями и не использованные в быту, могут быть распределены среди участников виртуальной сети.

ПОЛИТИЧЕСКИЕ РИСКИ

Основным политическим риском развития рынка СНЭ как в России, так и во всем мире, являются санкции — ограничения и запреты, нацеленные на подрыв экономической стабильности в странах, искусственное замедление темпов производства, ограничение снабжения необходимыми ресурсами и значительное снижение конкурентоспособности на рынке.

РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ СНЭ В РФ БЕЗ УЧЕТА ГАЗС

№	Местоположение	Тип аккумулятора	Суммарная номинальная мощность/энергоемкость	Назначение СНЭ	Ввод в эксплуатацию
1	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	ИБП	2012
3	ПС «Псоу», Сочи, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	1500 кВА/2500 кВт·ч	ИБП, регулирование частоты, компенсация пиковой мощности	2013
4	ПС «Волхов-Северная», Санкт-Петербург, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-никель-марганец-кобальтатные)	1500 кВА/2500 кВт·ч	Параллельная работа с газотурбинной установкой для компенсации пиковой мощности, выравнивание графика нагрузки, регулирование частоты	2014
5	Зарядная станция для электромобилей, Рязань, ЕЭС России	Литий-ионные (литий-железо-фосфатные)	22 кВА/100 кВт·ч	СНЭ для зарядной станции электромобилей	2016
6	Республика Тыва, п. Мугур-Аксы	Литий-ионные (литий-железо-фосфатные)	400 кВА/460 кВт·ч	Оптимизация работы солнечной электростанции и ДЭС	2019

Таблица 3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ СНЭ

Недостатки проекта	Негативное влияние на технологический процесс на любом дальнейшем этапе жизненного цикла
Низкое качество изготовления изделия	Некачественные материалы при изготовлении, некачественная сборка, отсутствие приемо-сдаточных испытаний могут привести к отказу в работе
Нарушение технологий монтажа	Влияет на дальнейшую эксплуатацию и определяет вероятность повреждения всей установки
Несвоевременное техническое обслуживание и ремонт	Ухудшение технических параметров изделия. Быстрая истощаемость ресурсов. Преждевременное старение и деградация
Отсутствие методов диагностики	Повышает риск выхода оборудования из строя
Нарушение правил эксплуатации	Развитие дефектов. Невозможность нормального функционирования оборудования
Недостаточная квалификация обслуживающего персонала	Обслуживающий персонал должен иметь достаточные навыки и требуемую квалификацию, без чего правильная и качественная эксплуатация изделия не представляется возможным
Ограниченность времени выдачи мощности	Снабжение от накопителей требует точных расчетов системы на предмет балансов генерируемой, накапливаемой и отпускаемой энергии. В случае их отсутствия работа системы будет неэффективна или даже бесполезна

Рис. 3

Вследствие потенциальных угроз введения санкций по отношению к России, зависимости от импорта технологий и некоторых видов стратегического и дефицитного сырья возникают риски необеспечения различных отраслей российской экономики необходимым минеральным сырьем и угрозы для динамичного и успешного производства и внедрения СНЭ.

СОЦИОКУЛЬТУРНЫЕ РИСКИ

Одним из барьеров в развитии сектора СНЭ с точки зрения социокультурных рисков являются обоснованные сомнения общества ввиду отсутствия референтной и достаточно известной успешной практики их применения в России (даже на уровне единичных примеров). Из-за относительной новизны данных технологий существует недоверие потенциальных потребителей к техническим характеристикам, реальной стоимости и ресурсу работы накопителей. Усугубляет ситуацию сложность демонстрации эффективности применения СНЭ в ограниченных по масштабам проектах на уровне отдельных домохозяйств или предприятий и проявление экономического эффекта только в результате реализации комплексных проектов на уровне микрорайона или промышленной площадки.

Еще одной социальной проблемой, освещаемой в ведущих западных СМИ, является кустарная добыча сырья в некоторых странах мира для производства аккумуляторов, например кобальта и лития [7], при которой используется детский труд и не обеспечивается должная защита трудящихся, а также окружающей среды [8, 9].

Одной из тенденций развития рынка СНЭ является широкое распространение в повседневной жизни электро-транспорта. Согласно исследованию

[10], примерно половина сомнений в приобретении электрокара связана с характеристиками аккумуляторов и отсутствием зарядной инфраструктуры для них. Очевидно, что для уверенного роста рынка необходимо повышение уровня технической грамотности в области электромобилей со стороны потребителей. Решением может стать реализация комплекса ознакомительных мероприятий.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ

Экономические риски, обусловленные применением СНЭ, разделяются на две группы: внутренние, связанные с их производством, и внешние, связанные с изменением экономической ситуации и состояния рынков.

Внутренним риском является возможный дефицит сырья и борьба за сырьевой рынок. По оценкам Deutsche Bank, мировых запасов лития хватит на 185 лет. Несколько иная ситуация складывается вокруг также востребованного кобальта, более половины мировой добычи которого сосредоточено в Демократической Республике Конго, а почти все производство сферического графита сконцентрировано в Китае.

Внешние экономические риски следует разделить на риски, связанные с экономической целесообразностью, и стагнационные. Предполагается, что накопители заменят основную часть резерва мощности, но только если это окажется экономически эффективнее, чем содержание резервов генерации. В России исторический максимум нагрузки составляет чуть более 158 ГВт, а суммарная мощность всех электростанций превышает 240 ГВт — станции работают не на полную мощность. На сегодняшний день хранение энергии в СНЭ (стоимость составляет 0,4 долл. США за 1 кВт·ч) дороже ее производства (стоимость составляет 0,05 долл. США за 1 кВт·ч) [11]. Стагнационные

риски связаны с замедлением роста экономики страны в целом. Падение стоимости национальной валюты по отношению к мировым влечет резкое падение спроса на новые технологии.

ПРАВОВЫЕ РИСКИ

К числу важных правовых барьеров развития СНЭ, характерных для российского законодательства, относится отсутствие понятия «система накопления электроэнергии» в отраслевых нормативно-правовых актах, регламентирующих правила работы оптового и розничного рынков электроэнергии и мощности. При отсутствии такого определения невозможен учет в законодательстве особенностей регулирования деятельности по производству и эксплуатации СНЭ.

Попытки классифицировать СНЭ одновременно и как объект генерации, и как объект потребления будут приводить к предъявлению к ним излишних требований и невозможности применения специальных мер регулирования, которые бы учитывали особенности их функционирования и позволяли эксплуатировать с наибольшей эффективностью.

Законодательством об электроэнергетике установлен запрет на совмещение деятельности по передаче электроэнергии и ее купле-продаже, за исключением покупки для компенсации потерь или обеспечения собственных производственных нужд. В результате электросетевые компании лишены возможности включать расходы на покупку электроэнергии, запасаемой в СНЭ, в расчет необходимой валовой выручки. Это закрывает целый спектр возможностей эффективного применения СНЭ в электросетевом комплексе, которое могло бы снизить совокупные расходы потребителей на энергоснабжение и повысить качество поставляемой им электроэнергии.

ИЗ ДОКЛАДА «ЭНЕРДЖИНЕ-ТА» НАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНИЦИАТИВЫ

Системы накопления электроэнергии — быстро развивающийся класс высокотехнологичного оборудования, открывающего принципиально новые возможности для развития энергетики: они делают электроэнергию «складируемой» и «портативной», снимая необходимость строгой одновременности процессов генерации и потребления.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Эксплуатация любого оборудования, предназначенного для производства, преобразования и передачи электрической энергии, сопровождается серьезными технологическими рисками на каждом этапе жизненного цикла изделия.

Так как СНЭ являются не отдельными обособленными изделиями, а технологически зависимыми от источников генерации и нагрузки потребителей, им присущи все риски нарушения работы, характерные для энергосистем в целом. Перечень основных технологических рисков представлен на рис. 3.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Изготовление, эксплуатация и утилизация аккумуляторных батарей влечет за собой риски, связанные с экологией.

Процесс утилизации отработанных накопителей сопровождается большим количеством выделяемых отходов. Переработка происходит

при помощи плавления аккумуляторов до состояния шлака и последующего химического разделения, с помощью которого удается извлечь некоторое количество металла, например кобальта. Утилизация получается достаточно энергоемкой и сопровождается выделением токсичных газов, а извлекаемые материалы имеют плохое качество.

Единственным переработчиком АКБ, который не подвергает батареи разборке, а сразу помещает их в специальную печь-реактор УНТ, является компания Umicore.

В результате извлечение никеля, меди и кобальта достигает 70% от их изначального содержания, а литий уходит в шлак. Описанная технология является единственной, позволяющей замедлить рост объемов отходов от переработки АКБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня отчетливо виден новый мировой тренд развития энергетики — любая генерация, будь то ветровая, солнечная или гидрогенерация, должна быть непрерывно связана с накоплением вырабатываемой мощности. В России данное направление находится в начальной стадии развития, в то время как в зарубежных странах уже активно внедряются и эксплуатируются СНЭ. Для успешного развития рынка накопителей в нашей стране необходимо внести в первую очередь ряд изменений и дополнений в нормативно-правовую базу, регулирующую производство, хранение и передачу электроэнергии, закрепить понятие СНЭ и утвердить регламенты и нормы их использования. Осуществление указанных мероприятий станет стимулом для широкого применения СНЭ как в промышленном, так и в бытовом секторах, что, в свою очередь, кардинально изменит модель рынка

электроэнергии и мощности, повысит качество и доступность электропитания потребителей, а также обусловит развитие производства комплектующих и сырья для накопителей энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. RenEn. URL: <https://renen.ru/global-installed-capacity-of-energy-storage-will-increase-122-times-by-2040/>
2. Цифровая подстанция. Доклад о развитии систем накопления электроэнергии в России. URL: <https://digitalsubstation.com/blog/2018/06/15/vypushhen-doklad-o-razviti-i-sistem-nakopleniya-elektroenergii-v-rossii/>
3. U. S. Department of Energy. Energy Storage Systems Program. DOE OE Global Energy Storage Database. URL: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/>
4. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии // Вестник ИГЭУ. 2019. Вып. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prioritetnye-napravleniya-klyuchevye-tehnologii-i-senarii-razvitiya-sistem-nakopleniya-energii/viewer>
5. Шапошников Д., Батраков А. Технологии и медиа. Как технологии накопления энергии изменят мир. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2017/01/19/587e404e9a7947208a047c9d>
6. Энергетическая политика. Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт. URL: <https://energypolicy.ru/sistemy-nakopleniya-energii-rossijsk/energetika/2020/16/18/>
7. Global EV Outlook 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>
8. Support The Guardian. Is your phone tainted by the misery of the 35,000 children in Congo's mines? URL: <https://www.theguardian.com/global-development/2018/oct/12/phone-misery-children-congo-cobalt-mines-drc>
9. The Washington Post. Demand for Congo's cobalt is on the rise. So is the scrutiny of mining practices. URL: <https://www.washingtonpost.com/politics/2019/02/21/demand-congos-cobalt-is-rise-so-is-scrutiny-mining-practices/>
10. Noel L., Zarazua de Rubens G., Sovacool B.K., Kester J. Fear and loathing of electric vehicles: The reactionary rhetoric of range anxiety. Energy Research & Social Science. 2019. № 48. P. 96–107.
11. ЭнергоСМИ. Дефект сохранения энергии. URL: <https://energосmi.ru/archives/29497>

ЭКСПЛУАТАЦИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

АЛЕКСАНДР ХРЕННИКОВ, ВАЛЕРИЙ ТОЧИЛКИН



https://www.directmedia.ru/book_614678_ekspluatatsiya_releynoy_zaschity_i_avtomatiki/

Изложены вопросы организации и производства работ при выполнении работ в действующих устройствах РЗА, в цепях вторичной коммутации на основе действующих документов Министерства энергетики РФ, стандартов и распорядительных документов ПАО «Россети». Даны требования к персоналу, занимающемуся эксплуатацией устройств РЗА, большое внимание уделено проверке устройств первичным током и напряжением, снятию векторных диаграмм, объемам испытаний при различных видах технического обслуживания устройств РЗА (УРЗА), технологическим нарушениям, связанным с отказом или неправильной работой УРЗА.

Учебное пособие предназначено для руководителей и специалистов служб предприятий энергетических систем, электрических и распределительных сетей и электрических станций, филиалов ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС», слушателей курсов повышения квалификации, студентов магистратуры электроэнергетических специальностей, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» и магистрантов направления «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Релейная защита и автоматизация энергосистем» при изучении профессиональной дисциплины «Наладка и эксплуатация релейной защиты и автоматики» в соответствии с утвержденной рабочей программой дисциплины.

