

РГАСНТИ 44.09.29

ISSN 2409-5516

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№6(148), июнь 2020



Тема номера

**ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
НА ФОНЕ СПАДА COVID-19 И ТРАНСФОРМАЦИИ ОТРАСЛЕЙ ТЭК**

Содержание

3 Слово редакторов

Нефть

- 4 **А.М. Мастепанов.** Большие циклы и «чёрные лебеди»
20 **Е.А. Телегина, Л.А. Студеникина.** Пандемия и выбор новой энергетической парадигмы: иллюзия или реальность

Футурама

- 26 **В.В. Бушуев.** Камо грядеши?

Атом

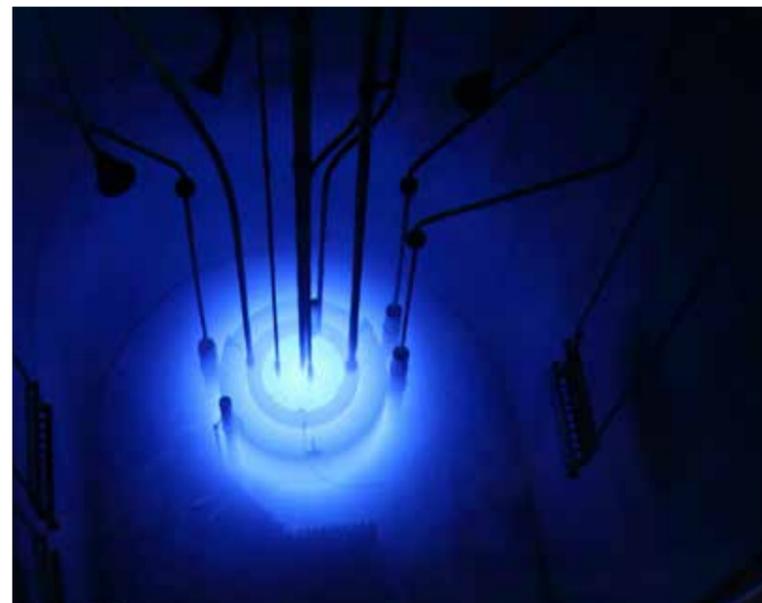
- 42 **Д.С. Пантелей.** Перспективы экспорта российского атома

Энергия города

- 50 **С.В. Гужов.** Прогнозирование спроса на электрическую энергию изолированной энергетической системой города
58 **С.И. Лаптева.** Повышение энергоэффективности в системе жизнеобеспечения города
64 **К. Дацко.** Активные энергокомплексы
76 **В.М. Зырянов, Н.Г. Кирьянова, И.Ю. Коротков, Г.Б. Нестеренко, Г.А. Пранкевич.** Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт

Экология

- 88 **С.В. Мещеряков, И.С. Еремин.** Нефтедержащие отходы как полезный ресурс



Contents

3 Editor's Column

Oil

- 4 **A. Mastepanov.** Big cycles and «black swans»
20 **E. Telegina, L. Studenikina.** Pandemic and the choice of a new energy paradigm: illusion or reality

Futurama

- 26 **V. Bushuev.** Quo vadis?

Nuclear Power

- 42 **D. Panteley.** Prospects for export of the russian nuclear industry

City Energy

- 50 **S. Guzhov.** Forecasting demand for electric energy of the isolated energy system of the city
58 **S. Lapteva.** Improving energy efficiency in the city's life support system
64 **K. Datsko.** Active energy complexes
76 **V. Zyryanov, N. Kiryanova, I. Korotkov, G. Nesterenko, G. Prankevich.** Energy storage systems: russian and international experience

Ecology

- 88 **S. Mescheriakov, I. Eremin.** Oil-containing waste as a useful resource

УЧРЕДИТЕЛИ

Министерство энергетики Российской Федерации, 107996, ГСП-6, г. Москва, ул. Щепкина, д. 42

ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации, 129085, г. Москва, проспект Мира, д.105, стр. 1

ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации, 129085, г. Москва, проспект Мира, д. 105, стр. 1

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.В. Бушуев – акад. РАЕН и РИЗ, д. т. н., председатель совета, ген. директор ИЭС
А.М. Мастепанов – акад. РАЕН, д. э. н., руководитель Центра энергетической политики ИПНГ РАН
Д.А. Соловьев – к. ф.-м. н., ответственный секретарь совета
А.Н. Дмитриевский – акад. РАН, д. г.-м. н., научный руководитель ИПНГ РАН
Н.И. Воропай – член-корр. РАН, д. т. н., научный руководитель ИСЭМ СО РАН
А.И. Кулапин – д. х. н., директор Департамента Минэнерго России

В.А. Крюков – акад. РАН, д. э. н., директор ИЭОПП СО РАН
Е.А. Телегина – член-корр. РАН, д. э. н., декан факультета РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
А.И. Громов – к. г. н., директор по энергетическому направлению ФИЗФ
С.П. Филиппов – акад. РАН, д. э. н., директор ИНЭИ РАН
А.Б. Яновский – д. э. н., заместитель министра энергетики России
П.Ю. Сорокин – заместитель министра энергетики России
О.В. Жданев – к. ф.-м. н., руководитель дирекции технологий ТЭК ФГБУ «РЭА»

Главный редактор
Анна Горшкова

Научный редактор
Виталий Бушуев

Обозреватель
Марина Коцюбинская

Корректор
Роман Павловский

Фотограф
Иван Федоренко

Дизайн и верстка
Роман Павловский

Адрес редакции:
129085, г. Москва, проспект Мира, д.105, стр. 1

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 77–75080 от 07.03.2019

Журнал «Энергетическая политика» входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК
При перепечатке ссылка на издание обязательна

Перепечатка материалов и использование их в любой форме, в том числе в электронных СМИ, возможны только с письменного разрешения редакции

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов

Редакция не имеет возможности вступать в переписку, рецензировать и возвращать не заказанные ею рукописи и иллюстрации

Тираж 1000 экземпляров
Периодичность выхода 12 раз в год
Цена свободная

Отпечатано в «ПБ «Модуль», 115162, Москва, Мытная улица, дом 48, цоколь пом. 2, ком. 1,3

Подписано в печать: 05.06.2020
Время подписания в печать по графику: 13:00
фактическое: 13:00

16+

Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт

Energy storage systems: russian and international experience

УДК 621.311

Вячеслав Михайлович ЗЫРЯНОВ
НГТУ НЭТИ, к. т. н., с. н. с.
e-mail: vmzyryanov47@gmail.com

V. ZYRYANOV
NSTU, CES
e-mail: vmzyryanov47@gmail.com

Наталья Геннадьевна КИРЬЯНОВА
НГТУ НЭТИ
e-mail: kiryanova-ng@ya.ru

N. KIRYANOVA
NSTU
e-mail: kiryanova-ng@ya.ru

Игорь Юрьевич КОРОТКОВ
НГТУ НЭТИ
e-mail: korotkov961@gmail.com

I. KOROTKOV
NSTU
e-mail: korotkov961@gmail.com

Глеб Борисович НЕСТЕРЕНКО
Инженер «СНЭ», НГТУ НЭТИ
e-mail: g.nesterenko@estorsys.ru

G. NESTERENKO
Engineer ESS, NSTU
e-mail: g.nesterenko@estorsys.ru

Глеб Александрович ПРАНКЕВИЧ
Инженер «СНЭ», НГТУ НЭТИ
e-mail: g.prankevich@estorsys.ru

G. PRANKEVICH
Engineer ESS
e-mail: g.prankevich@estorsys.ru

Кабели и серверы в технологическом информационном центре

Источник: firefox / Depositphotos.com



Аннотация. Проведён анализ реализованных проектов систем накопления электроэнергии. Выполнен обзор актуальных областей применения накопителей энергии в энергосистемах разного типа, в том числе с возобновляемыми источниками и распределённой генерацией. Показано, что многие актуальные задачи выбора состава оборудования, организации структуры, ведения режимов, устойчивости и надёжности энергосистем с помощью накопителей энергии могут быть решены более эффективно, чем традиционными способами. Рассмотрен мировой и отечественный опыт применения различных технологий накопления электрической энергии.

Ключевые слова: накопители энергии, системы накопления электроэнергии, возобновляемая энергетика, области применения накопителей энергии.

Abstract. The present study deals the application of performed energy storage projects. A comparative analysis of relevant fields of energy storage unit's application in the power systems including renewable and disturbed energy sources has been performed and it shows that the problems of unit commitment, structural organization, mode control, stability and reliability can be solved more efficiently with the help of energy storage systems as compared to traditional approach. World and Russian experience of using different energy storage systems have been observed.

Keywords: energy storage, energy storage system, renewable power engineering, energy storage applications.

//

Распределение систем накопления по узлам энергосистемы будет способствовать снижению аварийных перетоков при дисбалансе активной мощности

Введение

Традиционная архитектура энергосистем с самого начала их формирования предопределялась одновременностью процессов производства и потребления электроэнергии и необходимостью поддерживать в любой момент времени баланс между вырабатываемой и потребляемой мощностью в условиях стохастического характера потребления.

В последние десятилетия в составе и структуре энергосистем происходят существенные качественные изменения. Прежде всего, это связано со значительной и неуклонно возрастающей долей генерации с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и развитием распределённой генерации. Учитывая трудно предсказуемый характер ВИЭ генерации, её полную зависимость от погодных условий, для гарантированного обеспечения баланса необходим соответствующий объём резервной мощности, который пока реализуется в основном за счёт традиционной генерации. Такой способ поддержания баланса имеет свои технические и экономические ограничения и не решает в целом проблему интеграции ВИЭ в состав традиционной энергосистемы.

Радикально проблема решается при условии широкого внедрения систем накопления энергии, что в настоящее время становится одним из ключевых направлений развития электроэнергетики. Способность накопителей разделять во времени процессы производства и потребления электроэнергии является предпосылкой к революционным преобразованиям в структуре и организации функционирования энергосистем, повышающей их надёжность и эффективность. Системы накопления открывают новые возможности для по-



Дома, оснащенные солнечными панелями

Источник: penfoldsroofing.com

вышения качества управления режимами и улучшения экономических показателей функционирования энергетики на всех этапах производства, передачи и распределения электроэнергии [1, 2]. Наиболее эффективные накопители в последние десятилетия вышли на уровень практического применения.

Области применения систем накопления электрической энергии

Система накопления энергии является многофункциональным устройством, способным одновременно управлять активной и реактивной мощностью, быть фильтром высших гармоник, компенсировать асимметрию напряжения. Учитывая высокую стоимость накопителей, целесообразно совмещать в одном устройстве сразу несколько функций. Системы накопления позволяют решать сразу несколько задач:

1. Повышение эффективности электростанций на основе ВИЭ и их интеграция в традиционные энергосистемы. Располагаемая мощность электростанций на основе ВИЭ, прежде всего, ветровых и солнечных, сложно прогнозируема. Стохастический характер имеет и график нагрузки потребителей. Соблюдение баланса

активной мощности приводит к ее недоиспользованию при избытке энергии или к ограничению нагрузки при её дефиците. Накопители энергии позволяют согласовывать графики генерации и нагрузки, обеспечивая полную загрузку электростанции по фактическому значению потока ветровой или солнечной энергии.

Управление энергосистемой усложняется при наличии в её составе значительной доли ветровой и солнечной генерации. Одно из наиболее эффективных решений этой задачи – применение накопителей энергии: создание технических комплексов «ВИЭ – СНЭ», позволяющих поддерживать баланс между генерацией и потреблением

Способность накопителей разделять во времени процессы производства и потребления электроэнергии является предпосылкой к революционным преобразованиям в функционировании энергосистем

и оптимизировать управление потоками мощности от возобновляемых источников.

2. Автоматическое регулирование частоты и перетоков активной мощности. Любое нарушение баланса активной мощности приводит к изменению частоты в энергосистеме. Накопители позволяют автоматически поддерживать частоты в рамках нормативов. Они могут эффективно применяться в качестве резерва первичного и вторичного регулирования частоты [3]. Благодаря быстрому действию, накопители способны одновременно выполнять функции как первичного, так и вторичного резерва активной мощности. Они могут устранять дисбалансы активной мощности за несколько секунд, что коренным образом улучшит качество регулирования частоты при возникновении значительных перепадов.

Распределение систем накопления по узлам энергосистемы будет способствовать снижению аварийных перетоков при дисбалансе активной мощности и, тем самым, повышению максимально допустимых перетоков в контролируемых сечениях в нормальных режимах.

3. Выравнивание суточных графиков нагрузки. Накопитель энергии, обладающий достаточной энергоёмкостью и мощностью, способен выравнивать график нагрузки, накапливая электроэнергию в ночной период при её минимальной стоимости и возвращая в периоды максимального



Система накопления энергии Tesla

Источник: Tesla.com

дневного потребления, когда цены на электроэнергию являются наиболее высокими. Выравнивание суточного графика позволяет уменьшить потребность в пиковой мощности энергосистемы и снизить перетоки мощности по линиям электропередач в периоды максимумов.

4. Предотвращение снижения напряжения. Изменение режима работы энергосистемы, аварии приводят к изменениям уровней напряжения в сетях.

Накопители энергии позволяют согласовывать графики генерации и нагрузки, обеспечивая полную загрузку электростанции по фактическому значению потока ветровой или солнечной энергии

Системы накопления, установленные в узлах нагрузки, способны в темпе переходных процессов поддерживать требуемый уровень напряжения и регулировать его по любому заданному закону. Это позволяет избежать отключения потребителей, снизить перетоки реактивной мощности по линиям электропередачи и понизить вероятность развития лавины напряжения.

5. Увеличение пропускной способности электропередач. Электроснабжение отдельных крупных потребителей или удалённых от объединённой энергосистемы промышленных районов зачастую осуществляется по линиям электропередач, относящимся к слабым связям. С ростом потребления появляется необходимость строительства дополнительных линий для покрытия нарастающего дефицита пиковой мощности или электростанции в центре потребления. Альтернативой является установка системы накопления на приёмном конце электропередачи, которая позволяет перераспределять передаваемую энергию во времени таким образом, чтобы сгладить график загрузки. Таким образом можно передавать большее количество энергии, не превышая максимально допустимое значение мощности, что позволяет отсрочить строительство дополнительных линий.

6. Повышение надёжности электроснабжения потребителей особой группы. Для потребителей электроэнергии особой группы прерывание электроснабжения даже на время работы автоматики может привести к нарушению технологического процесса и значительному ущербу.

Потребители особой группы обеспечиваются аварийными дизель-генераторными установками. За время пуска и подключения дизельных генераторов к системе электроснабжения, выбег электродвигателей возрастает настолько, что при самозапуске асинхронных двигателей могут возникать недопустимо большие токи, а синхронные двигатели могут выпасть из синхронизма.



Обледенение проводов ЛЭП на Алтае
Источник: *myaltai.com*

Дополнение системы электроснабжения накопителем энергии, способным обеспечить питание потребителей до момента включения аварийного генератора, позволяет существенно повысить надёжность электроснабжения.

7. Применение накопителей для подавления низкочастотных колебаний режимных параметров. В энергообъединениях существует опасность низкочастотных колебаний параметров режима в диапазоне частот 0,1–2 Гц [4]. При недостаточности демпфирующих свойств в энергосистеме есть риск «развития» колебательного процесса, что может приводить к нарушениям устойчивости и каскадному развитию аварии.

Включение накопителей в состав автономной электростанции позволяет уменьшить установленную мощность генераторных, обеспечить их высокий коэффициент загрузки и сократить расход топлива

Многофункциональность систем накопления и её быстродействие позволяют подавлять такие колебания при первых признаках их появления [5].

8. Оптимизация установленной мощности генераторных агрегатов и снижение расхода топлива на автономных электростанциях. На большинстве автономных электростанций используются дизельные, газопоршневые и газотурбинные генераторные агрегаты, количество которых на каждой станции не превышает нескольких единиц. Во многих случаях их коэффициент использования установленной мощности имеет низкие значения ($K_{\text{иум}} = 0,25–0,35$), что приводит к повышенному расходу топлива. Включение систем накопления в состав автономной электростанции позволяет уменьшить установленную мощность генераторных агрегатов (вплоть до среднего значения графика нагрузки), обеспечить их высокий коэффициент загрузки и существенно сократить расход топлива при условии сохранения максимальной мощности и объёма выработки электроэнергии.

9. Сглаживание резко переменной нагрузки. Влияние потребителей большой мощности с резко переменным характером нагрузки на работу энергосистемы имеет ряд негативных последствий. Из-за колебаний мощности по питающим линиям электропередачи возрастают потери активной мощности, понижается уровень статической и динамической устойчивости энергосистемы, возрастает вероятность развития низкочастотных колебаний режимных параметров. Установка накопителя в узле нагрузки позволяет парировать все нежелательные отклонения режимных параметров и стабилизировать их в заданных пределах.

10. Повышение качества электроэнергии в узлах с резко переменной нагрузкой. В узлах энергосистемы с мощной резко переменной нагрузкой, которая приводит к скачкообразным изменениям величины и фазы напряжения, искажению формы кривой напряжения, неизбежно возникает проблема обеспечения качества электроэнергии. Быстродействующая система накопления способна обеспечивать основные показатели качества – поддерживать заданный уровень напряжения, подавлять высшие гармоники – при условии достаточности её ресурсов и наличии адаптивного управления.



Упавшая опора ЛЭП

Источник: *glavnoe.ua*

11. Использование систем накопления для противоаварийного управления. Противоаварийная автоматика обеспечивает живучесть и надёжность электроэнергетической системы, ограничивая развитие аварийных режимов и создавая условия для их прекращения. Учитывая быстродействие и многофункциональность, целесообразно использовать накопители в качестве средства противоаварийного управления [3].

При возникновении аварийной ситуации по сигналам от традиционной системы противоаварийной автоматики накопитель способен воздействовать на процессы

в энергосистеме, выдавая или потребляя активную/реактивную мощность со временем отклика около 5 мс. Система накопления может быть эффективна для выполнения функций автоматики предотвращения устойчивости, ликвидации асинхронных режимов, ограничения снижения и повышения частоты, ограничения перегрузки оборудования. При этом «штатная» противоаварийная автоматика энергосистемы дублирует возложенные на накопитель функции в качестве резервной автоматики. В целом система противоаварийной автоматики становится более эффектив-

ной и надёжной за счёт дополнительных возможностей по влиянию на режимные параметры.

12. Повышение эффективности гибридных электростанций с системами накопления. В России на территории, не обслуживаемой единой энергосистемой, прежде всего, в Сибири и на Дальнем Востоке, эксплуатируется несколько тысяч автономных дизельных электростанций. На закупку и доставку топлива для этих электростанций затрачивается до 40 % региональных бюджетов. В то же время, использование ветровой и солнеч-

ной энергии позволяет в значительной мере изменить ситуацию. При наличии достаточных объёмов возобновляемых ресурсов энергии целесообразно строить гибридные электростанции, в которых комбинируются ветрогенераторы, солнечные установки и традиционные дизель-генераторные агрегаты. Оснащение гибридных электростанций системами накопления энергии даёт возможность повысить их эффективность, так как появляется возможность оптимизировать потоки энергии и при необходимости хранить её невостребованные объёмы, полученные при избытке возобновляемой генерации.

На Дальнем Востоке целесообразно строить гибридные электростанции с накопителями, которые комбинируют ветрогенераторы, солнечные установки и традиционные дизель-генераторные агрегаты

13. Компенсация реактивной мощности и оптимизация её перетоков. Одна из четырёх основных функций систем накопления – управление реактивной мощностью. В узлах установки накопителя в дополнение к основной функции – управление активной мощностью – целесообразно возложить на них задачу управления реактивной мощностью, заменяя традиционные средства управления, регулирования и компенсации. Быстродействие накопителя и способность как потреблять, так и выдавать реактивную мощность позволяют применять его не только для регулирования нормальных режимов, но и для решения задач противоаварийного управления.

14. Замещение «вращающегося» резерва. Система накопления, обладая высоким быстродействием, лучше всего подходит для выполнения функции «вращающегося» резерва. Для этого можно использовать специализированный накопитель энергии, который переходит из состояния ожидания в режим выдачи мощности только при необходимости введения резерва в действие. В тех случаях, когда накопитель выполняет

другие задачи, его также можно привлечь для «вращающегося» резерва, если у него имеется достаточный запас энергии.

15. Защита генераторных агрегатов от резких изменений нагрузки. Резкие, скачкообразные изменения нагрузки значительной амплитуды в автономных, изолированных энергосистемах, а также работающих в островном режиме, могут приводить к аварийным отключениям газопоршневых агрегатов, которые являются самыми чувствительными к скачкам мощности генераторными агрегатами. В то же время такие генераторы по технико-экономическим характеристикам наиболее привлекательны для автономных энергосистем предприятий нефтегазового сектора, как правило, не имеющих связи с объединённой энергосистемой.

Быстродействующие накопители за счёт сглаживания фронтов импульсов нагрузки способны кардинально решать описанную задачу, предотвращая аварийное отключение газовых генераторов [6]. Причём, для этого не требуется большая энергоёмкость накопителя.

Ветровые турбины

Источник: JohanSwanepoel / Depositphotos.com



Общий тип		ВАЭС	Водородные	Тепловые	Электрохимические	ГАЭС
Количество	Ед.	2	13	134	754	350
	%	0,16	1,04	10,69	60,18	27,93
Суммарная мощность	МВт	5,35	20,49	3273,97	3296,75	183007,5
	%	0	0,01	1,73	1,74	96,52
Суммарная энергоёмкость	МВт·ч	17,4	101,06	22363,6	7680,08	1661911
	%	0	0,01	1,32	0,45	98,22
Средняя мощность	МВт	2,68	1,58	24,43	4,37	522,88
	%	0,48	0,28	4,39	0,79	94,05
Средняя энергоёмкость	МВт·ч	8,73	16,84	173,36	10,97	19102,42
	%	0,05	0,09	0,9	0,06	98,91

Таблица 1. Сравнительные показатели основных типов СНЭ

16. Демпфирование нерегулярных колебаний активной мощности при помощи СНЭ. При проектировании и эксплуатации энергосистем необходимо поддерживать перетоки мощности по сечениям, исходя из условия обеспечения запаса статической устойчивости. Нерегулярные колебания перетоков между элементами энергообъединения появляются в результате несоответствия между генерацией и потреблением и имеют случайный характер. Чем выше амплитуда нерегулярных колебаний, тем ниже расчётный коэффициент запаса статической устойчивости. Снижение амплитуды нерегулярных колебаний при помощи накопителя позволяет увеличить переток по сечению.

Мировой опыт применения систем накопления электроэнергии

Для анализа практического применения систем накопления в энергосистемах стран мира использована база данных U.S. Department of Energy Global Energy Storage Database [7] по состоянию на конец 2019 года, рассмотрены проекты мощностью более 50 кВА.

По расчётной мощности накопителей энергии первое место занимает Китай. Это связано с тем, что в стране широко применяются гидроаккумулирующие электростанции, обладающие большой энергоёмкостью. Однако, по количеству реализованных проектов различного типа накопителей энергии безоговорочным лидером являются Соединённые Штаты Америки. Число проектов более чем в 5

раз превышает аналогичный показатель Китая. В США основным типом накопителей энергии являются электрохимические батареи. Их число составляет практически 80 % от всех видов накопителей по стране. Высокий спрос на электрохимические накопители энергии в фермерских хозяйствах США делает их наиболее доступными и обеспечивает стремительное развитие данного типа накопителей энергии.

Анализ систем накопления по типам представлен в таблице 1.

На долю гидроаккумулирующих электростанций приходится наибольшие суммарные значения мощности и энергоёмкости.

Гидроаккумулирующие электростанции обычно рассматривают несколько обособленно от других систем не только из-за их большей мощности и энергоёмкости, но и в связи с тем, что они являются традиционным решением и широко применяются в энергосистемах многих стран мира. Кроме того, мобильность и быстродействие

По количеству реализованных проектов различного типа накопителей энергии безоговорочным лидером являются США. Число проектов более чем в 5 раз превышает аналогичный показатель Китая

гидроаккумулирующих электростанций несопоставимы с наиболее актуальными в настоящее время электрохимическими накопителями.

В таблице 2 показано распределение электрохимических систем накопления с разными типами накопительных элементов по величине суммарной мощности и суммарной энергоёмкости.

На долю литий-ионных накопителей приходится наибольшие суммарные мощности и энергоёмкости. В то же время их средние значения мощности и энергоёмкости относительно невелики по сравнению с проектами накопления других типов. По мощности и энергоёмкости среди действующих проектов систем накопления лидируют гидроаккумулирующие системы, по количеству проектов – новейшие типы накопителей, среди которых преобладают электрохимические (754 проекта – 60 % всех проектов).

Среди электрохимических накопительных элементов наиболее широко применяются литий-ионные аккумуляторы (488 проектов – 67 % от общего числа систем накопления с электрохимическими элементами). Из них чаще всего используются литий-железо-фосфатные аккумуляторы (96 проектов – 64 % от общего числа накопителей с литий-ионными элементами), широкое применение нашли литий-титанатные (21 проект – 14 %), литий-полимерные (20 проектов – 14 %) и литий-никель-марганец-кобальт-оксидные аккумуляторы (9 проектов – 6 %).

Активное развитие и освоение технологий литий-ионных аккумуляторов способствуют значительному снижению себестоимости систем накопления.

Таблица 2. Сравнительные показатели разных типов электрохимических СНЭ

Тип	Количество, ед.	Суммарная мощность, МВт	Суммарная энергоёмкость, МВт·ч	Средняя мощность, МВт	Средняя энергоёмкость, МВт·ч
Гибрид св.-кис. + суперкон.	8	8	5	1	0,6
Суперконденсаторные	27	34	1	1,3	0,1
Свинцово-кислотные	59	166	175	2,8	3,3
Металло-воздушные	6	20	309	3,3	51,5
На основе натрия	63	218	1 357	3,5	22,2
Проточные	73	318	1 233	4,4	16,9
Литий-ионные	488	2 301	4 669	4,7	10
На основе никеля	4	32	9	8,1	3,1

На долю литий-ионных накопителей приходятся наибольшие суммарные мощности и энергоёмкости. Но их средние показатели относительно невелики по сравнению с проектами накопления других типов

Отечественный опыт применения систем накопления электроэнергии

Бурный рост интереса к тематике систем накопления в отечественной научной среде и промышленности начался в конце 60-х – начале 70-х годов XX века, что соответствовало аналогичным процессам в мировом научно-техническом сообществе. Однако в конце 80-х – начале 90-х годов подавляющее большинство научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области накопления энергии было прекращено. Экономическая ситуация в стране не способствовала развитию этого направления энергетики.

За последние десятилетия ряд наиболее эффективных технологий накопления и хранения энергии достигли уровня практического применения в энергетике. Одновременно с этим значительно снизилась стоимость основных компонентов (аккумуляторов, силовых преобразователей), что, в свою оче-

Таблица 3. Реализованные проекты СНЭ в РФ (без учёта ГАЭС)

№ пп	Местоположение	Тип аккумуляторов	Суммарная номинальная мощность / энергоёмкость	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	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 компенсации пиковой мощности, выравнивания графика нагрузки, 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 России реализовано 6 проектов систем накопления, в том числе три гидроаккумулятора станции. В настоящее время эксплуатируются: Загорская ГАЭС 1, Кубанская ГАЭС и Зеленчукская ГЭС-ГАЭС

редь, повысило рентабельность проектов. Потенциально высокие экономические показатели резко увеличили интерес к тематике, в том числе в России. В настоящее время ряд отечественных предприятий и научных школ проводят активную исследовательскую и производственную деятельность по освоению и внедрению накопителей энергии.

В России реализовано 6 проектов систем накопления [7], в том числе три гидроаккумулятора станции. В настоящее время в России эксплуатируются: Загорская ГАЭС-1, Кубанская ГАЭС и Зеленчукская ГЭС-ГАЭС. В октябре 2019 г. «РусГидро» сообщило о начале работ по выравниванию здания Загорской ГАЭС-2, во время строительства которой в 2013 году произошла осадка здания. Три проекта систем накопления с электрохимическими накопителями: два накопителя на литий-ионных аккумуляторах (мощностью 1,5 МВт каждый) в Санкт-Петербурге и в Сочи, один – на цинк-бромных аккумуляторах (мощностью – 25 кВт) в Москве. Но в базе данных [7] отражена неполная информация о количестве реализованных проектов накопителей энергии в РФ. Актуальная информация представлена в таблице 3.

Наиболее интенсивно развиваются электрохимические накопители с литий-ионными аккумуляторами, которые за последнее десятилетие подешевели вдвое, что сказалось на их инвестпривлекательности



Рис. 1. СНЭ мощностью 400 кВА энергоёмкостью 460 кВт·ч в посёлке Мугур-Аксы

В 2019 г. компанией ООО «Системы накопления энергии» и сотрудниками Новосибирского государственного технического университета реализованы два проекта [8]: накопители установлены в составе автономных солнечно-дизельных электростанций в посёлках Мугур-Аксы и Кызыл-Хая (Республика Тыва). Мощности и энергоёмкости накопителей равны 400 кВА / 460 кВт·ч (рис. 1) и 100 кВА / 250 кВт·ч, соответственно.

Кроме того, несколько проектов в нашей стране находятся в процессе реализации. На Кош-Агачской СЭС, работающей в составе ЕЭС России, планируется установка «сетевой» системы энергоёмкостью 584 кВт·ч производства французской компании Saft. На Верхней и Нижней Бурзянских СЭС, также работающих в составе ЕЭС России, проводятся пусконаладочные работы на двух накопителях суммарной мощностью 4000 кВА и энергоёмкостью 8000 кВт·ч отечественного производства (ООО «Литотех-Инновации», ООО «СНЭ») (рис. 2). Завершены испытания накопительных систем мощностью 1200 кВА энергоёмкостью 400 кВт·ч, реализующей алгоритм сглаживания резких изменений мощности нагрузки и предотвращающей отключения газопоршневых установок при резких сбросах и набросах нагрузки [6] (СНЭ разработана и произведена компанией ООО «Системы накопления энергии» и предназначена для энергоцентра, питающего буровые установки на нефтегазовом месторождении).

Заключение

Мировой рынок систем накопления электроэнергии интенсивно развивается: совершенствуются технологии, накапливается опыт практического применения. Системы позволяют принципиально по-новому решать многие проблемы управления нормальными и аварийными режимами энергосистем. Наиболее интенсивно развиваются электрохимические накопители с литий-ионными аккумуляторными батареями, которые за последнее десятилетие подешевели вдвое, что заметно сказалось на их инвестиционной привлекательности.

Анализ мирового опыта применения систем накопления в электроэнергетике говорит о значительном отставании России от ряда стран, в которых технологии накопления получили практическую реализацию. В современных реалиях наибольший технический и экономический эффект от применения систем накопления в России при достигнутом уровне технологий может быть получен в изолированных энергосистемах с распределённой генерацией, в микроэнергосистемах, в Smart и Micro Grids (в том числе с возобновляемыми источниками энергии), на автономных электростанциях нефтегазового сектора экономики, потребители которых в основном имеют стохастическую резко переменную нагрузку, мощность которой соизмерима с мощностью электростанций. Преобладающая доля выработки электроэнергии на таких электростанциях производится

дизельными, газопоршневыми и газотурбинными установками. Требования к накопителям в этих случаях по мощности и энергоёмкости достаточно невысоки и вполне реализуемы в настоящее время, что даёт возможность накопить опыт их эксплуатации, отработать алгоритмы и законы управления ими. По мере отработки технологии и неизбежном снижении себестоимости систем накопления будут активно востребованы и в «большой» энергетике.

Рис. 2. СНЭ мощностью 2000 кВА энергоёмкостью 4000 кВт·ч на Бурзянской СЭС



Использованные источники

1. Гибридный накопитель электроэнергии для ЕНЭС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов / Бердников Р.Н., Фортвов В.Е., Сон Э.Е., Деньщиков К.К., Жук А.З., Новиков Н.Л., Шакарян Ю.Г. // Энергия Единой сети. 2013, № 2. С. 40–51.
2. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры. Экспертно-аналитический отчет / Инфраструктурный центр EnergyNet, Москва, 2019. 158 с.
3. Куликов Ю.А. Накопители электроэнергии – эффективный инструмент управления режимами электроэнергетических систем / Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: материалы 9 междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Казань, 1–5 окт. 2018 г. в 3 т. – Казань: Казан. гос. энергет. ун-т, 2018. Т. 1. С. 38–43.
4. Бушуев В.В., Лизалек Н.Н., Новиков Н.Л. Динамические свойства энергообъединений. М.: Энергоатомиздат, 1995. 319 с.
5. Energy storage devices for low-frequency oscillations suppression in isolated power systems [Electronic resource] / Baluev D., Kiryanova N., Prankevich G., Zyryanov V. // The 13 International forum on strategic technology (IFOST 2018): proc., Harbin, China, 30 May – 1 June, 2018. – Harbin, 2018. P. 694–698. – 1 flash card (CFP18786-USB). – Title with the label. – ISBN 978-1-5386-5073-8/18.
6. Экспериментальные исследования и испытания совместной работы системы накопления энергии и ДГУ в составе автономной энергосистемы / Зырянов В.М., Кучак С.В., Бачурин П.А., Харитонов С.А., Метальников Д.Г., Гармаш Т.Г., Ворошилов А.Н., Фролов Д.А. // Промышленная энергетика. 2018, № 10. С. 2–10.
7. Global energy storage database. [Электронный ресурс] URL: <http://www.energystorageexchange.org/projects>. (дата обращения: 09.12.2019).
8. Накопительная сила энергии. Тематическое приложение к газете «Коммерсантъ». Среда, 18 сентября 2019 г., № 169.