

Научная статья

УДК 621.313:676.026

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-3-10-27

Карташова Елизавета Эдуардовна*, Паскарь Иван Николаевич,
Кудряшов Дмитрий Семенович, Воронин Вячеслав Андреевич, Непша Федор Сергеевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: kartashovaee@kuzstu.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СУШИЛЬНОЙ ГРУППЫ КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ



Информация о статье

Поступила:

16 февраля 2026 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 мая 2026 г.

Принята к печати:

15 июня 2026 г.

Ключевые слова:

системы накопления электрической энергии, сценарный прогноз, электроэнергетика России, технологическая готовность, энергосистема 2035

Аннотация.

Актуальность исследования обусловлена растущей ролью систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) для обеспечения стабильности и гибкости электроэнергетических систем, особенно в контексте интеграции возобновляемых источников. Целью работы является разработка сценарных прогнозов развития технологий СНЭЭ в Российской Федерации до 2035 года. Методология основана на сравнительном анализе по ключевым критериям: технологическая составляющая, экологическое воздействие, стоимость энергии, а также политическая и правовая готовность. Для трех сценарных прогнозов (базового, позитивного и негативного) построены тепловые карты, оценивающие готовность различных технологий накопления к выполнению шести системных функций в российской энергосистеме. Результаты исследования выявили дифференцированные траектории развития. В базовом сценарии лидерство сохраняют гидроаккумулирующие станции и литий-ионные накопители при умеренном росте рынка. Позитивный сценарий предполагает технологический рывок, глубокую цифровизацию и существенное увеличение доли СНЭЭ, в то время как негативный связан с рисками отставания из-за недостатка инвестиций и регуляторных барьеров. Область применения результатов охватывает стратегическое планирование в энергетике, разработку нормативной базы и инвестиционные решения. Выводы подчеркивают, что будущее СНЭЭ в России не предопределено и зависит от своевременных мер поддержки, развития отечественных технологий и адаптации регуляторной среды. Материалы статьи представляют интерес для специалистов в области энергетики, государственного управления и инвестиционного анализа

Для цитирования: Кудряшов Д. С., Воронин В. А., Непша Ф. С., Паскарь И. Н., Карташова Е. Э. Анализ технологической готовности и перспектив внедрения систем накопления энергии в Российской Федерации // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 3 (185). С. 10-27. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-3-10-27, EDN: UOGDSG

Введение

В данной работе рассмотрены три варианта сценарных прогнозов развития накопителей энергии в электроэнергетических системах с учетом трендов и тенденций на общемировой энергетической арене. Базовый, позитивный и негативный прогнозы были составлены с учетом критериев влияния на развитие систем накопления электрической энергии (СНЭЭ), схемы и программы развития электроэнергетических систем России и существующей стратегией развития и достижения технологического лидерства Российской Федерации и экспертной оценки опрошенных респондентов [1]. Критерий «Технологическая составляющая» складывается из ведущих функциональных значений видов накопи-

телей: коэффициент полезного действия (КПД), степень саморазряда, средний срок службы, энергоемкость накопителя и возможная длительность заряда. В дополнение к технологическим составляющим были введены «Экологическое воздействие» – критерий, оказывающий влияние вида СНЭЭ в условиях различной функциональности на безопасность окружающей среды; составляющая оценки «Стоимость энергии» – обозначает степень затраченных средств в рамках применения определенного вида накопителя для достижения одной из шести функций [2,3]; «Политическая и правовая готовность» – это комплекс условий, при которых технология может быть эффективно внедрена и использована в рамках прогноза до 2035 года без вне-

сения дополнительных глобальных изменений в нормативно-правовую базу, также высокая оценка по данному критерию подтверждает готовность к отечественному производству и/или сотрудничеству, в рамках использования технологии, с дружественными странами.

Для оптимизации прогнозирования были составлены тепловые карты на каждый из сценариев. Тепловая карта – это метод визуализации данных, при котором числовые значения отображаются с помощью цветовой градации. Интенсивность или насыщенность цвета соответствует величине отображаемого значения. Самые благоприятные условия обозначены зеленым цветом, неблагоприятные – красным [4]. Данная тепловая карта оценивает готовность технологий СНЭЭ к реализации в российских условиях с учетом шести ключевых функций применения накопителей в энергосистеме: перераспределение потребления с пиковых на непиковые часы; регулирование пиковых нагрузок; ценовой арбитраж; первичное регулирование частоты и поддержание напряжения; вторичное регулирование частоты; третичное регулирование частоты. Данный перечень функций и технологий аккумулирования энергии выбран исходя из наиболее востребованных задач в электроэнергетических системах Российской Федерации и степени уровня готовности технологии (УГТ). Прогноз основан на анализе технологической зрелости, экономических показателей и регуляторной среды с горизонтом планирования до 2035 года [5].

Сценарный анализ

С помощью уровня готовности технологии (УГТ) получится проанализировать, какие из технологий хранения энергии пока находятся в стадии развития, а какие уже готовы к использованию в промышленности. Далее в Прогнозе используется УГТ для характеристики развития той или иной технологии СНЭЭ [6].

Разделение по уровням готовности производится согласно ГОСТ Р 58048-2017:

Уровень готовности технологии 1. На этом уровне изучаются технологии, формируются исследования о них. Излагаются основные принципы, это процесс перехода от теории к практике.

Уровень готовности технологии 2. Здесь уже формируются технологические концепции, больше переходят к экспериментальной составляющей. Часто это аналитические исследования.

Уровень готовности технологии 3. Создание макета, проверка работы технологии. На данном этапе можно уже видеть, что технология может работать и внедряться в какую-то реальную систему.

Уровень готовности технологии 4. На основе работы, выполненной на предыдущем этапе, создается детализированный макет технологии. Здесь уже демонстрируют проект в более реальных условиях.

Уровень готовности технологии 5. Компоненты технологии проходят тестирование в моделируемой среде, чтобы продемонстрировать уровень готовности технологии на условиях, приближенных к реальности. Технологии на данном этапе отвечают всем требованиям к производительности.

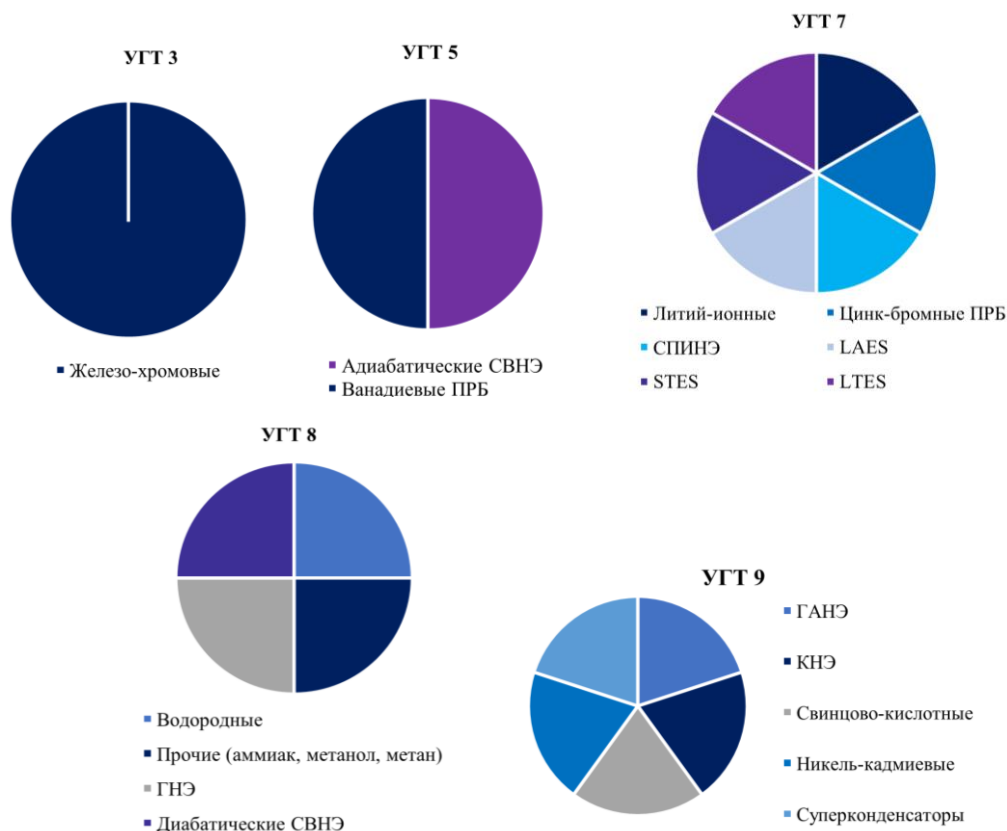


Рис. 1. Уровни готовности технологии СНЭЭ в РФ

Fig. 1. Technology readiness levels for electrical energy storage systems in the Russian Federation

Уровень готовности технологии 6. Тестирование в высокоточных лабораториях или в имитируемых условиях эксплуатации.

Уровень готовности технологии 7. Технологии близки к готовности или находятся на грани реализации. Создание прототипа также входит в этот этап.

Уровень готовности технологии 8. Технология демонстрируется теперь не в лабораториях, а уже в условиях эксплуатации. Здесь выявляют основные проблемы технологии до выхода на рынок.

Уровень готовности технологии 9. Технология успешно интегрирована в предполагаемую среду и продемонстрировала свою работоспособность, полезность. Информация об УГТ разных типов СНЭЭ приведена на Рис. 1.

Как можно заметить из Рис. 1, наибольшее количество видов систем накопления в России сейчас находятся на стадии УГТ 7, что может говорить о реальных перспективах внедрения СНЭ, так как на данном этапе технологии уже близки к готовности, к тому же созданы прототипы. Также чуть меньшее количество находится на этапе 9, что свидетельствует о том, что данные решения прошли успешную эксплуатацию. Все это указывает на возможность совершенствования и доработки СНЭЭ в ближайшем будущем.

Базовый сценарий.

Базовый сценарий представляет собой наиболее вероятный путь развития СНЭЭ. В рамках этого сценария предполагается постепенное и последовательное развитие технологий хранения энергии [7]. Основное внимание уделяется созданию крупных накопителей и развитию гибридных электростанций, которые объединяют традиционные источники энергии с объектами возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Важным аспектом базового сценария является участие систем накопления энергии в функционировании на рынках мощности в качестве полноценных участников [8]. Темпы роста технологий в этом сценарии характеризуются как умеренные, с постепенным увеличением емкости систем хранения. Это позволяет обеспечить стабильное развитие отрасли без резких скачков и чрезмерных рисков.

Краткие выводы базового прогнозного анализа

Из Таблица 1 – «Тепловая карта базового сценария развития СНЭЭ в РФ с учетом критериев влияния на готовность внедрения технологии для различных системных функций» – можно сделать выводы, что для перераспределения потребления с пиковых на непиковые часы гидроаккумулирующие станции демонстрируют оптимальные характеристики для суточного перераспределения энергии благодаря высокой энергоемкости (1.4) и длительному сроку службы (1.3). В перспективе до 2035 года – планомерное развитие электрохимических литий-ионных накопителей и закрепление свода нормативно правовых актов (4), регламентирующих СНЭЭ в рамках перераспределения потребления электроэнергии и мощности.

Регулирование пиковых нагрузок

Для данных целей останутся оптимальны литий-ионные (1.4) аккумуляторы (по скорости отклика и мощности). Проточные аккумуляторы продемонстрируют хорошие показатели для длительного регулирования, но потребуют дополнительных исследований для снижения финансовых затрат (3). Гравитационные накопители продемонстрируют средние показатели для регулирования пиков благодаря ограниченной скорости отклика. Однако их экологичность (2) и долгий срок службы (1.3) делают их перспективными для стационарных применений [9].

Ценовой арбитраж

Экономический анализ показывает растущую рентабельность гидроаккумулирующих и литий-ионных накопителей при разнице тарифных ставок более 30%. Однако в перспективе до 2035 года критерий «политическая и правовая готовность» достигается только для механических накопителей (4). Для северных регионов перспективны тепловые накопители.

Первичное регулирование частоты и поддержание напряжения

Суперконденсаторы и сверхпроводящие накопители показывают наилучшие результаты для мгновенного регулирования частоты. Однако их широкое внедрение сдерживается высокой стоимостью (3). Литий-ионные аккумуляторы типа LTO представляют компромиссное решение исходя из соотношения скорости и стоимости (3).

Вторичное регулирование частоты

Гидроаккумулирующие станции сохраняют позицию исходя из показателей стабильности (1.3). Литий-ионные аккумуляторы останутся основными технологиями для вторичного регулирования с помощью технологий накопления [10]. Пневматические накопители демонстрируют потенциал, но требуют доработки ввиду показателей длительности хранения (1.5).

Третичное регулирование частоты

Гибридные системы на основе литий-ионных и тепловых накопителей станут наиболее эффективными для обеспечения резервного питания. В изолированных зонах особую ценность представят малые ГАЭС благодаря возможному снижению стоимости и программам государственной поддержки (3, 5).

Формирование общих тенденций и рекомендаций исходя из базового прогноза

В рамках базового сценарного прогноза к 2035 году российская энергосистема ожидает значительный рост доли возобновляемых источников энергии и повышения требований к гибкости генерации. В этих условиях системы накопления энергии станут ключевым элементом обеспечения стабильности электроснабжения.

Наиболее перспективным направлением останется развитие гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), особенно в Сибири и на Дальнем Востоке. К 2030 году возможно введение в эксплуатацию новых мощностей на базе существующих гидроузлов, что позволит создать эффективную систему суточного регулирования нагрузки.

Таблица 1. Тепловая карта базового сценария развития СНЭЭ в РФ с учетом критериев влияния на готовность внедрения технологии для различных системных функций

Table 1. Heat map of the baseline development scenario for electrical energy storage systems in the Russian Federation, considering criteria influencing technology adoption readiness for various system functions

Форма или вид аккумулируемой энергии	Наименование и обозначение технологии аккумулирования энергии	Критерии влияния исходя из условий прогнозирования							
		1. Технологическая составляющая					2. Экологическое воздействие	3. Стоимость энергии	4. Политическая и правовая готовность
		1.1. КПД	1.2. Саморазряд	1.3. Срок службы	1.4. Энергоемкость	1.5. Длительность заряда			
Функция СНЭЭ		<i>I. Перераспределение потребления с пиковых на непиковые часы</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	4	1	5	4	3	4	3	5
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	4	2	4	3	4	3	4	3
Механические	GS (гравитационные)	3	1	4	3	3	5	2	4
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	4	3	3	3	2	3	4
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	3	4	5	4	3	4	5
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	5	1	5	2	5	4	1	1
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	3	2	4	3	2	5	2	3
Тепловые	PCM (материалы с фазовым переходом)	4	2	4	4	3	4	3	2
Функция СНЭЭ		<i>II. Регулирование пиковых нагрузок</i>							
Механические	GS (гравитационные)	3	3	4	3	3	5	2	4

Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	3	3	3	3	2	3	4
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	5	4	5	5	3	4	5
Электрохимические	RZnFe, RV, RZnBr (проточные накопители)	4	3	5	4	3	4	3	2
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	3	2	4	3	2	5	2	3
Тепловые	PCM (материалы с фазовым переходом)	4	3	4	4	3	4	3	2
Функция СНЭЭ		<i>I. Ценовой арбитраж</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	3	2	4	5	5	4	3	5
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	2	3	3	4	4	3	2	3
Механические	GS (гравитационные)	4	3	3	4	3	2	4	3
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	1	1	5	3	1	2	1	1
Функция СНЭЭ		<i>II. Первичное регулирование частоты и поддержание напряжения</i>							
Механические	KES (кинетические накопители)	4	4	4	4	3	4	3	3
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	2	3	3	3	3	3	4	4
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	5	5	4	5	4	5	5
Электрохимические	SC (суперконденсаторы)	5	5	5	5	4	3	4	1
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	5	5	5	5	5	1	2	2
Функция СНЭЭ		<i>III. Вторичное регулирование частоты</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	4	3	5	4	3	4	4	5
Механические	GS (гравитационные)	3	3	4	3	2	2	3	3

Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	3	3	3	3	4	3	4
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	4	4	5	4	5	5	4
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	5	5	3	5	1	2	5	2
Функция СНЭЭ		<i>I. Третьичное регулирование частоты</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	4	5	5	3	4	4	5	5
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	3	4	4	4	3	3	4	1
Механические	GS (гравитационные)	3	4	4	2	2	3	4	3
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	3	3	3	4	3	3	4
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	4	5	4	5	5	4	4
Электрохимические	RZnFe, RV, RZnBr (проточные накопители)	4	5	4	3	3	4	5	1
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	3	4	4	2	3	3	4	2

Литий-ионные накопители, особенно LFP-типа, к 2035 году могут занять до 40% рынка систем краткосрочного хранения. Снижение стоимости батарей сделает их экономически привлекательными для коммерческого использования [11].

Тепловые накопители получают широкое распространение в системах централизованного теплоснабжения, особенно в северных регионах. К 2035 году до 30% крупных котельных могут быть оснащены аккумуляторами тепла с фазовым переходом, что позволит сглаживать суточные пики нагрузки и повысить эффективность использования тепловой энергии.

Перспективным направлением станет развитие проточных редокс-аккумуляторов для долгосрочного хранения энергии. К 2035 году возможно появление первых промышленных установок в энергоизбыточных регионах. Однако их массовое внедрение будет сдерживаться высокой стоимостью ванадиевых электролитов.

Пневматические системы накопления могут найти ограниченное применение в газодобывающих регионах, но их развитие будет зависеть от прогресса в повышении КПД и снижении капитальных затрат.

Особое внимание будет уделено созданию гибридных систем, сочетающих разные технологии накопления [12]. Например, комбинации суперконденсаторов (для мгновенного регулирования) и литий-ионных аккумуляторов (для среднесрочного хранения) могут стать стандартным решением для объектов распределенной генерации.

К 2035 году российский рынок систем накопления энергии может достичь 7-10 ГВт установленной мощности, при этом основными драйверами роста станут:

- Развитие ветровой и солнечной генерации;
- Модернизация систем теплоснабжения;
- Цифровизация энергосистемы;
- Ужесточение экологических требований.

Реализация этого сценария потребует значительных инвестиций в НИОКР, создания отечественных производственных мощностей и адаптации нормативной базы. Однако успешное развитие технологий накопления энергии позволит России не только повысить надежность энергосистемы, но и занять заметное место на формирующемся глобальном рынке СНЭЭ.

Таблица 2. Тепловая карта позитивного сценария развития СНЭЭ в РФ с учетом критериев влияния на готовность внедрения технологии для различных системных функций
 Table 2. Heat map of the positive development scenario for electrical energy storage systems in the Russian Federation, considering criteria influencing technology adoption readiness for various system functions

Форма или вид аккумулируемой энергии	Наименование и обозначение технологии аккумулирования энергии	Критерии влияния исходя из условий прогнозирования							
		1. Технологическая составляющая					2. Экологическое воздействие	3. Стоимость энергии	4. Политическая и правовая готовность
		1.1. КПД	1.2. Саморазряд	1.3. Срок службы	1.4. Энергоемкость	1.5. Длительность заряда			
Функция СНЭЭ		<i>I. Перераспределение потребления с пиковых на непиковые часы</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	5	1	5	5	4	5	4	5
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	5	2	5	4	5	4	4	4
Механические	GS (гравитационные)	4	1	5	4	4	5	3	5
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	4	3	3	3	2	3	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	3	5	5	5	4	5	5
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	5	1	5	3	5	4	2	3
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	4	2	5	4	3	5	3	4
Тепловые	PCM (материалы с фазовым переходом)	5	2	5	5	4	4	4	3
Функция СНЭЭ		<i>II. Регулирование пиковых нагрузок</i>							
Механические	GS (гравитационные)	4	2	5	4	4	5	3	5

Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	3	3	3	3	2	3	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	4	5	5	5	4	5	5
Электрохимические	RZnFe, RV, RZnBr (проточные накопители)	5	3	5	5	4	4	4	4
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	4	2	5	4	3	5	3	4
Тепловые	PCM (материалы с фазовым переходом)	5	3	5	5	4	4	4	3
Функция СНЭЭ		<i>I. Ценовой арбитраж</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	5	2	5	5	5	5	4	5
Механические	CAES, ACAES, LAES (пнеumoаккумуляция)	4	3	4	4	4	3	3	4
Механические	GS (гравитационные)	4	3	4	4	3	4	3	4
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	5	1	5	3	5	3	1	2
Функция СНЭЭ		<i>II. Первичное регулирование частоты и поддержание напряжения</i>							
Механические	KES (кинетические накопители)	5	4	5	4	5	4	4	4
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	3	3	3	3	3	3	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	5	5	5	5	4	5	5
Электрохимические	SC (суперконденсаторы)	5	5	5	4	5	3	4	3
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	5	5	5	5	5	2	3	3
Функция СНЭЭ		<i>III. Вторичное регулирование частоты</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	5	3	5	5	4	5	5	5
Механические	GS (гравитационные)	4	3	5	4	3	4	3	4

Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	3	3	3	3	3	3	3	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	4	5	5	5	5	5	5
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	5	5	5	5	5	2	4	3
Функция СНЭЭ		<i>I. Третьичное регулирование частоты</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	5	4	5	5	5	5	5	5
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	4	4	5	4	4	3	4	3
Механические	GS (гравитационные)	4	4	5	3	3	4	3	4
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	5	4	5	5	5	5	5	5
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	5	5	5	4	4	4	5	3
Электрохимические	RZnFe, RV, RZnBr (проточные накопители)	4	4	5	4	4	4	4	3
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	5	4	5	5	5	5	5	5

Позитивный сценарий

Позитивный сценарий развития систем накопления энергии предполагает наиболее оптимистичные перспективы. В его основе лежит активное развитие цифровых технологий и совершенствование механизмов балансировки энергии. Этот сценарий характеризуется существенным снижением стоимости систем хранения, что делает их более доступными для широкого применения [13].

В рамках позитивного сценария ожидается ускоренное развитие технологий, решение вопросов безопасности хранения и глубокая интеграция с возобновляемыми источниками энергии. Важным аспектом является вывод из эксплуатации части резервной генерации, что позволяет оптимизировать энергосистему и повысить ее эффективность.

Краткие выводы позитивного прогнозного анализа

Перераспределение потребления с пиковых на непииковые часы: В позитивном сценарии гидроаккумулирующие и литий-ионные технологии останутся основой для перераспределения энергии [14]. Улучшение показателей связано с технологическими прорывами (1) и государственной поддержкой (4). Тепловые накопители получают распространение и поддержку на законодательном уровне (4). Свин-

цово-кислотные АКБ полностью исчезнут из энергосистемы к 2030 году из-за ужесточения экологических норм (2,4) и низкой экономичности (3), такие выводы можно сделать исходя из Таблица 2 – «Тепловая карта позитивного изменения в базовым сценарии развития СНЭЭ в РФ с учетом критериев влияния на готовность внедрения технологии для различных системных функций».

Регулирование пиковых нагрузок

Литий-ионные СНЭЭ типа NMC станут «золотым стандартом» (4) для оперативного регулирования. В промышленных кластерах появятся крупные системы с возможностью мгновенного ввода мощности. Тепловые накопители (1.1) обеспечат до 40% гибкости в системах ЦТС городов, аккумулируя избыточное тепло ТЭС в ночные часы [15].

Ценовой арбитраж

Гидроаккумулирующие станции и литий-ионные аккумуляторы останутся наиболее рентабельными для ценового арбитража, так как обеспечат рентабельность при разнице тарифов 25% (против 30% базового прогноза). Гибридные решения (литий-ионные и суперконденсаторы) смогут обеспечить треть рынка ценового арбитража, предлагая оптимальное сочетание скорости и емкости (1.1), только при условии целенаправленных научных

программ исследования вопросов создания гибридных СНЭЭ. Пневматические системы могут получить развитие при снижении стоимости (3).

Первичное регулирование частоты и поддержание напряжения

Суперконденсаторы займут половину ниши мгновенного регулирования благодаря краткому отклику. Их гибридизация с электрохимическими технологиями накопления (проекты «ФСК ЕЭС») станет стандартом (4) для массового производственного внедрения. Свинцово-кислотные и никель-кадмиевые АКБ полностью исчезнут (2) из систем АРЧМ к 2028-2030 гг.

Вторичное регулирование частоты

Гидроаккумулирующие и литий-ионные технологии обеспечат стабильное вторичное регулирование в перспективе 10 лет, сочетая мощность гидронакопителей (1.4) и точность (1.2) электрохимических технологий. Сверхпроводящий накопитель может быть внедрен в критических системах при больших затратах (3).

Третичное регулирование частоты

Гибридные системы на основе литий-ионных аккумуляторов и тепловых накопителей обеспечат надежное третичное регулирование [16]. Контейнерные решения (по 2-5 МВт) станут стандартом для аварийного питания в условиях изолированных энергосистем, сократив использование дизель-генераторов на 70%. Проточные аккумуляторы могут стать важным элементом для долгосрочного хранения только при увеличении финансирования в данную область исследований.

Формирование общих тенденций и рекомендаций исходя из позитивного прогноза

В отличие от базового прогноза, предполагающего постепенное развитие технологий хранения энергии, позитивный сценарий открывает качественно новые возможности для российской энергосистемы [17]. Если в консервативном варианте к 2035 году ожидалось достижение 7-10 ГВт установленной мощности СНЭЭ, то при благоприятных условиях этот показатель может превысить 10-15 ГВт благодаря ускоренному технологическому прогрессу и системной государственной поддержке.

Основным драйвером роста станет стремительное развитие литий-ионных технологий – себестоимость LFP-батарей значительно уменьшится, что позволит им занять 40-50% рынка. Особенно перспективными окажутся гибридные решения, сочетающие разные технологии: комбинации литий-ионных аккумуляторов с суперконденсаторами для мгновенного регулирования частоты или интеграция гидроаккумулирующих станций с проточными редокс-батареями для долгосрочного хранения [18]. Такие гибридные системы станут отраслевым стандартом к 2030-2035 годам и обеспечат повышенную гибкость энергосистемы.

Значительные изменения произойдут в региональной энергетике. В Сибири и на Дальнем Востоке появятся новые ГАЭС, интегрированные с существующими гидроузлами. Для северных тер-

риторий ключевое значение приобретут тепловые накопители с фазовым переходом – к 2035 году ими будет оснащено 30% котельных, что позволит сократить пиковые нагрузки на 25-40%. В изолированных зонах получат распространение контейнерные L1B-решения, способные на 70% сократить использование дизель-генераторов, в качестве образцов распространение получат водородные гибриды. Гравитационные накопители энергии найдут ограниченное применение в виде пилотных проектов мощностью 10-50 МВт в шахтах Урала и Кузбасса. Хотя их масштабируемость ограничена, российские разработки в этой области имеют экспортный потенциал и могут занять 5-7% мирового рынка соответствующих технологий.

Особенностью позитивного сценария станет глубокая цифровизация отрасли. Внедрение AI-алгоритмов для прогнозирования нагрузок повысит эффективность регулирования на 25-30%, а блокчейн-платформы для автоматического трейдинга балансирующей мощности увеличат доходность накопителей на 18-22%.

Это потребует модернизации 40-45% подстанций 110 и более кВ и подготовки специалистов новых профилей – цифровых энергетиков, химиков СНЭЭ и AI-аналитиков энергопотоков. Необходима модернизация сетевой инфраструктуры, требующая инвестиций в размере более 500 млрд рублей до 2035 года. Требуется разработка специального законодательства о системах аварийного накопления энергии с особыми тарифными условиями.

Ключевыми предпосылками реализации этого сценария являются:

— Технологические прорывы в области твердотельных батарей, адиабатических CAES-систем и ванадиевых электролитов;

— Формирование полноценной нормативной базы, включая закон о «системах аварийного накопления энергии»;

— Создание экономических стимулов – «зеленых» тарифов, налоговых каникул и ускоренной амортизации;

— Развитие отечественного производства компонентов (рост доли российских составляющих с 15% до 65%);

— Интеграция с дружественными странами по линии технологического сотрудничества и экспорта решений.

Главное отличие от базового прогноза – не просто количественный рост показателей, а качественное преобразование всей архитектуры энергосистемы, где накопители станут ее органичной частью, обеспечивая беспрецедентную надежность, эффективность и гибкость. Это откроет новые возможности для экспорта российских технологий, особенно в странах БРИКС, где могут быть востребованы наши разработки в области гравитационных накопителей и РСМ-материалов (материалы с изменением фазы из твердого состояния в расплав).

Таблица 3. Тепловая карта негативного сценария развития СНЭЭ в РФ с учетом критериев влияния на готовность внедрения технологии для различных системных функций

Table 3. Heat map of the negative development scenario for electrical energy storage systems in the Russian Federation, considering criteria influencing technology adoption readiness for various system functions

Форма или вид аккумулируемой энергии	Наименование и обозначение технологии аккумулирования энергии	Критерии влияния исходя из условий прогнозирования							
		1. Технологическая составляющая					2. Экологическое воздействие	3. Стоимость энергии	4. Политическая и правовая готовность
		1.1. КПД	1.2. Саморазряд	1.3. Срок службы	1.4. Энергоемкость	1.5. Длительность заряда			
Функция СНЭЭ		<i>I. Перераспределение потребления с пиковых на непиковые часы</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	3	2	4	3	4	3	4	4
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	3	3	3	2	3	2	3	2
Механические	GS (гравитационные)	2	2	3	2	3	4	3	3
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	2	4	2	2	3	1	3	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	4	4	3	4	4	3	5	4
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	4	2	4	1	4	3	1	1
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	2	3	3	2	2	4	2	2
Тепловые	PCM (материалы с фазовым переходом)	3	3	3	3	3	3	3	2
Функция СНЭЭ		<i>II. Регулирование пиковых нагрузок</i>							
Механические	GS (гравитационные)	2	3	3	2	3	4	3	3
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	2	4	2	2	3	1	3	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	4	4	3	4	4	3	5	4
Электрохимические	RZnFe, RV, RZnBr (проточные накопители)	3	4	4	3	3	3	4	2

Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	2	3	3	2	2	4	2	2
Тепловые	PCM (материалы с фазовым переходом)	3	3	3	3	3	3	3	2
Функция СНЭЭ		<i>I. Ценовой арбитраж</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	2	3	3	4	5	3	4	4
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	1	4	2	3	4	2	3	2
Механические	GS (гравитационные)	3	4	2	3	3	2	4	3
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	1	2	4	2	1	1	1	1
Функция СНЭЭ		<i>II. Первичное регулирование частоты и поддержание напряжения</i>							
Механические	KES (кинетические накопители)	3	4	3	3	3	3	3	3
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	1	4	2	2	3	2	4	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	4	4	4	3	4	3	5	4
Электрохимические	SC (суперконденсаторы)	4	5	4	4	3	2	4	1
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	4	4	4	4	4	1	2	1
Функция СНЭЭ		<i>III. Вторичное регулирование частоты</i>							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	3	3	4	3	3	3	4	4
Механические	GS (гравитационные)	2	3	3	2	2	2	3	3
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	2	4	2	2	3	3	4	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	4	3	4	4	4	4	5	4
Магнитные	SMES (сверхпроводящий накопитель)	4	4	3	4	1	1	5	2

Функция СНЭЭ		I. Третичное регулирование частоты							
Механические	PHS, PHES (гидроаккумулирующие)	3	4	4	2	4	3	5	4
Механические	CAES, ACAES, LAES (пневмоаккумуляция)	2	4	3	3	3	2	4	1
Механические	GS (гравитационные)	2	4	3	1	2	3	4	3
Электрохимические	LAB (свинцово-кислотные)	2	4	2	2	4	3	3	3
Электрохимические	LIB (ЛИА): LFP, NMC, NCA, LMO, LTO, LCO (литий-ионные)	4	3	4	3	5	4	4	4
Электрохимические	RZnFe, RV, RZnBr (проточные накопители)	3	5	3	2	3	3	5	1
Тепловые	STES (накопитель энергии на тепловой энергии без фазового перехода)	2	4	3	1	3	3	4	2

Негативный сценарий

Негативный сценарий развития систем накопления энергии характеризуется рядом серьезных проблем и ограничений. Основным фактором, сдерживающим развитие отрасли, является недостаток финансирования и инвестиций. Отсутствие налоговых льгот и государственных субсидий существенно затрудняет внедрение новых технологий и модернизацию существующих систем [19].

Технологическая инфраструктура в рамках негативного сценария развивается крайне медленно. Проблемы с законодательным регулированием создают дополнительные препятствия для внедрения систем накопления энергии. Высокие инвестиционные затраты и возможные технологические отставания могут привести к серьезным последствиям, включая риски безопасности эксплуатации и сложности с подготовкой квалифицированных специалистов.

Краткие выводы негативного прогнозного анализа

Выводы сделаны на основе Таблица 3 – «Тепловая карта негативного изменения в базовом сценарии развития СНЭЭ в РФ с учетом критериев влияния на готовность внедрения технологии для различных системных функций».

Перераспределение потребления с пиковых на непиковые часы

В негативном сценарии технологии для перераспределения энергии демонстрируют снижение показателей из-за недостатка инвестиций (3) и устаревания инфраструктуры (4). Гидроаккумулирующие станции останутся стабильными, но их КПД снизится за счет отсутствия средств на модернизацию и поддержку работы (3). Литий-ионные аккумуляторы сохраняют лидерство, но их высокая стоимость (3) и зависимость от импорта станут критическими (4) ввиду отсутствия развития технологий импортозамещения. Тепловые накопители и пневмоаккумуляция потеряют привлекательность из-за низкой эффективности (1) и экологических проблем (2).

Регулирование пиковых нагрузок

Литий-ионные аккумуляторы останутся наиболее эффективными, но их высокая стоимость (3) и зависимость от импорта создадут риски (4). Проточные накопители не получат достаточного развития из-за дороговизны (3). Гравитационные системы и тепловые накопители демонстрируют низкую эффективность (1), что делает их малоприменимыми для оперативного регулирования [20].

Ценовой арбитраж

В негативном сценарии становится менее рентабельным, так как гидроаккумулирующие станции сохраняют потенциал, но срок их окупаемости увеличится (3). Пневмоаккумуляция и гравитационные системы теряют привлекательность из-за низкой эффективности (1). Магнитные технологии накопления останутся экспериментальными из-за высокой стоимости и отсутствия финансирования (3).

Первичное регулирование частоты и поддержание напряжения

Литий-ионные аккумуляторы и суперконденсаторы останутся оптимальными, но их высокая стоимость (3) ограничивает масштабы внедрения. Кинетические накопители не получают развития из-за дороговизны (3) и технических сложностей (1).

Вторичное регулирование частоты

Гидроаккумулирующие станции по причине отсутствия финансирования (3) и развития научной базы исчерпают резервы установленной мощности. Существующие литий-ионные аккумуляторы потеряют емкость при частых циклах без должной модернизации, что увеличит эксплуатационные расходы (3). Проточные аккумуляторы не будут масштабированы из-за высокой стоимости (3).

Третичное регулирование частоты

По причине отсутствия стандартов (4) и высокой стоимости материалов (3) тепловые накопители будут ограничены в применении и развитии как технология накопления. Малые ГАЭС столкнутся с нехваткой инвестиций (3), что будет препятствовать их строительству в изолированных энергосистемах [21].

Формирование общих тенденций и рекомендаций исходя из негативного прогноза

Прогноз развития систем накопления энергии в России до 2035 года в рамках негативного сценария менее существенно отличается от базового варианта. Если в оптимальном развитии событий ожидалось постепенное внедрение современных технологий и рост доли рынка СНЭЭ, то при неблагоприятном стечении обстоятельств отрасль столкнется с серьезными вызовами. Основное отличие заключается в технологическом застое – вместо прогрессивных решений энергосистема будет вынуждена опираться на устаревающие технологии, что неизбежно скажется на ее гибкости и экономической эффективности [22].

Главными предпосылками «отрицательного» развития событий становятся недостаток инвестиций и слабая государственная поддержка. Без целевого финансирования НИОКР и налоговых льгот для инвесторов коммерческие проекты теряют привлекательность, особенно капиталоемкие направления, такие как внедрение проточных аккумуляторов. Это особенно критично для гидроаккумулирующих станций – сроки окупаемости проектов увеличатся с 7-10 до 12-15 лет, что сделает их коммерчески непривлекательными.

Параллельно сохраняется критическая зависимость от импорта ключевых компонентов для литий-ионных батарей, что на фоне геополитических ограничений ведет к росту стоимости и замедлению темпов внедрения. Для конечных потребителей это выльется в увеличение тарифов на балансирующие услуги на 15-20% по сравнению с базовым прогнозом. Доля литий-ионных накопителей, которая в базовом варианте должна была достичь 40% рынка, в негативном сценарии может застрять на отметке 20-25%.

Особую проблему представляет регуляторное отставание. Неадаптированная нормативная база не учитывает специфику новых технологий накопления, создавая барьеры для их интеграции в энергорынок [23]. Технологическое отставание усугубляется нехваткой квалифицированных кадров и слабой локализацией производства – отечественные предприятия не успевают освоить выпуск современных катодов, электролитов и других критически важных элементов. Отсутствие четких стандартов утилизации дополнительно увеличивает экологические риски, особенно при сохранении в эксплуатации устаревших свинцово-кислотных аккумуляторов. Из тепловой карты негативного прогноза можно заметить, что экологический аспект также вызывает серьезные опасения – без развитой инфраструктуры переработки продолжается накопление отработанных аккумуляторов, создавая долгосрочные риски для окружающей среды. Все это приводит к тому, что даже доступные технологии внедряются с запозданием, а перспективные разработки так и остаются на уровне пилотных проектов.

К 2035 году такие тенденции могут привести к ощутимым последствиям для всей энергосистемы. Снижение доли современных накопителей сделает балансировку нагрузок более затратной, особенно в регионах с развитой возобновляемой энергетикой. Упускаются возможности для экспорта перспек-

тивных технологий, таких как ванадиевые проточные аккумуляторы, где Россия теоретически могла бы занять заметную нишу на мировом рынке.

Основные драйверы ухудшения:

— Снижение государственной поддержки. Без субсидий и целевых программ (аналогичных зарубежным инициативам стран-лидеров накопителей: Германия, США, Китай) развитие СНЭЭ будет зависеть от рыночных механизмов, правовая поддержка которых отсутствует;

— Технологическая зависимость. Неспособность нарастить собственное производство ключевых компонентов (мембран для проточных аккумуляторов) приведет к росту затрат и зависимости от импорта;

— Дефицит квалифицированных кадров. Отсутствие подготовки специалистов в области новых технологий накопления замедлит внедрение даже доступных решений (отток кадров высшей квалификационной категории);

— Экологические риски. Устаревшие ЛАВ-системы и отсутствие инфраструктуры переработки ЛИБ увеличат нагрузку на экологию.

В промежутке с 2025 по 2035 год российский рынок систем накопления энергии достигнет 7 ГВт, далее возникнет снижение установленной мощности до значений менее 3 ГВт. При этом негативный сценарий не является неизбежным – своевременные меры по стимулированию отрасли, включая увеличение финансирования исследований, создание производственных мощностей и совершенствование нормативной базы могут переломить текущие тенденции. Однако окно возможностей постепенно закрывается, и без решительных действий в ближайшие годы отставание может стать необратимым, поставив под угрозу как энергетическую безопасность страны, так и ее конкурентные позиции в мире.

Выводы

Развитие систем накопления энергии в России в перспективе прогноза на 10 лет будет зависеть от сочетания технологических, экономических, регуляторных и экологических факторов. В базовом сценарии предполагается умеренный рост, основанный на постепенном внедрении технологий, таких как гидроаккумулирующие станции и литий-ионные накопители, с учетом текущих трендов и ограничений. Позитивный сценарий открывает возможности для значительного рывка за счет технологических прорывов, государственной поддержки и глубокой цифровизации, что может привести к качественному преобразованию энергосистемы. Негативный сценарий, напротив, предупреждает о рисках технологического отставания, недостатка инвестиций и регуляторных барьеров, которые могут замедлить развитие отрасли и снизить ее конкурентоспособность [24].

В совокупности прогнозы показывают, что будущее СНЭЭ в России не предопределено и будет определяться действиями в ближайшие годы. Успех зависит от своевременного финансирования, адаптации нормативной базы, развития отечественных технологий и интеграции с международными

партнерами. В случае принятия рекомендаций энергосистема страны сможет конкурировать на глобальном рынке накопителей энергии, в противном случае риски негативно скажутся на энергетической безопасности и устойчивости энергосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правительство утвердило «дорожную карту» развития высокотехнологичной области систем накопления электроэнергии до 2030 года [Электронный ресурс]. Правительство Российской Федерации. 2022. URL: <http://government.ru/news/45424/>
2. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры. Экспертно-аналитический отчет инфраструктурного центра EnergyNet. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/1b8/1b83729dd27beaeb629e380293a4585.pdf?ysclid=mbzx46uz8x643969546>
3. Analytics.Conomy. Энергетическая система России: прогноз на 2023-2028 годы. [Электронный ресурс]. URL: <https://conomy.ru/analysis/articles/1020?ysclid=lvr1xsr44f508236418>
4. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года [Электронный ресурс]. Институт энергетических исследований РАН, Аналитический центр при Правительстве РФ 2010. Режим доступа: <https://www.hse.ru/data/2014/01/23/1325658082/progn-oz-2040.pdf>
5. RenEn. Доля солнечной и ветровой генерации [Электронный ресурс]. URL: <https://renew.ru/dolya-solnechnoj-i-vetrovoj-generatsii-v-mire-dostignet-ot-54-do-72-k-2050-g-mea/>
6. KMPG. Ключевые тренды развития рынка накопителей электроэнергии до 2030 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_lclMcJmDBuNn4UQi7tQoKjNwiOJGyeR.pdf
7. Энергетическая политика. Перспективы применения литий-ионных СНЭЭ на АЭС [Электронный ресурс]. URL: <https://energypolicy.ru/perspektivy-primeneniya-litij-ionnyh-snee-na-aes/energetika/2023/11/13/>
8. Московская школа управления СКОЛКОВО. [Электронный ресурс]. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf
9. Advanced Energy. Применение систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) в медицинских учреждениях [Электронный ресурс]. URL: <https://advanced-energy.ru/news/primenenie-sistem-nakopleniya-elektricheskoy-energii-snee-v-meditsinskikh-uchrezhdeniyakh/>
10. Control Engineering. Накопители электрического заряда для электротранспорта: на пути к литий-металлическим батареям [Электронный ресурс]. URL: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/transport/nakopiteli/>
11. Проект электротехника. Накопители энергии: технологии и тренды [Электронный ресурс]. URL: <https://marketelectro.ru/node/nakopiteli-energii-tehnologii-i-trendy>
12. РТЭ. Система накопления электрической энергии ЭНБАНК [Электронный ресурс]. URL: https://rimteh.com/upload/iblock/061/7d7p4lmx02lwqi-send0fy1bslvhiwtsc/СНЭЭ_Применение.pdf
13. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года : Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р (ред. от 15.02.2025) // Собрание законодательства РФ. 2020. № 1523.
14. Россихин Д. А., Менделеев Д. А., Галимзянов Л. А. Вопросы применения и развития систем накопления электроэнергии // Развивая энергетическую повестку будущего. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2021. С. 24–29.
15. SDG&E signs contracts for 20 MW of energy storage, 18,5 VW energy efficiency [Электронный ресурс]. URL: <http://www.utilitydive.com/news/sdge-signs-contracts-for-20-mw-of-energy-storage-185-mw-energy-efficienc/416678>
16. Системный оператор единой энергетической системы. Системы хранения электроэнергии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sops.ru/functioning/markets/dr/worlds-experience/usa/dr-usa-caiso/dr-usa-caiso-6/>
17. Сатдинов И. З. Экология и энергетика. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ulspu.ru/science/proekt-crossref/arxiv/SatdinovIZ_EKOLOGI.pdf
18. Центр стратегических разработок. Цифровой переход в электроэнергетике России [Электронный ресурс]. URL: https://energiavita.ru/wp-content/uploads/2019/09/Doklad_energetika_EnergyNet.pdf
19. Vygon Consulting. Накопители энергии в России: инъекция устойчивого развития [Электронный ресурс]. URL: https://vygon-consulting.ru/upload/iblock/e44/vygon_consulting_storage.pdf
20. Энерджинет, Центр стратегических разработок. Архитектура Интернета энергии [Электронный ресурс]. URL: https://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/10/White_paper_Arhitektura_Interneta.pdf
21. Распределенная генерация: будущее энергетики или тупик? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.if24.ru/budushhee-energetiki/>
22. Перспективы развития Интернета энергии как инновационной технологии цифровой энергетики в России. [Электронный ресурс]. URL: <http://publishing-vak.ru/file/archive-economy-2022-10/b2-okorokov-timofeeva-rykhtik.pdf>
23. Трачук А. В., Линдер Н.В. Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения. Стратегические решения и

риск-менеджмент. 2018. № 1. С. 32–48. URL:
DOI: 10.17747/2078-8886-2018-1-32-48

24. Атомэнергосбыт. Системы накопления
электрической энергии [Электронный ресурс].

URL: <https://apsbt.ru/uslugi/postavka-i-dispetcherizatsiya-nakopiteley/sistemy-nakopleniya-elektricheskoy-energii-ao-atomenergopromsbyt/> – частично статистика позитивного прогноза.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Карташова Елизавета Эдуардовна, ассистент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), ORCID: 0009-0007-4302-5354, e-mail: kartashovaee@kuzstu.ru

Паскарь Иван Николаевич, старший преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), ORCID: 0000-0002-4826-4967, e-mail: pin.egpp@kuzstu.ru

Кудряшов Дмитрий Семенович, заведующий кафедрой, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, ORCID: 0000-0003-1782-3305, e-mail: kudryashovds@kuzstu.ru

Воронин Вячеслав Андреевич, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, ORCID: orcid.org/0000-0002-7242-9100, e-mail: voroninva@kuzstu.ru

Непша Федор Сергеевич, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» (650000, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, ORCID: 0000-0002-7468-2548, e-mail: nepshafs@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Карташова Елизавета Эдуардовна – сбор и анализ данных, обзор литературы, написание текста.

Паскарь Иван Николаевич – концептуализация исследования, написание текста, выводы.

Кудряшов Дмитрий Семенович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент.

Воронин Вячеслав Андреевич – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования.

Непша Федор Сергеевич – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-3-10-27

Elizaveta E. Kartashova*; **Ivan N. Paskar**; **Dmitry S. Kudryashov**; **Vyacheslav A. Voronin**; **Fedor S. Nepsha**

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: kartashovaee@kuzstu.ru

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL READINESS AND PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF ENERGY STORAGE SYSTEMS IN THE RUSSIAN FEDERATION // MINING EQUIPMENT AND ELECTROMECHANICS

Abstract.

The relevance of the research is driven by the growing role of Electricity Storage Systems (ESS) in ensuring the stability and flexibility of power systems, particularly in the context of integrating renewable energy sources. The aim of the work is to develop scenario-based forecasts for the development of ESS technologies in the Russian Federation until 2035. The methodology is based on a comparative analysis across key criteria: technological components, environmental impact, energy cost, as well as political and legal readiness. For three scenario forecasts (baseline, positive,



Article info

Received:

16 February 2026

Accepted for publication:
15 May 2026

Accepted:
15 June 2026

Keywords: energy storage systems, scenario forecast, Russian power sector, technology readiness level, energy system 2035

and negative), heat maps have been constructed to assess the readiness of various storage technologies to perform six system functions within the Russian power grid. The research results revealed differentiated development trajectories. In the baseline scenario, pumped hydro storage and lithium-ion batteries will maintain leadership with moderate market growth. The positive scenario assumes a technological breakthrough, deep digitalization, and a significant increase in the share of ESS, while the negative scenario is associated with the risks of lagging behind due to insufficient investment and regulatory barriers. The scope of the results encompasses strategic planning in the energy sector, regulatory framework development, and investment decision-making. The conclusions emphasize that the future of ESS in Russia is not predetermined and depends on timely support measures, the development of domestic technologies, and the adaptation of the regulatory environment. The article's materials are of interest to specialists in the fields of energy, public administration, and investment analysis.

For citation: Kudryashov D.S., Voronin V.A., Nepsha F.S., Paskar I.N., Kartashova E.E. Analysis of technological readiness and prospects for the implementation of energy storage systems in the Russian Federation. Mining Equipment and Electromechanics, 2026; 3(185):10-27 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-3-10-27, EDN: UOGDSG

REFERENCES

1. The Government Approved a Roadmap for the Development of High-Tech Energy Storage Systems through 2030 [Electronic Resource]. Government of the Russian Federation. 2022. URL: <http://government.ru/news/45424/>
2. Application of Energy Storage Systems in Russia: Opportunities and Barriers. Expert and Analytical Report of the EnergyNet Infrastructure Center. [Electronic Resource]. Access Mode: <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/1b8/1b83729dd27beaeb629e380293a4585.pdf?ysclid=mbzx46uz8x643969546>
3. Analytics.Conomy. Russia's Energy System: Forecast for 2023-2028. [Electronic resource]. URL: <https://conomy.ru/analysis/articles/1020?ysclid=lvr1xsr44f508236418>
4. Forecast of the development of the energy sector in the world and Russia until 2040 [Electronic resource]. Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Analytical Center under the Government of the Russian Federation. 2010. Access mode: <https://www.hse.ru/data/2014/01/23/1325658082/prognoz-2040.pdf>
5. RenEn. Share of solar and wind generation [Electronic resource]. URL: <https://renen.ru/dolya-solnechnoj-i-vetrovoj-generatsii-v-mire-dostignet-ot-54-do-72-k-2050-g-mea/>
6. KMPG. Key Trends in the Development of the Electricity Storage Market until 2030 [Electronic resource]. URL: https://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_lclMcJmDBuNn4UQi7tQoKjNwiOJGyR.pdf
7. Energy Policy. Prospects for the Use of Lithium-Ion Storage Systems at Nuclear Power Plants [Electronic resource]. URL: <https://energypolicy.ru/perspektivy-primeneniya-litij-ionnyh-snee-na-aes/energetika/2023/11/13/>
8. Moscow School of Management SKOLKOVO. [Electronic resource]. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf
9. Advanced Energy. Application of Electric Energy Storage Systems (EESS) in Medical Institutions [Electronic resource]. URL: <https://advanced-energy.ru/news/primenenie-sistem-nakopleniya-elektricheskoy-energii-snee-v-meditsinskikh-uchrezhdeniyakh/>
10. Control Engineering. Electric Charge Storage Systems for Electric Transport: Towards Lithium-Metal Batteries [Electronic resource]. URL: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/transport/nakopiteli/>
11. Proekt Elektrotehnika. Energy Storage Systems: Technologies and Trends [Electronic resource]. URL: <https://marketelectro.ru/node/nakopiteli-energii-tehnologii-i-trendy>
12. RTE. Electric energy storage system ENBANK [Electronic resource]. URL: https://rimteh.com/upload/iblock/061/7d7p4lmx02lwqi-send0fy1bslvhiwtsc/CHЭЭ_Применение.pdf
13. On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: Order of the Government of the Russian Federation of 09.06.2020 N 1523-r (as amended on 15.02.2025). *Collected Legislation of the Russian Federation*. 2020; 1523.
14. Rossikhin D.A., Mendeleev D.I., Galimzyanov L.A. Issues of application and development of electric energy storage systems. *Developing the energy agenda of the future*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin); 2021. Pp. 24-29.
15. SDG&E signs contracts for 20 MW of energy storage, 18.5 VW energy efficiency [Electronic resource]. URL: <http://www.utilitydive.com/news/sdge-signs-contracts-for-20-mw-of-energy-storage-185-mw-energy-efficienc/416678>

16. System operator of the unified energy system. Electricity Storage Systems [Electronic resource]. URL: <https://www.sops.ru/functioning/markets/dr/worlds-experience/usa/dr-usa-caiso/dr-usa-caiso-6/>

17. Satdinov I.Z. Ecology and Energy. [Electronic resource]. URL: https://www.ulspu.ru/science/proekt-crossref/arxiv/SatdinovIZ_EKOLOGI.pdf

18. Center for Strategic Research. Digital Transition in the Russian Electric Power Industry [Electronic resource]. URL: https://energiavita.ru/wp-content/uploads/2019/09/Doklad_energetika_EnergyNet.pdf

19. Vygon Consulting. Energy Storage in Russia: An Injection of Sustainable Development [Electronic resource]. URL: https://vygon-consulting.ru/upload/iblock/e44/vygon_consulting_storage.pdf

20. EnergyNet, Center for Strategic Research. Architecture of the Internet of Energy [Electronic resource]. URL: https://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/10/White_paper_Aritektura_Interneta.pdf

21. Distributed Generation: The Future of Energy or a Dead End? [Electronic resource]. URL: <https://www.if24.ru/budushhee-energetiki/>

22. Prospects for the Development of the Internet of Energy as an Innovative Technology of Digital Energy in Russia. [Electronic resource]. URL: <http://publishing-vak.ru/file/archive-economy-2022-10/b2-okorokov-timofeeva-rykhtik.pdf>

23. Trachuk A.V., Linder N.V. Distributed generation technologies: empirical assessments of application factors. *Strategic decisions and risk management*. 2018; (1):32-48. DOI: 10.17747/2078-8886-2018-1-32-48.

24. Atomenergobyt. Electric energy storage systems [Electronic resource]. URL: <https://apsbt.ru/uslugi/postavka-i-dispetcherizatsiyakopiteley/sistemy-nakopleniya-elektricheskoy-energii-ao-atomenergopromsbyt/> – partially statistics of the positive forecast.

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Elizaveta E. Kartashova, assistant, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Kemerovo Region – Kuzbass, Kemerovo, st. Vesennaya, 28), ORCID: 0009-0007-4302-5354, e-mail: kartashovae@kuzstu.ru

Ivan N. Paskar, senior lecturer, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Kemerovo Region – Kuzbass, Kemerovo, Vesennaya St., 28), ORCID: 0000-0002-4826-4967, e-mail: pin.egpp@kuzstu.ru

Dmitry S. Kudryashov, head of department, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Kemerovo Region – Kuzbass, Kemerovo, Vesennaya Street, 28), Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0003-1782-3305, e-mail: kudryashovds@kuzstu.ru

Vyacheslav A. Voronin, associate professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Kemerovo Region – Kuzbass, Kemerovo, Vesennaya Street, 28), Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-7242-9100, e-mail: voroninva@kuzstu.ru

Fedor S. Nepsha, senior researcher, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Kemerovo Region – Kuzbass, Kemerovo, Vesennaya Street, 28), Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-7468-2548, e-mail: nepshafs@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Elizaveta E. Kartashova – data collection and analysis, literature review, writing.

Ivan N. Paskar – study conceptualization, writing, conclusions.

Dmitry S. Kudryashov – research problem formulation, scientific management.

Vyacheslav A. Voronin – literature review, study conceptualization.

Fedor S. Nepsha – literature review, study conceptualization.

Authors have read and approved the final manuscript.

