

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

Попов Алексей Владимирович

аспирант,

МГУ имени М.В. Ломоносова, экономический факультет

(г. Москва, Россия)

Кудрявцева Ольга Владимировна

доктор экономических наук, профессор

МГУ имени М.В. Ломоносова, экономический факультет,

(г. Москва, Россия)

Аннотация

Актуальность статьи продиктована наличием существенной доли территории России без подключения к единой энергетической системе и, как следствие, существованием высоких тарифов на выработку и покупку электроэнергии. Выработка электроэнергии на таких территориях, осуществляемая на автономных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), характеризуется высокой стоимостью сырья, загрязнением окружающей среды, невозможностью запасти излишки выработанной электроэнергии. Целью данной статьи является оценка эколого-экономических эффектов использования систем накопления энергии (СНЭ) на автономных ТЭЦ для решения указанных проблем. В первой части статьи раскрываются основы тарифной политики по выработке, потреблению электроэнергии на территориях, не подключенных к единой энергетической системе, а также перспективы применения СНЭ. Во второй части статьи дана оценка эффектов применения СНЭ на автономных ТЭЦ в типичном поселке Сахалинской области.

Ключевые слова: ТЭЦ, СНЭ, изолированные территории, парниковые газы, устойчивое развитие.

JEL коды: Q200.

Для цитирования: Попов А.В., Кудрявцева О.В. Эколого-экономические эффекты систем накопления энергии для удаленных территорий России // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2025. Том 17. Выпуск 3. С. 227-243. DOI: 10.38050/2078-3809-2025-17-3-227-243.

Введение

Обширные территории России с низкой плотностью населения сталкиваются с уникальным набором вызовов, требующих комплексного подхода, сочетающего экологическую ответственность, технологический суверенитет, энергетическую безопасность и повышение благополучия местных жителей. В Указе «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» впервые одной из них стала цель «экологическое благополучие» (Указ..., 2024). Вместе с тем, численность населения, проживающего в неблагоприятных экологических условиях (в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха) возросла за период 2018–2022 гг. с 13,4% до 49%. Также энергетическая эффективность в стране практически не увеличивалась за последние 15 лет, что не способствует модернизации энергетической системы (Бобылев и др., 2025).

Экологические проблемы в удаленных регионах приводят к загрязнению земель, вод и воздуха, нарушению ареалов диких животных, деградации лесов и территорий вечной мерзлоты. Технологический суверенитет становится ключевым фактором для реализации национальных целей развития и приближения к устойчивому развитию на малозаселенных территориях. Необходимы инновационные решения, адаптированные к подобным специфическим условиям: экологически чистые технологии добычи и переработки природных ресурсов, автономные системы энергоснабжения с минимальным загрязнением окружающей среды и доступными для населения тарифами, эффективные системы утилизации отходов и мониторинга состояния окружающей среды.

Характерной чертой регионов России, обладающих низкой плотностью населения, является отсутствие централизованного энергоснабжения. Соединять такие регионы с ближайшими электрогенерирующими станциями линиями электропередач либо нерентабельно, либо технически нереализуемо. Так, в России на настоящий момент доля территорий, не подключенных к единой энергетической системе, составляет 60–65% (Елистратов, 2016). Как правило, такие территории входят в состав неценовых и технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем (рис. 1), где по технологическим причинам организация рыночных отношений пока невозможна, и реализация электроэнергии осуществляется по особым правилам.



Рисунок 1. Территории ценовых зон рынка электроэнергии, для которых устанавливаются особенности функционирования¹

Проблема надежного и качественного обеспечения электроэнергией является особо острой как в социальном, так и экономическом аспекте для изолированных и труднодоступных территорий ввиду удаленности этих территорий и связанными с этим высокими удельными затратами на генерацию электроэнергии. Потенциальный список регионов, имеющих большое число изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию, определяется двумя постановлениями Правительства РФ: «Об утверждении Перечня районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции)» от 23 мая 2000 г. № 402 и «О внесении изменений в перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции)» от 6 декабря 2016 г. № 1305 (Башмаков, 2017).

Ниже представлены усредненные данные по десяти субъектам РФ с наибольшими удельными затратами на выработку электроэнергии. Как видно из табл. 1, значительные удельные затраты приходятся на Республику Саха и Камчатский край – 42,7 р./кВт·ч и 35,0 р./кВт·ч соответственно. Такие значения связаны с высокими удельными затратами на энергоресурсы и прочими факторами, связанными с географическим расположением указанных субъектов. Для сравнения: удельные расходы на выработку электроэнергии в европейской части России составляют 2,7–4,2 р./кВт·ч².

¹ Официальный сайт «НП Совет рынка»: URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (дата обращения: 29.09.2025).

² URL: https://actek.group/russian_electric_power_industry/ (дата обращения: 17.01.2025).

Таблица 1

Характеристика субъектов РФ с наибольшими удельными затратами на выработку электроэнергии

Субъект Российской Федерации	Удельные расходы на выработку электроэнергии, р./кВт·ч	Удельные расходы на энергоресурсы, р./кВт·ч	Субсидии на компенсацию выпадающих доходов, р./кВт·ч
Республика Саха	42,7	17	30
Камчатский край	35,0	12	19
Красноярский край	23,9	14	14
Ямало-Ненецкий АО	22,3	12	12
Хабаровский край	20,3	17	8
Архангельская обл.	18,9	12	12
Сахалинская область	13,7	11	11
Ненецкий АО	32,0	13	15
ХМАО – Югра	23,5	10	11
Иркутская область	18,4	13	9

Источник: составлено авторами на основе (Объекты генерации..., 2020).

Цена на электроэнергию является социально значимым благом и драйвером экономического развития, поскольку напрямую влияет на уровень жизни населения, конкурентоспособность предприятий и инвестиционную привлекательность территорий и определяет доступность базовых услуг, издержки производства, темпы внедрения инноваций, которые способствуют формированию устойчивой энергетической системы.

Немаловажным механизмом обеспечения доступности электроэнергии для населения является государственное субсидирование разницы между экономически обоснованным и устанавливаемым производителям электроэнергии тарифом на компенсацию выпадающих доходов. Можно говорить, что размер субсидии на выработку 1кВт·ч электроэнергии прямо пропорционален удельным затратам (табл. 1).

Электричество для территорий, не подключенных к центральному энергоснабжению, вырабатывается в основном на автономных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), которые в качестве сырья используют ископаемое топливо. Помимо преимуществ, таких как низкая стоимость установки и эксплуатации и быстрый запуск, автономные ТЭЦ имеют ряд существенных недостатков. Среди них высокая стоимость сырья, загрязнение окружающей среды, невозможность запастись излишки выработанной электроэнергии (Жуков, Михеев, 2017). Одним из возможных решений проблем, связанных с эксплуатацией автономных ТЭЦ, является их совместное использование с системами накопления энергии (СНЭ).

1. Обзор литературы

СНЭ представляют собой комплексное, интегрированное решение по накоплению электрической энергии и ее дальнейшему использованию. Принцип работы накопителей энергии в различных типах электроэнергетических систем заключается в следующем: в момент снижения нагрузки на сеть накопитель заряжается, а именно, накапливает энергию в резервы, а в момент максимальной нагрузки, наоборот, отдает зарезервированную энергию из накопителя (Дзедик, Усачева, 2023).

Рост интереса к СНЭ начался в конце 1970-х гг., что соответствовало аналогичным процессам в мировом научно-техническом сообществе. За последние десятилетия ряд наиболее эффективных технологий накопления и хранения энергии прошли путь от лабораторных экспериментов до образцов для практического применения в энергетике. Вместе с этим существенно снизилась стоимость основных компонентов СНЭ, что привело к повышению рентабельности проектов (Зырянов, Коротков, 2020; Кудрявцева, Попов, 2025). В настоящее время отечественные научные и промышленные предприятия ведут активную деятельность по разработке и производству СНЭ и компонентов к ним. Так, например, Росатом к осени 2025 г. планирует открыть в Калининградской области предприятие по производству СНЭ (Кудрявцева, Попов, 2024).

Принимая во внимание растущие потребности в энергетических мощностях, можно сказать, что развитие систем накопления электроэнергии представляется одним из наиболее перспективных направлений в энергетике и шагом на пути к достижению устойчивого развития. Реализация проектов в области СНЭ позволила бы не только снизить зависимость от ископаемых видов топлива и обеспечить стабильное электроснабжение потребителей, но и уменьшить углеродный след, образующийся при производстве электроэнергии.

В последние годы СНЭ привлекают все больше внимания в качестве перспективных решений для устойчивого энергетического будущего. Исследования показывают, что, несмотря на высокие начальные инвестиции, использование СНЭ может принести значительные экономические и экологические выгоды. Например, одним из перспективных направлений применения СНЭ является их совместное использование с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) для интеграции последних в энергетическую инфраструктуру. Авторы работы «Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development» (Algarni, Tirth, 2023) приходят к выводу, что ВИЭ оказывают значительное и многогранное влияние на устойчивое развитие, охватывая его экономические, социальные и экологические аспекты. Не подлежит сомнению, что их вклад сложно переоценить в контексте глобальных вызовов, связанных с изменением климата, энергетической безопасностью и доступом к энергии, которая считается ключевым фактором в создании всевозможных экономических благ. Однако возможность достижения устойчивого развития благодаря использованию возобновляемых источников энергии ставится под сомнение ввиду нестабильной генерации электроэнергии от таких источников, поскольку они находятся в сильной зависимости от погодных условий. Данная проблема решается путем совместного использования ВИЭ и СНЭ и, как следствие, созданием необходимого объема резервной электроэнергии. Так, согласно оценке Международного энергетического агентства (IEA), установленная мировая мощность СНЭ к 2050 г. составит от 50 до 90 ГВт в зависимости от предполагаемого увеличения выработки электроэнергии на ветровых электростанциях на 15–30% (Grigorios, Garyfallos, 2016).

В контексте устойчивого развития необходимо отметить влияние СНЭ на изменение климата. Оно является преимущественно положительным, поскольку СНЭ играют ключевую роль в снижении выбросов парниковых газов и переходе к более устойчивой энергетической системе. На настоящий момент выбросы от топливно-энергетического комплекса обуславливают примерно 15–20% дополнительной смертности населения, связанной с загрязнением атмосферного воздуха (Ревич, 2010). Однако, как и любая технология, СНЭ также имеют потенциальные негативные воздействия, которые необходимо учитывать и минимизировать (Jafari,

Botterud, 2022). Что касается инфраструктуры для развития СНЭ и их срока службы, то результаты работ (Oliveira, Messagie, 2015; Murajda, Filip, 2024) показывают, что аккумуляторные системы накопления электроэнергии оказывают более сильное воздействие на окружающую среду, чем механические, из-за меньшего количества циклов работы, срока службы, наличия в конструкции тяжелых металлов и других токсичных веществ.

Одной из самых перспективных и быстрорастущих сфер применения СНЭ является электротранспорт. Исследование «Оценка конкурентоспособности российского электромобиля как обоснование необходимости стимулирования рынка электромобилей в России» (Барбошкина, Кудрявцева, 2023) показывает, что при условии наличия мер государственной поддержки совокупная стоимость пятилетнего владения электромобилем марки «Evolute i-Pro» ниже аналогичной стоимости близкого по техническим характеристикам бензинового автомобиля марки «Lada Vesta Sport» на 342,7 тыс. р.

Открывающиеся перспективы для систем накопления электроэнергии (СНЭ) – от повышения надежности энергоснабжения до интеграции возобновляемых источников и оптимизации энергопотребления – создают благоприятную среду для активного развития компаний, специализирующихся на разработке, производстве и внедрении этих систем. В свою очередь, именно компании–производители СНЭ являются ключевыми драйверами прогресса в этой области, предлагая инновационные решения и технологии, необходимые для реализации потенциала СНЭ в различных секторах экономики. Среди лидеров рынка по производству отечественных накопителей энергии можно выделить следующие компании:

- 1) группа компаний «ИнЭнерджи» разрабатывает и производит электрохимические генераторы на топливных элементах, системы накопления энергии, а также решения на их основе;
- 2) «Хевел» является одним из крупнейших производителей солнечных панелей, активно развивает направление СНЭ для солнечной генерации и автономного энергоснабжения;
- 3) «РЭНЕРА» (дивизион Росатома) ориентирована на производство литий-ионных аккумуляторов и систем накопления энергии на их основе, а именно тяговые аккумуляторы для электротранспорта, СНЭ и источники бесперебойного питания (ИБП) для энергетики и предприятий.

Перспективы производства СНЭ в России выглядят достаточно многообещающими, что обусловлено следующими факторами ³:

- *Государственная поддержка.* Правительство активно поддерживает развитие возобновляемой энергетики и СНЭ, что выражается в реализации соответствующих целевых программ, предоставлении участникам рынка субсидий и налоговых льгот.
- *Растущий спрос на СНЭ.* Спрос на СНЭ увеличивается как со стороны крупных энергетических компаний, так и со стороны промышленных предприятий и частных потребителей. Это связано с развитием возобновляемой энергетики, необходимостью повышения надежности энергоснабжения и снижения затрат на электроэнергию.

³ URL: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/e04/3xtn87iv99x76b23c6wjul3as5pzz8zj.pdf> (дата обращения: 17.12.2024).

- *Развитие отечественной ресурсной базы.* В России предпринимаются усилия по развитию собственной ресурсной базы для производства СНЭ, что позволит снизить зависимость от импорта и повысить конкурентоспособность отечественных производителей.

- *Экспортный потенциал.* Развитие производства СНЭ в России позволит не только удовлетворить внутренний спрос, но и выйти на международные рынки с конкурентоспособной продукцией.

Применение СНЭ открывает для российской экономики существенные перспективы: совокупный эффект (за вычетом инвестиций в установку СНЭ) составит на горизонте 2025–2035 гг. до 10 млрд долл. США в год⁴. Эффекты будут достигнуты за счет формирования российского промышленного потенциала и выхода российских компаний на экспортные поставки СНЭ, повышения системной эффективности электроэнергетики в России и сдерживания роста цен на электроэнергию и мощность, повышения эффективности электроснабжения потребителей с высокими и особыми требованиями к автономности, доступности, надежности, мобильности и качеству электроэнергии (Добровольский и др., 2017).

На настоящий момент нет точной информации о примерах использования СНЭ на автономных ТЭЦ как в России, так и за рубежом. Это можно объяснить рядом факторов, включая коммерческую тайну, относительно небольшое количество реализованных проектов, сосредоточенность на демонстрационных и пилотных установках. Один из самых успешных проектов по аккумулированию электроэнергии в России реализован на Загорской гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС). Уникальность станции заключается в том, что она способна не только производить, но и аккумулировать электроэнергию. Ночью, когда спрос на электроэнергию падает, гидроагрегаты ГАЭС работают как насосы, перекачивая воду из нижнего бассейна станции в верхний, тем самым забирая излишки из энергосистемы. В часы максимальных нагрузок вода через гидроагрегаты сбрасывается обратно, обеспечивая дополнительную выработку электроэнергии. В строгом смысле Загорская ГАЭС не имеет установленных промышленных систем накопления электроэнергии в виде больших аккумуляторных батарей. Станция сама по себе и есть крупномасштабная система накопления энергии.

2. Результаты

Для оценки экономической эффективности применения СНЭ на автономных ТЭЦ был рассмотрен типичный поселок, расположенный в Сахалинской области и потребляющий ежедневно 50 МВт·ч электроэнергии от автономной ТЭЦ, работающей на дизельном топливе (рис. 2).



Рисунок 2. Формирование цены покупки 1 кВт·ч электроэнергии^{5,6}

⁴ Доклад Минэнерго РФ: URL: <https://minenergo.gov.ru/node/9013> (дата обращения: 24.11.2024).

⁵ URL: https://ac.gov.ru/uploads/2Publications/analitika/%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%B2_%D0%98%D0%A2%D0%A2.pdf?ysclid=m7bqnuw0am638993531 (дата обращения: 25.12.2024).

⁶ URL: <https://docs.cntd.ru/document/407057051> (дата обращения: 05.12.2024).

Входные данные для оценки экономической эффективности

Параметр	Значение	Единица измерения
Количество ежесуточной отпускаемой электроэнергии от ТЭЦ	57,4	МВт·ч
Доля неиспользуемой выработанной электроэнергии за вычетом потерь ⁷	8	%
Удельный расход топлива на генерацию электроэнергии ⁵	406	грамм топлива /кВт·ч
Емкость СНЭ	4	МВт·ч

Источник: составлено авторами.

Определим экономические эффекты от применения СНЭ на автономных ТЭЦ. Данные эффекты будут достигаться благодаря накоплению выработанной, но неиспользуемой электроэнергии и, как следствие, снижению потребления дизельного топлива (дизеля), используемого в качестве энергоресурса для ТЭЦ. Здесь и далее для простоты расчетов будем принимать, что доля неиспользуемой выработанной электроэнергии от суток к суткам не меняется и равняется 8% за вычетом потерь. Подробные расчеты с пояснениями приведены в приложении 1.

В данном примере ежесуточный объем вырабатываемой, но неиспользуемой электроэнергии составляет 4,6 МВт·ч. При таких значениях ежесуточная экономия дизельного топлива (в рублях) за счет использования СНЭ равняется 42 тыс. р. Для рассчитанной доли сэкономленных затрат в размере 5,2% цена покупки электроэнергии снижается на 11,6%. При данном уровне снижения стоимости покупки электроэнергии поселок будет экономить ежегодно 15,3 млн р.

Оценивая эффективность использования СНЭ на автономных ТЭЦ, необходимо обратить внимание на уменьшение вреда окружающей среде ввиду снижения количества выбросов парниковых газов в атмосферу. Так, при помощи использования СНЭ удастся снизить ежесуточное количество выбросов диоксида углерода (CO₂) на 5,1 т. Если переводить объем выброшенного в атмосферу CO₂ в рубли согласно методике Сахалинского эксперимента⁸, когда в случае превышения квоты на выбросы парниковых газов компания выплачивает 1 тыс. р. за каждую лишнюю тонну CO₂-эквивалента, то можно сказать, что генерирующая компания ежесуточно на одной ТЭЦ будет экономить от 1 до 3 тыс. р., а в годовом выражении в среднем в размере 730 тыс. р.

Продолжая оценивать экологические эффекты использования СНЭ на ТЭЦ, нельзя не сказать про снижение выбросов взвешенных частиц, которые наносят колоссальный ущерб здоровью населения, вызывая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, а также

⁷ Доклад Министерства экономического развития РФ: URL: https://economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy_efficiency_2022.pdf (дата обращения: 12.11.2024)

⁸ Постановление Государственной Думы РФ: URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=12&nd=602663062&bpa=cd00000&bpas=cd00000&intelsearch=%D3%CA++ (дата обращения: 17.01.2025).

преждевременную смертность. Важно дать оценку снижению нагрузки на систему здравоохранения от ущерба, вызванного выбросами взвешенных частиц диаметром менее 2,5 мкм (PM_{2,5}). Снижение будет достигаться за счет ввода в эксплуатацию СНЭ и, как следствие, уменьшения загрязнения атмосферного воздуха. Ежегодное снижение количества выбросов PM_{2,5} составляет 659 кг. Предполагая линейную зависимость между объемами выбросов PM_{2,5} и затратами на лечение болезней, вызванных загрязнением воздуха, оценка показывает, что внедрение СНЭ снизит нагрузку на здравоохранение на 8% (подробные расчеты приведены в приложении 1).

Теперь рассмотрим инвестиционную привлекательность установки СНЭ на автономную ТЭЦ. С учетом рыночной стоимости СНЭ емкостью 4 МВт·ч, составляющей около 22 млн р., и ежегодных затрат на эксплуатацию в размере 950 тыс. р.⁹ инвестиции в СНЭ со стороны владельцев компаний–генераторов электроэнергии могут показаться не самыми выгодными особенно в отсутствии мер государственной поддержки. Для расчета экономической эффективности инвестиций в проект по эксплуатации СНЭ воспользуемся чистой приведенной стоимостью NPV (формула и расчеты приведены в приложении 1).

Определим на горизонте пяти лет стоимость будущих денежных поступлений от использования СНЭ с учетом ставки дисконтирования, равной 10% (табл. 3).

Таблица 3

Расчетные значения NPV

Показатель \ n	1	2	3	4	5
NPV, тыс. Р	-8 264	4 224	15 576	25 897	35 279
A – B, тыс. Р	15 110	15 110	15 110	15 110	15 110

Источник: составлено авторами.

Как видно из таблицы 3, на четвертый год эксплуатации СНЭ генерирующая компания окупит первоначальные инвестиции в размере 22 млн р. и затраты на эксплуатацию и будет получать устойчивую прибыль. Данную прибыль владельцы ТЭЦ могут использовать для снижения цены покупки электроэнергии для повышения конкурентоспособности.

Существенным недостатком, перекрывающим экономические эффекты от использования СНЭ, является ограниченная функциональность СНЭ в условиях Крайнего Севера. Данный недостаток нивелируется путем увеличения инвестиций в НИОКР в рамках мероприятий по обеспечению технологического суверенитета. Правительство уже начало работу в этом направлении. Так, в декабре 2024 г. была утверждена Стратегия пространственного развития страны до 2030 г. с прогнозом до 2036 г. По инициативе Минпромторга России в стратегии в качестве одного из приоритетов пространственного развития Российской Федерации в части энергетики определено развитие современной энергетической инфраструктуры с применением систем накопления энергии и возобновляемых источников энергии, в том числе на удаленных и изолированных территориях. Выполнение этой задачи будет способствовать увеличению спроса на отечественные решения в сфере накопления энергии.

⁹ URL: <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/1b8/1b83729ddd27beacb629e380293a4585.pdf> (дата обращения: 17.01.2025).

Выводы

Проблема надежного и качественного обеспечения электроэнергией является актуальной для России, особенно для ее изолированных и труднодоступных территорий. Электроэнергия для таких территорий вырабатывается в основном на автономных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). Помимо многочисленных преимуществ, автономные ТЭЦ имеют ряд существенных недостатков, таких как высокая стоимость сырья, загрязнение окружающей среды, невозможность запастись излишки выработанной электроэнергии. Одним из возможных решений проблем, связанных с эксплуатацией автономных ТЭЦ, является их совместное использование с системами накопления электроэнергии (СНЭ).

В ходе работы было показано, что проект по использованию СНЭ на автономной ТЭЦ по окончании четвертого года работы полностью себя окупит и будет приносить устойчивую прибыль, которую владельцы ТЭЦ могут использовать для снижения цены покупки электроэнергии для повышения конкурентоспособности или в качестве инвестиций в устойчивое развитие территорий. Экологические эффекты выражены ежесуточным снижением на 5,1 т выбросов CO₂, ежегодным снижением выбросов PM_{2,5} на 659 кг. Снижение нагрузки на здравоохранение, достигнутое в результате положительных экологических эффектов, составляет 8%. Исходя из значений ежегодного энергопотребления от теплоэлектроцентралей Сахалинской области, которое к 2030 г. вырастет по сравнению с 2025 г. на 22% (3667 млн кВт·ч в 2030 г. против 2998 млн кВт·ч в 2025 г.)¹⁰, можно сделать вывод, что потребность в использовании систем накопления электроэнергии на автономных ТЭЦ в ближайшей перспективе будет только расти.

Список литературы

Барабошкина А.В., Кудрявцева О.В. Оценка конкурентоспособности российского электромобиля как обоснование необходимости стимулирования рынка электромобилей в России // *Russian Journal of Economics and Law*. 2023. Т. 17. № 2. С. 269–288.

Башмаков И.А. Анализ нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию // *Энергосбережение*. 2017. № 92. С. 40–45.

Бобылев С.Н., Барабошкина А.В., Курдин А.А., Яковлева Е.Ю. Национальные цели развития России и ключевые индикаторы устойчивости // *Вест. Моск. ун-та. Сер. 6. Экономика*. 2025. № 60 (1). С. 40–59. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-60-1-3>

Дзедик В.А., Усачева И.В., Моткова А.А. Анализ эффективности применения накопителей энергии в различных типах электроэнергетических систем // *Энергетическая политика*. 2023. № 3. С. 62–69.

Добровольский Ю.А., Чаусов И.С. Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития. М.: Центр стратегических разработок, 2018. 72 с.

Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016. 306 с.

¹⁰ Распоряжение Правительства РФ № 4153-р об утверждении Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. 2025. URL: <http://static.government.ru/media/files/Rwf9Akjf5FwAnustDEL2m7PEvZ26i7k3.pdf> (дата обращения: 25.02.2025)

Жуков В.В., Михеев Д.В. Оценка интегральной конкурентоспособности автономных систем энергоснабжения малой мощности по техническим, сервисным и экономическим показателям // Вестник МЭИ. 2017. № 3. С. 20–27.

Зырянов В.М., Коротков И.Ю. Системы накопления электроэнергии: российский и зарубежный опыт // Энергетическая политика. 2020. № 6. С. 76–87.

Кудрявцева О.В., Попов А.В. Устойчивое развитие в новых условиях: энергетическая составляющая // Технологический суверенитет и цифровая трансформация: материалы международной научно-технической конференции (Казань, 4 апреля 2024 г.) / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Казань: Казан. гос. энерг. Ун-т, 2024. С. 326–332.

Кудрявцева О.В., Попов А.В. Устойчивое развитие и энергетика в современных условиях // Устойчивое развитие энергетики Республики Беларусь: состояние и перспективы: сб. докл. III Междунар. науч. конф. (Минск, 1–4 окт. 2024 г.) / под ред. Т. Г. Зориной. Минск: Беларус. навука, 2025. С. 38–44.

Российская электроэнергетика: 20 лет реформ. Аналитический центр ТЭК, 2023. 28 с.

Algarni S., Tirth V. Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023. Vol. 56. P. 231–242.

Grigorios L., Garyfallos A. Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 56. P. 1044.

Jafari M., Botterud A. Decarbonizing power systems: A critical review of the role of energy storage // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. Vol. 158. P. 887–899.

Murajda T., Filip S. Ecological accumulation energy for hybrid energy systems // 8th International Hybrid Power Plants and Systems Workshop. 2024. P. 399 – 401.

Возобновляемая энергетика в России и мире // РЭА Минэнерго России. 2022: URL: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/e04/3xtm87iv99x76b23c6wjul3as5pzz8zj.pdf> (дата обращения: 17.12.2024).

Законопроект № 37939-8 «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации». 2022: URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=12&nd=602663062&bpa=cd00000&bpas=cd00000&intelsearch=%D3%CA++ (дата обращения: 17.01.2025).

Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации // Минэнерго России. 2017: URL: <https://minenergo.gov.ru/node/9013> (дата обращения: 24.11.2024).

О состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2021 году // Минэкономразвития РФ. 2022: URL: https://economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy_efficiency_2022.pdf (дата обращения: 12.11.2024).

Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России // Аналитический доклад Аналитического центра при Правительстве РФ, 2020: URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%B2_%D0%98%D0%A2%D0%A2.pdf?ysclid=m7bqnuw0am638993531 (дата обращения: 12.12.2024).

Приказ Минприроды России № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» фактор выбросов CO₂ для дизельного топлива составляет 3,149 кг CO₂ на 1 кг условного топлива. 2022: URL:

<https://carbonreg.ru/pdf/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B8%D0%B5%20%D0%9D%D0%9F%D0%90/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%A0%D0%A4%20%D0%BE%D1%82%2027.05.2022%20N%20371.pdf/> (дата обращения: 13.01.2025).

Приказ «О внесении изменений в приказ региональной энергетической комиссии Сахалинской области от 25 декабря 2023 года № 1-3.25 904/23 «Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию (мощность) для потребителей ПАО «Сахалинэнерго» на 2024 год» // Региональная энергетическая комиссия Сахалинской области, 2023: URL: <https://docs.cntd.ru/document/407057051> (дата обращения: 05.12.2024).

Распоряжение Правительства РФ № 4146-р об утверждении Стратегии пространственного развития страны. 2025 URL: <http://government.ru/docs/all/157308/> (дата обращения: 13.01.2025).

Распоряжение Правительства РФ № 4153-р об утверждении Генеральной схему размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. 2025: URL: <http://static.government.ru/media/files/Rwf9Akjf5FwAnustDEL2m7PEvZ26i7k3.pdf> (дата обращения: 25.02.2025).

Указ Президента РФ № 309 от 07.05.2024 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»: URL: <http://krem-lin.ru/events/president/news/73986> (дата обращения: 25.02.2025).

Sustainable Development

ECOLOGICAL AND ECONOMIC EFFECTS OF ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR REMOTE AREAS OF RUSSIA

Alexey V. Popov

Postgraduate Student,

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Economics

(Moscow, Russia)

Olga V. Kudryavtseva

Doctor in Economics, Professor

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Economics

(Moscow, Russia)

Abstract

The relevance of the article is dictated by the presence of a significant proportion of Russia's territory without connection to the unified energy system and, as a result, the existence of high tariffs for the generation and purchase of electricity. Electricity generation in such territories, carried out at autonomous thermal power plants, is characterized by high cost of raw materials, environmental pollution, and the inability to store excess generated electricity. The purpose of this article is to evaluate economic and ecological effects of Electric Energy Storage (EES) at autonomous thermal power plants to solve these problems. The first part of the article reveals the basics of tariff policy for the generation and consumption of electricity in territories not connected to the unified energy system, as well as the prospects for the use of Electric Energy Storage. The second part of the article provides estimates of economic and ecological effects of EES at autonomous thermal power plants in a typical village in the Sakhalin region.

Keywords: CHP, EES, isolated territories, greenhouse gases, sustainable development.

JEL: Q200.

For citation: Popov, A.V., Kudryavtseva, O.V. (2025) Ecological and Economic Effects of Energy Storage Systems for Remote Areas of Russia. Scientific Research of Faculty of Economics. Electronic Journal, vol. 17, no. 3, pp. 196-212. DOI: 10.38050/2078-3809-2025-17-3-196-212.

References

Baraboshkina A.V., Kudryavtseva O.V. Otsenka konkurentosposobnosti rossiyskogo elektromobilya kak obosnovanie neobkhodimosti stimulirovaniya rynka elektromobiley v Rossii. Russian Journal of Economics and Law. 2023. Vol. 17. No. 2. P. 269–288. (In Russ.).

Bashmakov I.A. Analiz nyneshnego polozheniya izolirovannykh sistem energosnabzheniya s vysokimi zatratami na energiyu. *Energoberezhenie*. 2017. No. 92. P. 40–45. (In Russ.).

Bobylev S.N., Baraboshkina A.V., Kurdin A.A., Yakovleva E.Yu. Natsional'nye tseli razvitiya Rossii i klyuchevye indikatory ustoychivosti. *Vest. Mosk. un-ta. Ser. 6. Ekonomika*. 2025. No. 60 (1). P. 40–59. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-60-1-3> (In Russ.).

Dzedik V.A., Usacheva I.V., Motkova A.A. Analiz effektivnosti primeneniya nakopiteley energii v razlichnykh tipakh elektroenergeticheskikh system. *Energeticheskaya politika*. 2023. No. 3. P. 62–69. (In Russ.).

Dobrovol'skiy Yu.A., Chausov I.S. Rynok sistem nakopleniya elektroenergii v Rossii: potential razvitiya. M.: Tsentr strategicheskikh razrabotok, 2018. 72 p. (In Russ.).

Elistratov V.V. *Vozobnovlyаемая энергетика*. SPb.: Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo, 2016. 306 p. (In Russ.).

Zhukov V.V., Mikheev D.V. Otsenka integral'noy konkurentosposobnosti avtonomnykh sistem energosnabzheniya maloy moshchnosti po tekhnicheskim, servisnym i ekonomicheskim pokazatelyam. *Vestnik MEI*. 2017. No. 3. P. 20–27. (In Russ.).

Zyryanov V.M., Korotkov I.Yu. Sistemy nakopleniya elektroenergii: rossiyskiy i zarubezhnyy opyt. *Energeticheskaya politika*. 2020. No. 6. P. 76–87. (In Russ.).

Kudryavtseva O.V., Popov A.V. Ustoychivoe razvitie v novykh usloviyakh: energeticheskaya sostavlyayushchaya. *Tekhnologicheskii suverenitet i tsifrovaya transformatsiya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Kazan', 4 aprelya 2024 g.) / pod obshch. red. E.Yu. Abdullazyanova*. Kazan': Kazan. gos. energ. Un-t, 2024. P. 326–332. (In Russ.).

Kudryavtseva O.V., Popov A.V. Ustoychivoe razvitie i energetika v sovremennykh usloviyakh. Ustoychivoe razvitie energetiki Respubliki Belarus': sostoyanie i perspektivy: sb. dokl. III Mezhdunar. nauch. konf. (Minsk, 1–4 okt. 2024 g.) / pod red. T. G. Zorinoy. Minsk: Belarus. navuka, 2025. P. 38–44. (In Russ.).

Rossiyskaya elektroenergetika: 20 let reform. *Analiticheskii tsentr TEK*, 2023. 28 p. (In Russ.).

Algarni S., Tirth V. Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023. Vol. 56. P. 231–242.

Grigorios L., Garyfallos A. Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 56. P. 1044.

Jafari M., Botterud A. Decarbonizing power systems: A critical review of the role of energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 158. P. 887–899.

Murajda T., Filip S. Ecological accumulation energy for hybrid energy systems. 8th International Hybrid Power Plants and Systems Workshop. 2024. P. 399 – 401.

Vozobnovlyаемая энергетика в России и мире. REA Minenergo Rossii. 2022: Available at: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/e04/3xtm87iv99x76b23c6wjul3as5pzz8zj.pdf> (accessed: 17.12.2024). (In Russ.).

Zakonoproekt № 37939-8 «O provedenii eksperimenta po ogranicheniyu vybrosov parnikovykh gazov v otdel'nykh sub"ektakh Rossiyskoy Federatsii». 2022: Available at: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=12&nd=602663062&bpa=cd00000&bpas=cd00000&intelsearch=%D3%CA++ (accessed: 17.01.2025). (In Russ.).

Kontseptsiya razvitiya rynka sistem khraneniya elektroenergii v Rossiyskoy Federatsii. Minenergo Rossii. 2017: Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/9013> (accessed: 24.11.2024). (In Russ.).

O sostoyanii energosberezheniya i povyshenii energeticheskoy effektivnosti v Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu. Minekonomrazvitiya RF. 2022: URL: https://economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy_efficiency_2022.pdf (accessed: 12.11.2024). (In Russ.).

Ob"ekty generatsii v izolirovannykh i trudnodostupnykh territoriyakh v Rossii. Analiticheskiy doklad Analiticheskogo tsentra pri Pravitel'stve RF, 2020: Available at: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/anali-tika/%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%B2_%D0%98%D0%A2%D0%A2.pdf?ysclid=m7bqnuw0am638993531 (accessed: 12.12.2024). (In Russ.).

Prikaz Minprirody Rossii № 371 «Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob"emov vybrosov parnikovyykh gazov i pogloshcheniy parnikovyykh gazov» faktor vybrosov CO2 dlya dizel'nogo topliva sostavlyayet 3,149 kg CO2 na 1 kg uslovnogo topliva. 2022: Available at: <https://carbon-reg.ru/pdf/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B8%D0%B5%20%D0%9D%D0%9F%D0%90/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%A0%D0%A4%20%D0%BE%D1%82%2027.05.2022%20N%20371.pdf/> (accessed:13.01.2025). (In Russ.).

Prikaz «O vnesenii izmeneniy v prikaz regional'noy energeticheskoy komissii Sakhalinskoy oblasti ot 25 dekabrya 2023 goda № 1-3.25 904/23 «Ob ustanovlenii tsen (tarifov) na elektricheskuyu energiyu (moshchnost') dlya potrebiteley PAO “Sakhalinenergo” na 2024 god». Regional'naya energeticheskaya komissiya Sakhalinskoy oblasti, 2023: Available at: <https://docs.cntd.ru/document/407057051> (accessed: 05.12.2024). (In Russ.).

Rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 4146-r ob utverzhdenii Strategii prostranstvennogo razvitiya strany. 2025. Available at: <http://government.ru/docs/all/157308/> (accessed: 13.01.2025).

Rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 4153-r ob utverzhdenii General'noy skhemu razmeshcheniya ob"ektov elektroenergetiki do 2042 goda. 2025: Available at: <http://static.government.ru/media/files/Rwf9Akjf5FwAnustDEL2m7PEvZ26i7k3.pdf> (accessed: 25.02.2025). (In Russ.).

Ukaz Prezidenta RF № 309 ot 07.05.2024 «O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda»: Available at: <http://krem-lin.ru/events/president/news/73986> (accessed: 25.02.2025). (In Russ.).

Приложение 1

Ежесуточный объем вырабатываемой, но при этом неиспользуемой электроэнергии получен умножением ежесуточного объема отпускаемой от ТЭЦ электроэнергии на долю неиспользованной электроэнергии:

$$57,8 \text{ МВт} \cdot \text{ч} * 0,08 = 4,6 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \quad (1)$$

Экономия дизельного топлива (в рублях) за счет использования СНЭ получена умножением удельных расходов на топливо, отнесенных к МВт·ч на объем запасаемой электроэнергии:

$$10,5 \text{ р./МВт} \cdot \text{ч} * 10^3 * 4 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 42 \text{ тыс. р.} \quad (2)$$

Доля сэкономленных затрат в общем объеме удельных затрат получена отношением (2) ко всем удельным затратам, приходящимся на 57,4 МВт·ч ежесуточно отпускаемой электроэнергии:

$$42 * 10^3 \text{ р.} * 100\% / (14 * 10^3 \text{ р./МВт} \cdot \text{ч} * 57,4 \text{ МВт} \cdot \text{ч}) = 5,2\% \quad (3)$$

Снижение цены покупки электроэнергии при сохранении текущего объема субсидирования, удельных затрат на выработку электроэнергии и полном покрытии государством затрат на установку и эксплуатацию СНЭ цена покупки электроэнергии рассчитано как отношение (2) к ежесуточной стоимости покупки электроэнергии:

$$42 * 10^3 \text{ р.} * 100\% / (6,29 * 10^3 \text{ р./МВт} \cdot \text{ч} * 57,4 \text{ МВт} \cdot \text{ч}) = 11,6\% \quad (4)$$

Ежегодная экономия поселка при снижении цены покупки электроэнергии (при сохранении ежесуточного количества отпускаемой от ТЭЦ электроэнергии, составляющей 57,4 МВт·ч) получена умножением величины текущего тарифа на ежесуточное количество отпускаемой электроэнергии, на количество дней в году и на (4):

$$6290 \text{ р./МВт} \cdot \text{ч} * 57,4 \text{ МВт} \cdot \text{ч} * 365 * 11,6\% / 100\% = 15,3 \text{ млн р.} \quad (5)$$

Ежесуточное количество невыброшенного диоксида углерода (CO₂) получено умножением количества сэкономленного топлива, отнесенное к МВт·ч, на количество запасенной электроэнергии и на фактор выбросов CO₂ для дизельного топлива¹¹:

$$406 * \text{кг/МВт} \cdot \text{ч} * 4 \text{ МВт} \cdot \text{ч} * 3,149 \text{ кг CO}_2/\text{кг топлива} = 5,1 \text{ т. CO}_2 \quad (6)$$

Количество частиц PM_{2,5} ежегодно выбрасываемое в атмосферу в отсутствие СНЭ получено умножением количества отпускаемой от ТЭЦ электроэнергии в размере 57,4 МВт на количество дней в году и на количество выбросов PM_{2,5}-частиц, приходящихся на выработку 1 КВт·ч электроэнергии¹²:

$$57,4 * 10^3 \text{ КВт} \cdot \text{ч} * 365 * 0,451 \text{ г./КВт} \cdot \text{ч} = 9449 \text{ кг. PM}_{2,5} \quad (7)$$

¹¹URL: <https://carbon-reg.ru/pdf/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B8%D0%B5%20%D0%9D%D0%9F%D0%90/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%A0%D0%A4%20%D0%BE%D1%82%2027.05.2022%20N%20371.pdf/> (дата обращения: 13.01.2025).

¹²URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/future_plan/genshema/public_discussion/2024/genschem_2042_public_disc_fin_an_13.pdf (дата обращения: 17.01.2025).

С учетом того, что СНЭ ежедневно будет аккумулировать 4 МВт*ч электроэнергии, то ежегодное количество выбрасываемых в атмосферу частиц $PM_{2,5}$:

$$(57,4 - 4) * 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч} * 365 * 0,451 \text{ г} / \text{кВт} \cdot \text{ч} = 8790 \text{ кг. } PM_{2,5} \quad (8)$$

Ежегодное снижение количества выбросов частиц $PM_{2,5}$ за счет использования СНЭ:

$$9449 \text{ кг } PM_{2,5} - 8790 \text{ кг } PM_{2,5} = 649 \text{ кг } PM_{2,5} \quad (9)$$

Из формул (7) и (8) видно, что установка СНЭ на ТЭЦ поможет сократить выбросы $PM_{2,5}$ на:

$$9449 \text{ кг } PM_{2,5} / 8790 \text{ кг } PM_{2,5} - 1 = 8\% \quad (10)$$

Формула чистой приведенной стоимости (NPV):

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{(A - B)_t}{(1 + r)^t}, \quad (11)$$

где I_0 – сумма первоначальных инвестиций в нулевом периоде; А, В – доходы и расходы компании соответственно; r – ставка дисконтирования; n – количество лет¹³.

Расходная часть (В), связанная с эксплуатацией СНЭ, составляет 950 тыс. р. ежегодно. Доходная же часть будет складываться из сэкономленных за счет использования СНЭ денежных средств на дизельное топливо (см. формулу (2)) и сэкономленных денежных средств за счет соблюдения нормативных требований по выбросам CO_2 . Таким образом, ежегодная доходная часть (А) будет составлять:

$$42 * 10^3 \text{ р.} * 365 + 730 * 10^3 \text{ р.} = 16\,060 \text{ тыс. р.} \quad (12)$$

Ежегодный поток денежных средств (А-В) будет составлять:

$$16\,060 \text{ тыс. р.} - 950 \text{ тыс. р.} = 15\,110 \text{ тыс. р.} \quad (13)$$

¹³ Ежегодные доходы и расходы (А и В соответственно) генерирующей компании будем считать постоянными.