

УДК 332.1

M.A. Liubarskaia, S.Yu. Plotnikov

STUDY OF THE EXPERIENCE OF USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN REMOTE REGIONS

The article examines the experience of developing alternative energy in remote regions. The purpose of the study is to analyze the global and Russian experience of using renewable energy sources (RES) in isolated energy systems, to identify the key advantages and barriers to implementation. Successful cases of implementing solar, wind, and geothermal energy, as well as hybrid systems, are analyzed. Particular attention is paid to the economic and environmental aspects of using RES in the absence of a centralized energy supply. Examples from the practice of foreign countries (countries of Asia, Africa, Europe and North America) and Russian regions (Kamchatka) are given.

Keywords: alternative energy, renewable energy, remote regions, hybrid energy systems, solar energy, wind energy, geothermal energy.

М.А. Любарская¹, С.Ю. Плотников²

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ОТДАЛЁННЫХ РЕГИОНАХ

В статье рассматривается опыт развития альтернативной энергетики в отдалённых регионах. Цель исследования – проанализировать мировой и российский опыт использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в изолированных энергосистемах, выявить ключевые преимущества и барьеры их внедрения. Анализируются успешные кейсы внедрения солнечной, ветровой и геотермальной энергетики, а также гибридных систем. Особое внимание уделено экономическим и экологическим аспектам применения ВИЭ в условиях отсутствия централизованного энергоснабжения. Приводятся примеры из практики зарубежных стран (страны Азии, Африки, Европы и Северной Америки) и российских регионов (Камчатка).

Ключевые слова: альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии, отдалённые регионы, гибридные энергосистемы, солнечная энергетика, геотермальная энергетика, ветроэнергетика.

DOI: 10.36807/2411-7269-2025-3-42-62-67

Вопросам устойчивого развития систем энергообеспечения различных регионов уделяется в современном мире повышенное внимание. Действительно, большинство процессов как в сфере производства, так и в сфере потребления связано с использованием энергии. Правительства и межправительственные организации прилагают усилия к тому, чтобы обеспечить равный доступ населения планеты к "недорогостоящим, надёжным, устойчивым и современным источникам энергии" [1]. В силу наличия как объективных, так и субъективных причин достижение этой цели устойчивого развития пока представляется возможным только в долгосрочной перспективе и только при наличии координированных совместных действий представителей национальных и региональных органов власти, бизнеса и научных институтов.

Отдалённые регионы, не подключённые к единой энергосистеме, сталкиваются с проблемами дороговизны и ненадёжности энергоснабжения. Традиционно такие территории зависят от дизельных генераторов, что сопряжено с высокими затратами на топливо и негативным воздействием на окружающую среду. В этой связи альтернативные источники энергии становятся перспективным направлением теоретических разработок и прак-

¹ Любарская М.А., профессор кафедры экономики, доктор экономических наук, профессор; Автономная некоммерческая организация высшего образования "Российский новый университет", г. Москва

Liubarskaia M.A., Professor of the Department of Economics, Doctor of Economics, Professor; Autonomous Non-Profit Organization of Higher Education "Russian New University", Moscow

E-mail: liubarskaya@mail.ru

² Плотников С.Ю., аспирант; Автономная некоммерческая организация высшего образования "Российский новый университет", г. Москва

Plotnikov S.Yu., Postgraduate; Autonomous Non-Profit Organization of Higher Education "Russian New University", Moscow

E-mail: sema.plotnikov.9@mail.ru

тических проектов, так как соответствуют целевым установкам низкоуглеродного развития экономики [2].

Целью исследования, результаты которого отражены в данной статье, является анализ и обобщение опыта развития систем энергообеспечения удалённых потребителей в российских и зарубежных регионах, включая определение места и роли в этом процессе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), обоснование ключевых преимуществ и выявление барьеров внедрения таких источников как индивидуально, так и комбинированно. В условиях перехода к низкоуглеродной экономике и роста цен на ископаемое топливо альтернативные источники энергии становятся частью как глобальных стратегических планов, так и локальных инвестиционных проектов, элементом политики устойчивого развития территорий.

На Рис. 1 представлены примеры проектов в различных сегментах альтернативной энергетики, которые уже применяются в отдалённых регионах, как показывает анализ публикаций российских и зарубежных исследователей.



Рисунок 1 – Примеры проектов в различных сегментах альтернативной энергетики, перспективные для применения в отдалённых регионах

Солнечная энергетика широко изучается как перспективное решение проблем энергообеспечения отдалённых регионов благодаря своим характеристикам чистоты, доступности и возобновляемости. Однако применение традиционных технологий использования солнечной энергии в отдалённых регионах с холодным климатом сталкивается со значительными трудностями, такими как рассредоточенная планировка зданий и минимальный опыт как индивидуальных, так и коллективных пользователей в эксплуатации и обслуживании таких систем [3]. Жидкостные солнечные тепловые системы, использующие воду или антифриз в качестве рабочего тела, подвержены перегреву, замерзанию, утечкам и другим эксплуатационным сбоям. Поэтому малогабаритные фотоэлектрические системы рассматриваются как более адаптируемая альтернатива для отдалённых регионов с холодным климатом. Прерывистый и неконтролируемый характер работы фотоэлектрических систем часто приводит к несоответствию между спросом и предложением, поэтому модуль накопления энергии с аккумулятором интегрируется в фотоэлектрическую систему для обеспечения стабильности и надёжности сети [3].

Исследование технико-экономических характеристик гибридной системы, не подключенной к сети, проведенное в пяти различных климатических зонах Австрии, показало, что при удовлетворении потребностей в электроэнергии и тепле в жилищном секторе аккумуляторная батарея ёмкостью 52,8 кВт·ч, интегрированная с фотоэлектрической системой мощностью 41,5 кВт, может гарантировать 80% доли возобновляемой энергии [4].

В Эфиопии учёные доказали [4], что для фотоэлектрической системы мощностью 129 кВт требуется 528 кВт·ч аккумуляторов для 100% использования возобновляемых источников энергии, при этом на аккумуляторы приходится 48,79% от общей стоимости. Очевидно, что, хотя аккумуляторы значительно повышают надёжность солнечных энергетических систем, их высокая доля в общей стоимости системы представляет собой существенное препятствие для внедрения в силу экономической нецелесообразности в целом ряде проектов. Проблема усугубляется в холодных и отдалённых регионах, поскольку зависимость от высококачественного электрического хранения для удовлетворения потребностей в тепловой и электрической энергии значительно увеличивает первоначальные инвестиционные затраты и не обеспечивает долгосрочную эффективность.

Традиционные фотоэлектрические системы отопления обычно используют устройства постоянной мощности, такие как тепловые насосы, для преобразования электроэнергии в тепло. Однако отопление с постоянной мощностью приводит к преждевременному насыщению теплового аккумулятора во время пиков генерации фотоэлектриче-

ских систем, что сопровождается потерями солнечной энергии. Более того, несоответствие между колеблющейся выходной мощностью фотоэлектрических систем и фиксированной мощностью устройств вынуждает систему полагаться на аккумуляторы или электроэнергию из сети для компенсации мощности, что значительно увеличивает эксплуатационные расходы для чувствительных к затратам жителей отдалённых регионов.

Для решения этих проблем ряд современных исследователей сосредоточился на улучшении показателей эффективности энергетических систем отдалённых регионов за счёт регулирования спроса [4], [5]. В частности, стратегии управления со стороны спроса, которые повышают эффективность фотоэлектрических систем за счёт регулирования гибкости конечного использования, стали важным подходом в оптимизации энергоснабжения жилых зданий в отдалённых регионах. Эти стратегии управления в основном основаны на гибкости спроса со стороны пользователей. Результаты исследований показывают, что нужно стимулировать участие потребителей в распределении энергии, тем самым достигая целей сокращения пиковых нагрузок, снижения стоимости энергии и увеличения использования возобновляемых источников энергии.

Обратимся к примерам из Северной Америки, где уже накоплен определённый опыт перехода удалённых регионов на альтернативные источники энергии. Например, ответ на вопрос почему одни территории на Аляске развивают возобновляемые источники энергии, а другие – нет, заключается в изучении критических факторов, таких как уровень развития существующих систем энергоснабжения территории, направления государственной поддержки развития систем энергообеспечения и открытость к взаимодействию с соседними территориями для осуществления совместных проектов. Анализ публикаций [6], [7] показывает, что наличие государственной поддержки развития традиционных систем энергообеспечения значительно снижает активность разработчиков и инвесторов в сфере внедрения альтернативных источников энергии, и наоборот, наличие грантов и других форм поддержки проектов в сфере альтернативной энергетики стимулирует разработку и внедрение инновационных идей в данной сфере.

До перехода на возобновляемые источники энергии все удалённые регионы Аляски на 100% полагались на дизельное топливо для местного производства электроэнергии. Сочетание импортного топлива, сложной логистики его доставки и минимальной экономики за счёт масштаба приводило к тому, что затраты на электроэнергию в отдалённых регионах были значительно выше, чем в среднем по стране. Во многих отдалённых регионах Аляски уровень образования, доходов домохозяйств и экономических возможностей ниже, чем на национальном уровне. Геотермальная, приливная энергия и использование биомассы для производства электроэнергии не рассматриваются на Аляске, поскольку они либо технически труднореализуемы, либо являются слишком дорогостоящими. В этом североамериканском регионе за счёт сложившихся климатических условий целесообразно применение технологий ВИЭ на основе энергии ветра, а именно, гибридные ветряные электростанции. Выяснилось, что субсидии на традиционные источники энергии являются критическим препятствием для перехода к низкоуглеродной энергетике – чем выше субсидии на производство дизельной электроэнергии, тем менее конкурентоспособными становятся технологии использования возобновляемых источников энергии.

Стоит сказать о том, что инициаторы проектов на Аляске, включая правительственные структуры, сосредоточивают своё внимание на разработке краткосрочных проектов, а не на вопросах наращивания потенциала. Они также не уделяют должного внимания работе с потребителями.

Исследование С. Янга, М. Ли и Д. Зоу [8] показало возможности улучшения показателей собственного потребления и использования доли возобновляемых источников энергии до 37% и 79% соответственно за счёт оптимизации управления энергопотреблением домохозяйств. Исследователи добились повышения коэффициента самодостаточности системы на 11,2% за счёт использования гибкой нагрузки. Одним из препятствий на пути внедрения таких стратегий является то, что их реализация требует от пользователей корректировки привычек неограниченного потребления энергии при использовании регулируемых и гибких нагрузок внутри зданий.

Разработка многоуровневой структуры накопления энергии способствует поддержанию функциональности системы и снижению затрат на хранение, когда накопление тепла в первую очередь удовлетворяет потребности в отоплении помещений, а минимальное накопление энергии в аккумуляторах обеспечивает надёжное освещение. Исследователями предложена интеллектуальная стратегия управления, которая отдаёт приоритет электроснабжению в условиях низкой освещённости и оптимизирует эффек-

тивность накопления тепла в условиях высокой освещённости. Повышению эффективности энергопотребления способствует разработка маршрутизатора солнечной энергии, объединяющего функции оптимизации отслеживания точки максимальной мощности, преобразования переменного тока в постоянный и управления температурой. Маршрутизатор солнечной энергии управляет распределением электроэнергии для отопления и других энергетических нагрузок, выполняя функции оптимизации распределения для фотоэлектрической генерации.

В дополнение к приведённым на Рис. 1 видам альтернативной энергетики, следует отметить, что всё более популярным становится применение гибридных (интегрированных) систем, основанных на комбинации нескольких видов альтернативных источников энергии друг с другом, а также с дизель-генераторами и накопителями.

Как правило, отдалённые территории имеют в наличии возобновляемые источники энергии, такие как ветровая, солнечная энергия и энергия биомассы, однако текущие методы использования этой энергии страдают от низкой эффективности. Поскольку уровень жизни населения планеты в целом продолжает повышаться, существует острая необходимость в оптимизации и корректировке структуры энергетических систем отдалённых регионов. Гибридные системы обладают потенциалом для повышения эффективности использования энергии, достижения высокой надёжности, значительного сокращения выбросов углерода и эффективного решения проблем, с которыми сталкивается развитие энергетики отдалённых регионов. Типичная структура гибридных систем интегрирует фотоэлектрические, ветровые турбины и биогазовую технологию комбинированного охлаждения, отопления и электропитания с учётом коэффициента частичной нагрузки компонентов оборудования и характеристик сопряжения между различными источниками энергии. Исследование, проведённое в отдалённых сельских регионах Китая [9], продемонстрировало эффективное повышение мощности сопряжения в гибридных системах за счёт хранения энергии в аккумуляторных батареях. Активно накапливая энергию в периоды пониженной нагрузки, система хранения энергии в аккумуляторных батареях усиливает взаимодополняющие возможности фотоэлектрических систем, ветряных турбин и биоэнергетических установок. Такой подход позволяет снизить плановую мощность фотоэлектрических и ветровых компонентов в гибридных системах, одновременно увеличивая плановую мощность двигателей внутреннего сгорания, что приводит к снижению инвестиционных затрат на систему на 16,19% и 13,18% соответственно [9]. Кроме того, включение большего количества когенерации с использованием биогаза в периоды пониженной нагрузки улучшает экономические и экологические показатели системы, а также показатели экономии первичной энергии.

Исследователи Ю. Ванг, Л. Гуо, Ю. Ма, Э. Хан, Дж. Ксинг, У. Мiao и Х. Ванг [10] предлагают для китайских регионов, где существуют проблемы с генерацией энергии, особенно в сельской местности, использование децентрализованных интегрированных энергетических систем, состоящих из солнечных батарей, воздушного теплового насоса, резервуара для хранения тепла и электрического котла. В такой системе солнечная энергия выступает в качестве основного источника энергии, а энергия воздуха – в качестве вспомогательного источника. Такие многоэлементные системы способствуют повышению экономической и экологической эффективности, позволяя одновременно решать проблемы низкой экономичности и высоких выбросов углекислого газа, а также обеспечивают безопасность и бесперебойность эксплуатации сельской децентрализованной интегрированной энергетической системы. Многоцелевая модель оптимизации работы интегрированной энергетической системы должна быть построена для каждого региона с учётом ограничений баланса спроса и предложения энергии и баланса мощности оборудования.

Говоря о применении лучших практик для развития систем энергообеспечения на территории России, важно сделать акцент на то, что страна расположена на значительной по площади территории, охватывает различные природно-климатические зоны, что актуализирует поиск возможностей для применения инновационных систем энергообеспечения удалённых потребителей.

Как отмечают Н.Н. Мельников, В.П. Конухин, В.А. Наумов и С.А. Гусак" труднодоступные регионы Арктики, Сибири и Дальнего Востока, где сконцентрированы основные национальные ресурсы полезных ископаемых России, испытывают острый недостаток энергии для своего развития. Несмотря на исключительную привлекательность уникальных месторождений золота, цветных и редкоземельных металлов, практическое отсутствие или слабое развитие энергетической инфраструктуры является одной из главных

причин, по которым перспективные проекты освоения этих месторождений до сих пор остаются нереализованными" [11].

Одним из российских регионов, где активно развивается использование возобновляемых источников энергии является Камчатский край. Это обусловлено, прежде всего, его географическим положением. С одной стороны, являясь отдалённым от центра России регионом он, в то же время, обладает уникальными природными ресурсами. Его территориальная близость к Китаю делает актуальное рассмотрение и реализацию возможностей по реализации совместных проектов в сфере ВИЭ, так как в настоящее время китайская сторона является одним из мировых лидеров в ветровой и других видах альтернативной энергетики.

Солнечно-ветровые энергоустановки в регионе могут быть конкурентоспособными благодаря относительно невысокой стоимости электроэнергии, а в комплексе с государственными мерами по поддержке альтернативной энергетики смогут принести свой вклад в долю топливно-энергетического баланса страны.

В конце 1990-х – начале 2000-х гг. в Камчатском крае были введены в эксплуатацию две геотермальные электростанции (ГеоЭС) – Паужетская и Мутновская. Опыт их строительства показал, что "для успешной реализации крупных проектов в области геотермальной энергетики необходимо благоприятное сочетание множества факторов: наличия положительного заключения о перспективности использования геотермального месторождения со стороны научного института; признания проекта приоритетным региональными органами власти; наличия квалифицированного персонала; достаточных финансовых и административных ресурсов крупной энергетической компании; длительное взаимодействие с производителями генерирующего оборудования; доступ к низкопроцентным иностранным кредитным ресурсам" [12].

На Рис. 2 приведены выявленные на основе проведённого исследования стимулы и ограничения реализации проектов по использованию альтернативных источников энергии в системах энергоснабжения отдалённых регионов.



Рисунок 2 – Стимулы и ограничения реализации проектов по использованию альтернативных источников энергии в системах энергоснабжения отдалённых регионов

В качестве вывода следует остановиться на том, что в целом внедрение проектов альтернативной энергетики в отдалённых регионах уже достаточно хорошо зарекомендовало себя как в зарубежных странах, так и в регионах России. Тиражирование такого положительного опыта наряду с координацией действий представителей национальных и региональных органов власти, бизнеса и научных институтов является необходимым условием увеличения количества реализуемых проектов внедрения возобновляемых источников энергии в системы энергоснабжения отдалённых регионов. В конечном итоге, получаемые экономические и экологические составляющие эффекта для территорий будут способствовать их устойчивому развитию и переходу на принципы низкоуглеродной экономики.

Список использованных источников

9. Цели в области устойчивого развития // [Электронный ресурс]. – <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/?ysclid=mdqqq847j2263797083> (дата обращения: 17.07.2025).

10. Любарская М.А. Теоретические и практические аспекты низкоуглеродного развития экономики // Экономический вектор. – 2021. – № 2(25). – С. 100-104.
11. Shi L., Liu Y., Sun C., Guo Y., Wang D., Liu Y., Si P., Jiang Q., Duan Q., Wang C. Energy solution for rural household in remote cold regions: An innovative photovoltaic-based thermal energy storage system // Energy Conversion and Management. – 2025. – № 343. – С. 120-126.
12. Javadi M.S., Gough M., Lotfi M., Nezhad A.E., Santos S.F., Catalão J.P. Optimal self-scheduling of home energy management system in the presence of photovoltaic power generation and batteries // Energy. – 2025. – № 210. – С. 118-125.
13. Чекалин В.С., Любарская М.А. Развитие "Smart City": Комплементарность ESG-принципов // В сборнике: Современный менеджмент: проблемы и перспективы. Сборник статей по итогам XVII национальной научно-практической конференции с международным участием. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 168-172.
14. Holdmann G., Pride D., Poelzer G., Noble B., Walker C. Critical pathways to renewable energy transitions in remote Alaska communities: A comparative analysis // Energy Research & Social Science. – 2022. – № 91. – С. 102-107.
15. Carlson T., Ibarra S., Carrasquillo M., Variano E. Firewood, four wheelers, and chest freezers: The importance of modern energy to Alaska Native subsistence in Yedatene Na' // Energy Research & Social Science. – 2025. – № 125. – С. 104-112.
16. Yang C., Li M., Zhou D. Energy assessment in rural regions of China with various scenarios: Historical-to-futuristic // Energy. – 2024. – № 302. – С. 131-138.
17. Chen M., Wei J., Yang X., Fu Q., Wang Q., Qiao S. Multi-objective optimization of multi-energy complementary systems integrated biomass-solar-wind energy utilization in rural areas // Energy Conversion and Management. – 2025. – № 323(A). – С. 119-126.
18. Wang Y., Guo L., Ma Y., Han X., Xing J., Miao W., Wang H. Study on operation optimization of decentralized integrated energy system in northern rural areas based on multi-objective // Energy Reports. – 2022. – № 8. – С. 3063-3084.
19. Мельников Н.Н., Конухин В.П., Наумов В.А., Гусак С.А. Реакторные установки для энергоснабжения удалённых и труднодоступных регионов: проблема выбора // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2015. – № 2. – Том 18. – С. 198-208.
20. Попов Д.К. Обеспечение энергоснабжения удалённого региона России на примере Камчатского края // Холодная наука. – 2024. – № 4. – С. 58-67.