

УПРАВЛЕНИЕ ОТРАСЛЯМИ И КОМПЛЕКСАМИ НА СЕВЕРЕ И В АРКТИКЕ

Научная статья

УДК 338.49

doi:10.37614/2220-802X.2.2025.88.006

ВЫБОР ТИПА ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Елена Владимировна Рытова¹, Светлана Семёновна Гутман², Виктория Владимировна Бразовская³,
Ксения Сергеевна Кожина⁴

^{1–4}Высшая инженерно-экономическая школа, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

¹rytova_ev@spbstu.ru, ORCID 0000-0002-6774-7577

²sgutman@spbstu.ru, ORCID 0000-0002-1098-3915

³brazovskaya_vv@spbstu.ru, ORCID 0000-0002-9252-7410

⁴kozhiba_ks@spbstu.ru, ORCID 0000-0003-0877-1400

Аннотация. В статье рассматривается проблема энергообеспечения арктических территорий России. Цель исследования — на основе экспертных методов определить тип генерации электроэнергии для арктических территорий РФ с учетом их стратегической значимости для социально-экономического развития страны, позволяющий решить проблемы со стоимостью, доступностью и стабильностью энергоснабжения в этих регионах. Объект исследования — различные типы генерирующих объектов на арктических территориях РФ. Стратегическим направлениям укрепления энергетической безопасности арктических территорий РФ соответствует седьмая Цель устойчивого развития Организации Объединенных Наций — «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех», поэтому она была выбрана в качестве цели для модели принятия решений по методу анализа иерархии. На основе обзора литературы и нормативных актов для анализа был выбран опорный пункт Тикси как нуждающийся в модернизации системы генерации с учетом требований энергетической безопасности и устойчивого развития. Далее с помощью метода анализа иерархий были выбраны источники генерации на основе критериев, характеризующих объекты генерации. По результатам экспертного опроса представителей организаций АЗРФ и проведенных расчетов из представленных альтернатив (атомная электростанция, плавучая атомная теплоэлектростанция, ветроэнергетическая установка/солнечная электростанция) для исследуемой территории (поселок Тикси Республики Саха (Якутия)) был выбран тип генерирующего объекта — плавучая атомная теплоэлектростанция, позволяющий решить проблемы со стоимостью, доступностью и стабильностью энергоснабжения. Научная новизна исследования заключается в разработке и апробации экспертного подхода к обоснованию выбора подходящего объекта генерации с учетом характеристик территорий и объектов генерации, включающего двухуровневую экспертизу с применением метода анализа иерархий, что создает новую методологическую основу для оценки энергетических проектов. Данный подход определения приоритетного генерирующего объекта можно расширять в зависимости от цели исследования и характеристик территории, на которой будет реализовываться проект модернизации генерации. Могут быть введены дополнительные критерии выбора, сформированы новые альтернативы в зависимости от возникающих изменений в данной области или специфики целей исследования.

Ключевые слова: Арктическая зона РФ, энергоснабжение, генерация, устойчивое развитие, энергетическая безопасность, экспертиза, метод анализа иерархий

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01206.

Для цитирования: Выбор типа генерирующего объекта электроэнергетики для обеспечения устойчивого развития Арктических территорий Российской Федерации / Е. В. Рытова [и др.] // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2025. № 2. С. 86–101. doi:10.37614/2220-802X.2.2025.88.006.

INDUSTRIAL AND SECTORAL MANAGEMENT IN THE NORTH AND THE ARCTIC

Original article

SELECTING AN OPTIMAL POWER GENERATING FACILITY TO SUPPORT THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RUSSIA'S ARCTIC TERRITORIES

Elena V. Rytova¹, Svetlana S. Gutman², Viktoria V. Brazovskaya³, Ksenia S. Kozhina⁴

^{1–4}Graduate School of Industrial Economics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

¹rytova_ev@spbstu.ru, ORCID 0000-0002-6774-7577

²sgutman@spbstu.ru, ORCID 0000-0002-1098-3915

³brazovskaya_vv@spbstu.ru, ORCID 0000-0002-9252-7410

⁴kozhiba_ks@spbstu.ru, ORCID 0000-0003-0877-1400

Abstract. This article addresses the issue of energy supply in Russia's Arctic territories. The aim of the research is to identify the best type of electricity generation for these territories using expert-based methods. Given the strategic importance of the Arctic for Russia's socio-economic development, solving issues related to the cost, availability, and reliability of energy supply in this region is essential. The study focuses on various types of power generation facilities located in the Russian Arctic. Strengthening energy security in these regions aligns with the United Nations' Sustainable Development Goal 7 ("Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all"), which was adopted as the core objective in the decision-making model based on the Analytic Hierarchy Process (AHP). Based on a review of the relevant literature and regulatory documents, the settlement of Tiksi in the Republic of Sakha (Yakutia) was selected as a case study due to its need for power system modernization in line with energy security and sustainable development requirements. Using AHP, power generation options were evaluated based on key characteristics of the facilities. Among the alternatives considered—conventional nuclear power plants, floating nuclear power plants, and wind/solar power installations—the floating nuclear power plant was identified as the most appropriate solution for Tiksi. This option best meets the settlement's needs in terms of cost-efficiency, energy accessibility, and supply stability. The scientific novelty of this research lies in the development and application of an expert-based framework for selecting optimal power generation technologies, taking into account the characteristics of both the territories and the generation options. The framework incorporates a two-tier expert evaluation using AHP, aligned with the requirements of energy security and sustainable development in Russia's Arctic regions. This methodology for determining a priority generation facility can be adapted and expanded depending on the objectives of the study and the unique characteristics of the territory in which a modernization project is to be implemented. Additional selection criteria may be introduced, and new alternatives considered, in response to evolving conditions or specific research goals.

Keywords: Russian Arctic, energy supply, power generation, sustainable development, energy security, expertise, Analytic Hierarchy Process

Acknowledgments: This research was funded by the Russian Science Foundation (project No. 23-28-01206).

For citation: Rytova E. V., Gutman S. S., Brazovskaya V. V., Kozhiba K. S. Selecting an optimal power generating facility to support the sustainable development of Russia's Arctic territories. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poriadka* [The North and the Market: Forming the Economic Order], 2025, no. 2, pp. 86–101. doi:10.37614/2220-802X.2.2025.88.006.

Введение

В мировой экономике наблюдается постепенное истощение запасов ресурсов, доступных для использования. Рост энергопотребления вызывает обострение борьбы за них между странами и крупными корпорациями, что является одной из основных причин интереса к освоению и использованию месторождений полезных ископаемых в Арктике [1–3]. Отечественные специалисты считают проекты по их добыче и переработке одним из потенциальных драйверов экономического роста России [4]. Однако в этом случае в невыгодном положении оказываются те арктические регионы, где наблюдается дефицит источников энергии, необходимых для обеспечения промышленного развития. К таким регионам можно отнести отдельные отдаленные территории Арктической зоны Российской Федерации (далее — АЗРФ). Острая проблема обеспечения энергией малонаселенных районов с точечным типом расселения проявляется в социальном, экономическом, техническом, экологическом аспектах их территориального развития [5]. Несмотря на то, что в настоящее время часть субъектов АЗРФ энергоизбыточны, например Мурманская область, Ямало-Ненецкий АО, отдельные районы Чукотского АО (Билибинский, Эгвекинотский, Анадырский), остаются актуальными вопросы эффективности использования источников энергии и их обновления.

В целом ряде арктических населенных пунктов отмечаются системные проблемы топливно-

энергетического обеспечения, следствием которых является устойчивый рост тарифов на электроэнергию. В качестве примеров подобных муниципальных образований могут быть рассмотрены поселки, расположенные в Вилюйском, Усть-Янском, Таттинском и Нюрбинском районах (улусах) Республики Саха (Якутия). Характерными чертами муниципальных систем энергоснабжения являются изолированность, низкий уровень развития электросетевой инфраструктуры, трудности с обеспечением стабильного завоза топлива. Необходимость решения энергетических проблем указанных муниципальных образований и подобных им по своей проблематике территориального развития арктических районов с учетом все более ужесточающихся экологических требований к коммунальным и промышленным предприятиям в АЗРФ обуславливает актуальность цели и задач исследования.

В ряде отечественных научных публикаций, например [6], авторы рассматривают проблему сильной изношенности энергетической инфраструктуры АЗРФ. Степень износа основных средств генерирующего энергетического комплекса российской Арктики превышает 60 %, что снижает эффективность локального энергетического производства и создает существенные экологические риски. Сохраняется сезонная неравномерность энергопотребления отдаленных поселков [7], обуславливающая необходимость введения дополнительных

мощностей, так как отклонение реальных нагрузок от используемых в расчетах энергетических балансов показателей по летнему режимному дню может составлять 40–50 %. Применение комплексного подхода для обеспечения стабильной и экологически безопасной работы систем энергоснабжения в АЗРФ предусматривает создание эффективных, доступных и устойчивых источников энергии [8], обновление энергетической инфраструктуры с переходом на более чистые и эффективные технологии [9].

На сегодняшний день наблюдается рост потребности в электрической энергии, что обуславливает необходимость развития новых технологий, увеличения доли инноваций в энергетической сфере. Одновременно требования к обеспечению устойчивого развития ведут к ужесточению экологических норм, строгому отслеживанию их соблюдения [1]. Для обеспечения независимой оценки энергетической политики стран и ее эффективности на основе проверенных глобальных и страновых данных был разработан индекс мировой энергетической трилеммы [10]. Трилемма целей в области энергетики на сегодняшний день имеет три основных вектора: доступность энергии; экологическая устойчивость; энергетическая безопасность [2; 4].

Трилемма по своему содержанию и направленности тесно связана с энергетической безопасностью. Энергетическая безопасность — это внутреннее и внешнее состояние страны/региона/предприятия, при котором:

- отсутствуют реальные и потенциальные угрозы возникновения дефицита энергетических ресурсов, соблюдаются интересы как поставщиков энергоресурсов, так и потребителей, а в случае возникновения энергетических угроз реализуется система мероприятий, направленных на устранение и минимизацию их негативных последствий¹;

- поддерживается требуемый уровень жизнеобеспечения и жизнедеятельности общества и государства за счет оптимизации топливно-энергетического баланса и рационального потребления имеющихся энергоресурсов;

- обеспечиваются необходимые условия как для надежного функционирования и развития энергетики, промышленности и транспортного комплекса страны, так и для достойной жизнедеятельности общества и каждого из его членов.

Применительно к энергоносителям энергетическую безопасность целесообразно рассматривать как их эксплуатационное свойство, проявляющееся в способности вырабатывать конкретный вид энергии

в требуемом количестве и требуемого качества или в способности переводить потенциальную энергию энергоносителя в другой требуемый вид энергии, например в электрическую, механическую, тепловую, световую и т. д. [11]. В данном исследовании вопрос энергетической безопасности рассматривается в контексте проблемы обеспечения надежного и устойчивого энергоснабжения во взаимосвязи с устойчивым развитием удаленных районов АЗРФ. При этом приоритетными целями устойчивого развития АЗРФ являются: защита уязвимых экосистем арктических регионов, минимизация воздействия человеческой деятельности на окружающую среду при освоении новых территорий, а также сохранение традиционной культуры и образа жизни коренных народов. Для достижения этих целей необходимо развивать энергетику в удаленных районах, обеспечивая надежное снабжение энергией как производственных объектов, так и местного населения, учитывая экологические стандарты и стремясь предотвратить изменения климата [12; 13]. Наиболее полно значение доступа к энергии для обеспечения качества жизни общества отражено в Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года (Повестка-2030). Повестка-2030 включает 17 целей устойчивого развития Организации Объединенных Наций (ЦУР ООН), часть из которых напрямую связана с доступом к энергии (ЦУР 1, 3, 7, 13). Основная цель устойчивого развития энергетики (ЦУР 7) — «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех» [14].

Выбор варианта энергообеспечения поселений, учитывающего их стратегическую важность для социально-экономического развития страны и позволяющего решить проблемы со стоимостью, доступностью и стабильностью энергоснабжения в этих регионах, особенно актуален для АЗРФ, где необходимо не только обеспечить динамичное социально-экономическое развитие территорий и городов, но и сохранить хрупкие экосистемы Арктики [15]. Для выбора варианта энергообеспечения поселений АЗРФ опишем основные проблемы и преимущества арктического макрорегиона, выявленные на основе анализа трудов отечественных и зарубежных ученых, а также их значение для обеспечения устойчивого развития и энергетической безопасности АЗРФ² [16; 17]. Результаты анализа представлены в табл. 1.

¹ International index of energy security risk // Global Energy Institute. URL: https://www.uschamber.com/assets/documents/gei/IESRI-Report_2020_4_20_20.pdf (дата обращения: 08.01.2025); Об утверждении доктрины Энергетической безопасности Российской Федерации // Министерство энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/13311> (дата обращения: 20.12.2024).

² Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 13.01.2025).

УПРАВЛЕНИЕ ОТРАСЛЯМИ И КОМПЛЕКСАМИ НА СЕВЕРЕ И В АРКТИКЕ

Таблица 1

Анализ проблем и преимуществ арктического макрорегиона, влияющих на энергетическую безопасность АЗРФ

Основные проблемы	Основные преимущества	Значение для энергетической безопасности АЗРФ
1. Уникальные природно-климатические условия		
Хозяйственная деятельность и места расселения локализованы в местах расположения добывающих предприятий и оборонных объектов, вдоль транспортных магистралей, на берегу полярных морей	Уникальный ресурсный потенциал, который включает в себя не только углеводороды, но и биоресурсы, уникальные ландшафты	Возможность разнообразия видов генерации осложняется суровыми климатическими условиями, удаленностью населения от объектов централизованного энергоснабжения
2. Особенности расселения		
Низкая плотность населения, которая обусловлена экстремальными климатическими условиями и зависимостью от северного завоза	Характерно использование различных типов расселения, что позволяет расширить возможности освоения территорий: оседлое проживание, вахтовые поселки, традиционные общины КМНС	Сложности с поставкой и высокой стоимостью ископаемого топлива для генерации. Ввиду высокой степени рассредоточения населения возникает сложность с энергетической обеспеченностью потребителей
Слабое развитие социальной инфраструктуры, стимулирующее миграцию из АЗРФ. Замедление развития арктических городов		Сложности с внедрением инноваций в энергетическую систему и обеспечением надежности энергоснабжения ввиду замедленного социально-экономического развития арктических территорий
3. Особый тип экономической активности в регионе		
Реализуется модель экстенсивного экономического роста ввиду ресурсного богатства, что негативно сказывается на региональном развитии	Достаточно мощная производственная база. Уровень экономической активности в этом макрорегионе России значительно превышает показатели других арктических стран	Используемая модель развития не предполагает обновления основных фондов в энергетике и внедрения современных технологий для обеспечения энергоэффективности
4. Высокий минерально-сырьевой потенциал		
Экономическая структура АЗРФ слабо диверсифицирована и имеет отраслевую специфику с преобладанием добывающей промышленности	Богатство ресурсов российской Арктики может способствовать экономическому и социальному развитию этого макрорегиона, а также укрепить конкурентные позиции России в мире	Концентрация на богатстве ресурсов и замедленное внедрение новых технологий сдерживают развитие и распространение применения возобновляемых ресурсов в энергетике
Нестабильность цен на энергетические ресурсы	Значительные запасы морских биоресурсов. Важное отличие биоресурсов от запасов полезных ископаемых — их возобновляемый характер	
5. Специфика инфраструктурного развития		
Ограниченная транспортная доступность (доля транспортных расходов в стоимости конечного продукта может достигать 60 %, тогда как в среднем по стране — около 10 %). Неразвитость энергетической инфраструктуры	Северный морской путь служит маршрутом, соединяющим Западную Европу и Восточную Азию, и выполняет важные функции по обеспечению устойчивости АЗРФ	Сложности с транспортировкой энергоресурсов создают необходимость развития децентрализованного энергоснабжения для сдерживания затрат на генерацию и роста тарифов на энергию
6. Технологии и капиталоемкость		
Высокая капиталоемкость. Технологические ограничения ввиду антироссийских санкций, которые представлены запретом на поставку в Россию оборудования для добычи нефти и газа с арктического шельфа	Иностранные инвесторы (в том числе из Китая) и международное сообщество в целом, включая новые индустриальные страны (НИС), проявляют значительный интерес к участию в экономическом освоении АЗРФ	Данные особенности ведут к необходимости развития использования возобновляемых ресурсов и новых технологий ввиду наличия иностранных инвесторов и сложностей с добычей ископаемых ресурсов
7. Экосистемы		
Хрупкий и уязвимый естественный баланс экосистем, множественные экологические проблемы, связанные с предыдущим и текущим развитием добывающих предприятий и военно-промышленного комплекса	Уникальные природные условия и туристический потенциал региона, стимулирующий в том числе развитие инфраструктуры и экономический рост макрорегиона	Чтобы не допустить усугубления экологических проблем, необходимо сократить влияние энергетической отрасли на окружающую среду путем использования экологически чистых видов генерации

Примечание. Источник: составлено авторами на основе [16; 17].

Таким образом, можно сделать вывод, что особенности АЗРФ осложняют функционирование и модернизацию энергетической отрасли. Энергетическая система российской Арктики имеет свои характеристики:

- разрозненные энергоузлы;
- потребители и источники энергии находятся в разных частях региона;
- северный завоз топлива создает дополнительные сложности для формирования устойчивой системы энергоснабжения [18];
- не все источники энергии подходят данному региону из-за климатических особенностей, хрупкости экосистем, ледяного покрова [19].

Доля населения Арктической зоны РФ — менее 2 % от общего населения России, но при этом доля потребления электроэнергии составляет 3,6 % [6]. Энергоемкость ВВП регионов АЗРФ составляет 0,028 кВт·ч/руб., что ниже среднероссийского уровня (0,032 кВт·ч/руб.) [20]. Суммарная установленная мощность генераторов децентрализованных энергосистем на 01.01.2020 г. составляла более 167,2 МВт (28 % от суммарной генерации региона) [21].

Объем энергетических затрат всех потребителей, включая предприятия АЗРФ, составляет 1,8–1,9 трлн руб.³. Средний уровень расходов на услуги энергоснабжения в России составляет 20 %, при этом доля расходов в арктических регионах — от 35 до 60 %⁴. Доля расходов регионов АЗРФ на энергоснабжение в ВРП составляет от 20 до 37 %, что превышает пределы, установленные Стратегией устойчивого развития АЗРФ до 2035 года (максимум 15–20 %), в изолированных энергорайонах — свыше 40 %⁵ [22]. Стоит отметить, что Арктический макрорегион чрезмерно зависит от ископаемого топлива (сегодня примерно 80 % всей энергии производится из разных его видов). При этом потребление электроэнергии растет: за период с 2008 по 2020 г. показатель увеличился на 50 %. Учитывая средний период эксплуатации генерирующих объектов 25–30 лет, в рамках модернизации энергосистемы АЗРФ до 2042 г. планируется масштабная замена

устаревшей дизельной и угольной генерации на современные гибридные решения — газовые ТЭС (теплоэлектростанции) и плавучие АЭС (атомные электростанции). Это позволит сократить долю дизельной генерации с 70 до 10 %, угольной — с 15 до 3 % и одновременно увеличить долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) до 25 %, газовой генерации — до 50 % и атомной энергетики — до 12 % от общего энергобаланса региона [21]⁶.

В Арктике основными видами станций являются тепловые, атомные, дизельные, гидроэлектростанции, а также станции на основе ВИЭ. Ввиду особенностей территории в Швеции, Норвегии, Финляндии, Исландии, Канаде и на Аляске широко используются ГЭС для генерации энергии на арктических территориях этих стран. Именно благодаря этому страны сокращают использование ископаемого топлива. Большинство арктических территорий до сих пор использует дизельные электростанции, но от них все чаще стараются отказываться ввиду высоких издержек на топливо. АЭС является наименее распространенным видом генерации ввиду капиталоемкости строительства и особенностей использования ядерного топлива. Но, так как производство энергии на АЭС является более экологичным, многие страны пересматривают политику по применению ядерного топлива⁷ [23; 24].

При формировании программ развития арктические страны придерживаются следующих принципов:

- рост энергоэффективности;
- сокращение использования ископаемых ресурсов либо повышение эффективности их использования;
- внедрение новых технологий;
- повышение доступности энергетических ресурсов благодаря использованию возобновляемых источников энергии;
- сбалансированность между невозобновляемыми энергоресурсами и ВИЭ [25].

Рассмотренные исследования подтвердили актуальность поставленной проблемы — необходимость выявления наиболее подходящего и эффективного для арктических территорий типа генерации, который способствовал бы формированию устойчивой

³ Арктический план электрификации. URL: <https://arctic.s-kon.ru/arkticheskij-plan-jelektifikacii/> (дата обращения: 31.03.2025); Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года». URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDT4lgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 02.04.2025).

⁴ Регионы России. Социально-экономические показатели. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 02.04.2025).

⁵ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2022 году. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/b2ec92f0>

0344707af95c8d44a6abbde8/Energy_efficiency_2023.pdf (дата обращения: 01.04.2025).

⁶ Модернизация ТЭС: планы остаются, сроки сдвигаются. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/469-470/4503062.htm> (дата обращения: 01.04.2025); Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.12.2024 г. № 4153-р «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года». URL: <http://static.government.ru/media/files/Rwf9Akjf5FwAnustDEL2m7PEvZ26i7k3.pdf> (дата обращения: 03.04.2025).

⁷ The energy progress report 2024 // International Bank for Reconstruction and Development. URL: <https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/sdg7-report2024-0611-v9-highresforweb.pdf> (дата обращения: 16.01.2025).

системы энергоснабжения. При этом под устойчивой системой энергоснабжения мы будем понимать энергосистему, соответствующую седьмой Цели устойчивого развития — «Стремление к обеспечению всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех».

Обзор литературы показал наличие большого количества публикаций по проблемам энергообеспечения АЗРФ, включая необходимость модернизации и развития энергетической системы. Также в ряде публикаций делается акцент на особенностях территорий АЗРФ, включая экологические проблемы и доступность энергии для социальных нужд. При этом практически отсутствуют исследования, направленные на расширение методологической базы оценки энергетических проектов и развитие инструментов обоснования и принятия решений с учетом специфики территорий и особенностей различных объектов генерации.

Цель исследования — на основе экспертных методов определить тип генерации электроэнергии для арктических территорий РФ с учетом их стратегической важности для социально-экономического развития страны, позволяющий решить проблемы со стоимостью, доступностью и стабильностью энергоснабжения в этих регионах. *Объект исследования* — различные типы генерирующих объектов на территории АЗРФ. Авторы ставят перед собой следующие задачи: 1) на основе экспертизы определить в АЗРФ опорные пункты как территории, имеющие стратегическую важность для социально-экономического развития страны на основании нормативных документов и нуждающиеся в совершенствовании энергетической системы; 2) разработать модель принятия решений о выборе типа генерации для отдельных опорных пунктов АЗРФ; 3) на основе метода анализа иерархий (МАИ) обосновать принятие решения о выборе объекта генерации на примере стратегически важной территории АЗРФ — опорного пункта Тикси.

Научная новизна исследования заключается в разработке и реализации экспертного подхода к обоснованию выбора объекта генерации с учетом характеристик территорий и объектов генерации, включающего двухуровневую экспертизу с применением метода анализа иерархий, учитывающего требования к обеспечению энергетической безопасности и устойчивого развития арктических территорий РФ. Применение МАИ в двухуровневой экспертизе создает новую методологическую основу для оценки энергетических проектов.

Методология

Тенденции в области энергетики имеют вектор, направленный на использование современных объектов электрогенерации, которые размещаются не только на суше, но и на воде из-за ограниченности территорий на материках и высокой стоимости земли под строительство подобных объектов. Меняется статичность размещения объектов генерации электроэнергии, их функционал, появляется большая мобильность. Эти факторы являются актуальными преимуществами для регионов с точечным типом расселения населения и суровым климатом, из-за которого строительство крупных объектов генерации энергии становится невозможным, трудным или высокочеловеческим. В табл. 2 сформулированы основные преимущества и недостатки каждого вида электростанции с учетом цели исследования.

При принятии таких стратегически важных инвестиционных решений часто требуется анализ многих факторов, которые могут влиять на рассматриваемый объект. При этом взаимовлияние и связи между данными факторами зачастую невозможно установить ввиду отсутствия необходимой количественной информации. В таких случаях для проведения анализа и выбора наилучшего варианта предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ), разработанный Томасом Саати и относящийся к классу критериальных методов [26]. Следует отметить, что данный метод приводит к варианту, согласующемуся с основной целью решения какой-либо проблемы, а не дает *правильное* решение. Достоинство данного метода — это универсальность. Он позволяет решать различные задачи в большом спектре разных областей экономики, энергетики и др.

Алгоритм применения метода состоит из следующих этапов:

- выявление проблем, определение цели;
- выделение основных критериев и альтернатив;
- построение иерархии: цель — критерии — альтернативы;
- построение матрицы попарных сравнений критериев;
- применение методики анализа полученных матриц;
- определение весов альтернатив по системе иерархии.

Метод анализа иерархий может быть применен для выбора наиболее подходящего варианта энергообеспечения поселений в АЗРФ с точки зрения выбранных критериев, где связи между факторами устанавливаются экспертным путем в виде весовых коэффициентов.

УПРАВЛЕНИЕ ОТРАСЛЯМИ И КОМПЛЕКСАМИ НА СЕВЕРЕ И В АРКТИКЕ

Таблица 2

Преимущества и недостатки разных видов объектов генерации

Преимущества	Недостатки
<i>АЭС (атомная электростанция)</i>	
Стабильность выработки энергии Низкая себестоимость кВт·ч Независимость от традиционных энергоресурсов Большая мощность Большой срок эксплуатации Уровень оснащения лучше, чем у ТЭС, есть множество перспектив для усовершенствования Затраты на транспортировку ядерного топлива ниже, чем традиционного	Удорожание строительства ввиду требований безопасности, а также сложных погодных условий Необходимость найма высококвалифицированного персонала Тепловое загрязнение, вызванное большими расходами технической воды для охлаждения конденсаторов турбин Тяжелые последствия аварий Сложное и длительное строительство Необходимость утилизации радиоактивных отходов
<i>ТЭС (тепловая электростанция)</i>	
Возможность стабильной работы вне зависимости от сезона Малые финансовые затраты Высокая скорость строительства	Работа на невозобновляемых ресурсах Перебои в поставке сырья ведут к перебоям в работе Большие затраты на транспортировку топлива Существенное загрязнение окружающей среды
<i>ВЭУ (ветровая энергоустановка) / СЭС (солнечная электростанция)</i>	
При малой мощности — отсутствие потребности в каком-либо виде топлива, вся работа системы производится абсолютно автономно Минимальные потери энергии при передаче благодаря возможности установки ветрогенераторов/солнечных панелей рядом с потребителями Относительная экологичность	Непостоянство выработки из-за меняющихся скорости и направления потоков ветра, количества солнечного излучения, которые трудно предсказать или запланировать Низкий КПД, который в лучшем случае составляет 30 %, а в среднем гораздо меньше Невозможность использования для централизованной системы снабжения, только точно В районах с децентрализованным энергоснабжением работа ВЭУ/СЭС ведется совместно с дизельной генерацией, поэтому также требуется организация поставок и хранения запаса топлива (нефтепродуктов)
<i>ПАТЭС (плавучая атомная теплоэлектростанция)</i>	
Все преимущества АЭС, а также мобильность, снижение рисков аварии из-за нахождения на воде (Арктика является одним из самых спокойных подводных геологических регионов в мире)	Тяжелые последствия аварии Необходимость вывоза и утилизации радиоактивных отходов Необходимость замещения доли ее генерации другими источниками на время выбытия для планового технического обслуживания реакторных установок
<i>ГЭС (гидроэлектростанция)</i>	
Возобновляемый источник энергии Не требует топливных ресурсов (вода обеспечивает движение турбин) Относительно высокая надежность, стабильность работы Не воздействует на климат в отношении выброса парниковых газов Низкие эксплуатационные затраты Производительность ГЭС легко контролировать, изменяя скорость водяного потока	Требуется строительство плотин, гидротурбин и водохранилищ Водохранилища затопляют значительные участки земли Сооружение ГЭС неэффективно в равнинных районах Могут оказывать воздействие на экосистему рек и водохранилищ Большинство удобных мест для строительства гидроэлектростанций уже используется Высокая стоимость строительства Невозможность использования при отсутствии географических условий

Примечание. Источник: составлено авторами.

Результаты и обсуждение

Исходя из цели исследования, предварительного анализа проблем обеспечения отдельных территорий АЗРФ дешевой, доступной и бесперебойной электроэнергией, было принято решение дополнить исследование экспертизой. К сожалению, объем и доступность данных по АЗРФ не являются достаточными для проведения статистического

исследования. Однако необходимо обосновать предлагаемые решения и осуществить выбор наиболее подходящих с точки зрения поставленной цели систем генерации для исследуемых территорий. В связи с этим для получения необходимой информации можно использовать экспертизу. Несмотря на известные недостатки, методы экспертных оценок часто являются единственно

УПРАВЛЕНИЕ ОТРАСЛЯМИ И КОМПЛЕКСАМИ НА СЕВЕРЕ И В АРКТИКЕ

доступными источниками снижения неопределенности при принятии решений. Поэтому в данной работе был разработан и представлен экспертный подход для

принятия решения о выборе предпочтительных объектов генерации для рассматриваемых территорий. Паспорт экспертизы приведен в табл. 3.

Таблица 3

Паспорт экспертизы

Цели проведения экспертизы	I этап: подтверждение наличия проблемы обеспечения выбранной территории электроэнергией II этап: оценка возможных альтернатив генерации по ключевым параметрам генерирующих объектов
Задачи экспертизы	1. Оценить степень остроты проблемы энергообеспечения для исследуемых территорий 2. Проранжировать по важности для исследуемой территории характеристики (критерии) различного типа генерирующих объектов на основе метода попарного сравнения 3. Оценить возможные альтернативы генерации по критериям (характеристикам) с использованием метода попарного сравнения
Объект исследования	I этап: арктические территории II этап: различные типы генерирующих объектов
Предмет исследования	Выбор наилучшего типа генерации для исследуемых территорий, имеющих существенные проблемы со стоимостью, доступностью и стабильностью обеспечения электроэнергией
География исследования	Арктическая зона Российской Федерации
Экспертная группа	В рамках данного исследования экспертами являются представители профессионального сообщества в сфере энергетики и специалисты организаций, расположенных в АЗРФ. Эксперт, в силу образования, профессиональных навыков, должностного статуса, расширенного доступа к информации, личного опыта, является авторитетным специалистом по оценке. Были привлечены эксперты из АЗРФ, работающие на энергетических предприятиях, предприятиях нефте- и газодобычи, а также представители организаций социальной сферы. Общее число экспертов 10 человек
Метод опроса	Полуструктурированный опрос по телефону и онлайн

Примечание. Источник: составлено авторами.

I этап экспертизы включал:

- 1) формирование анкеты для выявления проблем с энергоснабжением на исследуемой территории;
- 2) формирование шкалы оценок ответов;
- 3) проведение полуструктурированного интервью и получение оценок: заполнение анкеты и собеседование по телефону по обоснованию полученных оценок;
- 4) расчет средних и итоговых оценок для территории;
- 5) анализ оценок и обсуждение полученных результатов с экспертами.

Экспертам были предложены для анализа опорные населенные пункты со средним уровнем воздействия на обеспечение национальной безопасности и социально-экономического развития АЗРФ. Эти территории соответствуют системе критериев для определения перечня опорных населенных пунктов АЗРФ, в частности:

- выполнение функции в области обеспечения национальной безопасности;
- выполнение функции базы для развития минерально-сырьевых центров;
- реализация экономических или инфраструктурных проектов [27].

Экспертам было предложено оценить четыре параметра с использованием пятиступенчатой шкалы оценивания. Шкала оценивания представлена в табл. 4.

Шкала оценивания учитывает важность и актуальность вопросов обеспечения эффективного использования источников энергии и необходимости модернизации энергетической инфраструктуры. Результаты исследования показали, что в рамках выбранной для анализа группы территорий — опорных пунктов [28] результаты отличаются. В связи с ограниченностью объема статьи в данном исследовании представлены только результаты обследования опорного пункта Тикси, который демонстрирует низкие оценки экспертов. При этом Тикси относится к группе опорных пунктов, которые обеспечивают стратегическое присутствие России в Арктике (такие опорные пункты включают в себя аэродромы, морские порты и другие инфраструктурные объекты, которые играют важную роль в военном, научном, экономическом и экологическом развитии страны). В ближайшее время здесь планируется к реализации проект по модернизации порта, что потребует дополнительных генерирующих мощностей.

Таблица 4

Шкала, используемая экспертами при проведении процедуры экспертной оценки

Вопрос	Варианты ответа
1. Случаи отключения основной системы электроснабжения	5 — очень редко
	4 — редко
	3 — средний уровень регулярности
	2 — выше среднего
	1 — регулярно
2. Энергетические условия в регионе для развития предприятия	1 — плохие условия
	2 — ниже среднего
	3 — средние условия
	4 — выше среднего
	5 — хорошие условия
3. Аварии оборудования, связанные с нестабильностью энергосистемы	5 — не происходят
	4 — редко
	3 — средняя частота
	2 — выше среднего
	1 — регулярные аварии
4. Стоимость энергии	5 — очень дешевая
	4 — дешевая
	3 — средняя
	2 — выше среднего
	1 — высокая
5. Какой тип энергосистемы Вы бы выбрали для формирования устойчивой системы энергоснабжения в Арктике	0 — локальная
	1 — централизованная

Примечание. Составлено авторами.

Для исследуемой территории нами были получены следующие результаты экспертного опроса. Оценивая регулярность случаев отключения основной линии энергоснабжения, большинство экспертов отнесли ее уровень к среднему (40 % экспертов), выше среднего (20 %) или регулярному (20 %), тогда как лишь 20 % экспертов отметили, что такие случаи бывают редко (10 %) или очень редко (10 %). Энергетические условия в регионе для развития предприятия 10 % экспертов оценили как средние, 50 % — как ниже среднего и 40 % — как очень плохие. Регулярность аварий оборудования, связанных с нестабильностью энергосистемы, 50 % экспертов отнесли к уровню средней частоты, 40 % — выше среднего и только 10 % экспертов отметили, что такие аварии происходят редко (также эксперты дали комментарии к оценке данного показателя: из строя выходило, в основном, бытовое оборудование). Стоимость энергии все без исключения эксперты (100 %) оценили как высокую.

Далее на этапе обработки были получены средние оценки по каждому параметру для исследуемой территории. Так, средняя оценка по параметру «Случаи отключения основной линии энергоснабжения» составила 3,3 из 5 возможных баллов; «Энергетические условия в регионе для развития предприятия» — 1,7 балла; «Аварии оборудования из-за нестабильности энергосистемы» — 2,7 балла, а фактор «Стоимость

энергии» получил оценку 1 балл — самую низкую из возможных.

В анкете, составленной специально для экспертов, был также пункт, в котором предлагалось порекомендовать одну из систем энергоснабжения для формирования устойчивого развития арктических территорий, а также прокомментировать, какие модели энергоснабжения они считают более целесообразными на основе собственного опыта. Большинство экспертов (80 %) отдало предпочтение локальной системе.

В ходе интервью также обсуждались вопросы организации генерации электроэнергии на исследуемых территориях. Экспертам предложили обосновать мнение о выбранном типе энергосистемы и описать требования к энергосистеме, которые эксперты считают основными. На основании их комментариев было определено, что ТЭС не отвечает основным целям формирования устойчивой системы энергоснабжения в связи с зависимостью от транспортировки топлива, работой на традиционных энергоресурсах, высокой степенью загрязнения окружающей среды. Вариант малой ГЭС отвечает основным целям формирования устойчивой системы энергоснабжения, но не может быть реализован на любой территории АЗРФ из-за технологических требований по наличию рек и резервуаров с достаточным объемом воды для функционирования

УПРАВЛЕНИЕ ОТРАСЛЯМИ И КОМПЛЕКСАМИ НА СЕВЕРЕ И В АРКТИКЕ

генерирующих объектов. Таким образом, для последующего выбора альтернативы в целях формирования устойчивой системы энергоснабжения, авторами было принято решение эти виды электростанций из анализа исключить и в данном исследовании не рассматривать.

II этап экспертизы включал:

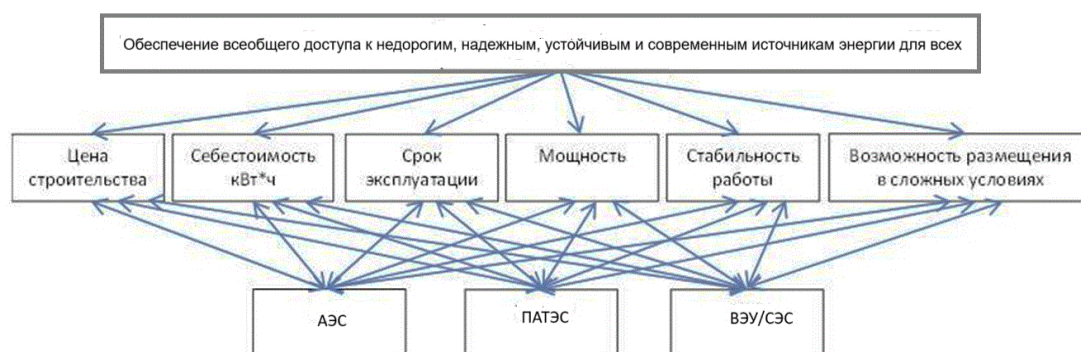
- 1) разработку основных критериев отбора генерирующих объектов для исследуемой территории;
- 2) обоснование выбора альтернатив генерирующих объектов (с учетом первого этапа экспертизы);
- 3) оценку и ранжирование критериев отбора согласно методике МАИ;
- 4) оценку и ранжирование альтернатив согласно методике МАИ;
- 5) обоснование целесообразности выбранного объекта генерации для исследуемой территории.

Авторами статьи были определены основные характеристики (критерии) генерирующих объектов,

влияющие на привлекательность их использования для генерации на исследуемых территориях. Далее были разработаны альтернативные варианты генерации, перспективные с точки зрения экспертов. В альтернативные варианты вошли: АЭС, ПАТЭС и ВЭУ/СЭС. Из анализа были исключены ТЭС и ГЭС в связи с результатами I этапа экспертизы. Далее, согласно методике МАИ, был построен граф критериев и альтернатив (рис.).

На первом этапе было проведено попарное сравнение критериев по важности по девятибалльной шкале с составлением соответствующей матрицы. Элементом матрицы $a(i, j)$ является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9 (табл. 5).

Были получены следующие попарные сравнения предложенных критериев (табл. 6).



Дерево критериев и альтернатив. Источник: составлено авторами

Таблица 5

Шкала попарного сравнения критериев и альтернатив [27; 28]

1	Критерии эквивалентны		
3	Немного важнее	$1/3^*$	Чуть менее важно
5	Важнее	$1/5^*$	Менее важно
7	Значительно важнее	$1/7^*$	Неважно
9	Безусловно, важнее	$1/9^*$	Безусловно, неважно

Таблица 6

Таблица попарного сравнения критериев

	Цена строительства	Себестоимость 1 кВт/ч	Срок эксплуатации	Мощность	Стабильность работы	Возможность размещения в условиях АЗРФ
Цена строительства	1	1/5	1	1/3	1/9	1/7
Себестоимость 1 кВт/ч	5	1	1/3	3	1	1/5
Срок эксплуатации	1	3	1	3	1/5	1/9
Мощность	3	1/3	1/3	1	7	1/7
Стабильность работы	9	1	5	1/7	1	1
Возможность размещения в условиях АЗРФ	7	5	9	7	1	1

Примечание. Источник: составлено авторами.

УПРАВЛЕНИЕ ОТРАСЛЯМИ И КОМПЛЕКСАМИ НА СЕВЕРЕ И В АРКТИКЕ

Далее, согласно процедуре МАИ, был рассчитан вес каждого критерия в долях и процентах. С точки зрения достижения нашей цели наиболее весомым является «Возможность размещения в сложных условиях» (37,49 %), далее следует «Стабильность работы» (20,39 %), «Мощность» (16,18 %), «Себестоимость 1 кВт·ч» (11,51 %), «Срок эксплуатации» (10,91 %) и, наименее важный, — «Цена строительства» (3,44 %). Для объективного сравнения альтернатив по каждой альтернативе были найдены данные реальных

объектов, которые введены в эксплуатацию в похожих условиях АЗРФ (табл. 7).

Далее были составлены матрицы сравнения вариантов (альтернатив) по каждому критерию. В процессе работы сформирован вектор весов всех 6 критериев и матрица весов трех альтернатив по каждому критерию. Затем получены итоговые веса альтернатив с точки зрения достижения поставленной цели (табл. 8).

Таблица 7

Характеристики объектов генерации, рассматриваемых как альтернативы

	АЭС	ПАТЭС	ВЭУ/СЭС
Цена строительства	2 200 млрд руб. ¹	37,3 млрд руб. ² (с учетом инфраструктуры береговой линии)	10 млрд руб. ³ / 8,1 млрд руб. за 1 объект
Себестоимость 1 кВт·ч	1,3–1,4 руб.	3,3 руб.	3 руб.
Срок эксплуатации	До 55 лет	35–40 лет	До 20 лет
Мощность	1 840 МВт (суммарная мощность)	Без потребления 70 МВт (передаваемая на берег 30 МВт)	100 МВт / 75 МВт передаваемая — другая
Стабильность работы (по шкале 1 — нестабильно, до 10 — абсолютно стабильно) ⁴	10	10	4
Возможность размещения в сложных условиях (по шкале 1 — невозможно, до 10 — безусловно, возможно) ⁴	3	10	5

Примечание. Источник: составлено авторами.

¹ Совкомбанк предоставит кредит до 300 млн долл. США на строительство АЭС Аккую в Турции // Neftegaz.ru. URL: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/655535-sovkombank-predostavit-kredit-do-300-mln-doll-ssha-na-stroitelstvo-aes-akkuyu-v-turtsii/?ysclid=m653tu6983245904868> (дата обращения: 11.01.2025).

² Общая стоимость первой плавучей АЭС превысит 37 млрд рублей // Интернет-портал «Российской газеты». URL: <https://rg.ru/2015/05/15/aes.html> (дата обращения: 10.01.2025).

³ Возобновляемая энергетика в России и мире // Российское энергетическое агентство Минэнерго России. URL: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/e04/3xtm87iv99x76b23c6wjul3as5pzz8zj.pdf> (дата обращения: 10.01.2025).

⁴ Оценки данных характеристик получены в ходе интервью экспертов.

Таблица 8

Результаты оценки альтернатив, %

	Цена строитель- ства, %	Себестоимость 1 кВт·ч, %	Срок эксплуатации, %	Мощность, %	Стабильность работы, %	Возможность размещения в условиях АЗРФ, %	Итоговый вес альтернативы, %
АЭС	6,12	35,01	63,19	64,86	46,67	6,85	34
ПАТЭС	21,57	28,58	31,59	29,46	46,67	77,66	51
ВЭУ	72,31	36,40	5,22	5,67	6,67	15,49	15
Вес критерия	3,44	11,51	10,91	16,18	20,39	37,57	

Примечание. Источник: составлено авторами.

По критерию «Цена строительства» получены веса для каждой из альтернатив. Наиболее весомым, «лучшим» и «интересным» по данному критерию является ВЭУ/СЭС (72,31 %), далее следует ПАТЭС (21,57 %) и наименее интересна АЭС (6,12 %). Если бы мы выбирали наилучшую альтернативу только

по цене, то выбор уже сейчас был бы очевидным. Но корректный выбор альтернативы по одному критерию невозможен. Поэтому для каждого критерия были построены аналогичные матрицы. Из полученных данных по критерию «Себестоимость» наиболее весомым является ВЭУ/СЭС (36,4 %), далее

следует АЭС (35,01 %) и наименее интересна ПАТЭС (28,58 %).

По критерию «Срок эксплуатации» самым привлекательным вариантом является АЭС (63,19 %), затем идет ПАТЭС (31,51 %) и самая непривлекательная альтернатива по данному критерию — это ВЭУ/СЭС с весом 5,22 %. Затем составлена матрица для критерия «Мощность». По данному критерию наиболее интересной альтернативой является АЭС (64,86 %), далее следует ПАТЭС (29,46 %) и наименее интересна ВЭУ/СЭС (5,67 %).

Для критерия «Стабильность работы» была построена такая же матрица по трем альтернативам. Лучше всего поставленной цели отвечают АЭС и ПАТЭС в равной степени (46,67 %), и наименее привлекательной для достижения обозначенной цели является ВЭУ/СЭС (6,67 %).

«Возможность размещения в сложных условиях» — это критерий особой важности, так как поселения, для которых мы формируем устойчивую систему энергоснабжения, расположены в суровых климатических условиях АЗРФ с хрупкими экосистемами. Для этого критерия построена аналогичная матрица. Наиболее интересной альтернативой является ПАТЭС (77,66 %), далее следует ВЭУ/СЭС (15,49 %), и наименее интересна АЭС (6,85 %).

Таким образом, с помощью МАИ было выявлено, что ПАТЭС — наиболее привлекательная альтернатива для исследуемого объекта с учетом поставленной цели. Действующая в Певеке плавучая атомная электростанция уже решает задачи, связанные не только с замещением мощностей Билибинской АЭС, но и с реализацией проектов Баимской рудной зоны. Преимущества плавучих атомных теплоэлектростанций и экономические перспективы их самокупаемости являются предметом обсуждений. Действительно, в арктическом регионе невозможен полный переход на солнечные, ветровые или приливные установки из-за специфики территории с точки зрения климата, ресурсов и т. п. Солнечный свет в данном регионе в определенные периоды находится в остром дефиците, а сила ветров достигает таких масштабов, что ветряная установка может не выдержать данной нагрузки, а это ведет к нестабильности работы системы. Также в контексте устойчивого развития нельзя не упомянуть и экологический аспект: арктический ледяной покров является крайне чувствительным к использованию углеродных ресурсов, в том числе и для генерации электроэнергии и теплоты. Соответственно, требуется эффективное и равноценное замещение устаревших и неэффективных типов генерации с общим обновлением всей энергосистемы региона. В апреле 2023 г. «Росэнергоатом» получил лицензию Ростехнадзора на размещение первой наземной

атомной электростанции малой мощности (АСММ) в якутском поселке Усть-Куйга. В июне 2023 г. на Петербургском международном экономическом форуме «Росатом» подписал соглашение с администрацией Чукотского автономного округа о строительстве первой малой АЭС проекта «Шельф-М» на Чукотке.

Также отметим, что ПАТЭС как высокотехнологичный объект мирного атома соответствует единым международным стандартам, которые применяются для океанических и морских судов с атомными энергетическими установками и эксплуатируются в составе флотов не только в России, но и в США, КНР, Великобритании, Франции и других странах.

Представленное в данной статье исследование позволило установить, что именно ПАТЭС в наибольшей степени удовлетворяет современным требованиям и условиям, характерным для арктических территорий России, и может являться базисом для обеспечения устойчивого развития АЗРФ. По мнению всех опрошенных экспертов, главными преимуществами ПАТЭС, по сравнению с другими типами генерации электроэнергии, являются: относительно низкая стоимость энергии, надежность и формирование своеобразной локально-централизованной системы энергоснабжения. Под локально-централизованной системой в данном случае понимается такая система, в которой возможно перемещение станции на большие расстояния для энергообеспечения нуждающихся локальных поселений.

Использование ПАТЭС позволяет снабжать энергией и предприятия, и население отдельных поселений полностью, без использования дополнительных локальных установок. Однако высокая стоимость станции на этапе строительства и ее принадлежность к объектам повышенной опасности и повышенного контроля в связи с использованием атома увеличивает сроки окупаемости. Кроме того, такие дорогостоящие проекты не могут быть реализованы без участия государства. Данные особенности необходимо учитывать и формировать модели энергоснабжения с возможным сочетанием ПАТЭС, возобновляемой энергетики и традиционных энергоустановок там, где это необходимо.

Заключение

Развитие АЗРФ объявлено стратегическим приоритетом государства. Без локальной энергетики реализация потенциала этих земель невозможна в принципе. В то же время строительство больших электростанций здесь не оправдано экономически. Этому препятствуют и географические особенности,

и отсутствие сетевой инфраструктуры. При этом экологические особенности региона требуют уделять внимание защите хрупких экосистем Арктики от последствий развития традиционной энергетики. Важно отметить и существующие особенности, и различия отдельных территорий АЗРФ, что не дает возможности выбрать единый подход к обеспечению данных территорий энергией и требует учета таких особенностей и различий при выборе метода генерации.

В данном исследовании был предложен экспертный подход к обоснованию выбора подходящего объекта генерации с учетом характеристик и территорий, и самих объектов генерации, включающий два уровня проведения экспертизы. На первом этапе в рамках предложенного авторами подхода выявляются территории (опорные пункты) АЗРФ, нуждающиеся в совершенствовании энергетической системы. Далее, на втором этапе, с участием экспертов разрабатывается модель принятия решений о выборе типа генерации с учетом основных особенностей объектов генерации (таких, как цена строительства, себестоимость 1 кВт·ч, срок эксплуатации, мощность, стабильность работы, возможность размещения в арктических условиях). Эксперты участвовали как в выборе важнейших критериев объектов генерации, так и в оценке их приоритетности. На последнем этапе было обосновано решение о выборе объекта генерации на основе разработанной модели для конкретного опорного пункта АЗРФ — поселка Тикси.

Предложенный в данной работе подход к выбору объекта генерации, основанный на использовании метода анализа иерархий (МАИ), при выбранном наборе критериев показал, что наиболее подходящим генерирующим объектом является плавучая атомная тепловая электростанция (ПАТЭС). Данный тип генерации электроэнергии в наибольшей степени отвечает требованиям обеспечения энергетической безопасности и устойчивого развития

АЗРФ, а также является наиболее приемлемым по всей совокупности рассмотренных критериев с точки зрения обеспечения потребителей электрической энергией.

В результате проведенного исследования был предложен экспертный подход к обоснованию выбора объектов генерации, что расширяет существующие теории в области энергетического управления и планирования. Внедрение МАИ в двухуровневую экспертизу создает новую методологическую основу для оценки энергетических проектов. Это может стать основой для дальнейших исследований в области принятия решений и оценки рисков в энергетике.

Предложенный подход может стать основой принятия стратегически важных решений по развитию энергетической отрасли АЗРФ федеральными, региональными и местными органами власти и может быть применен для выбора приоритетных генерирующих объектов в арктических регионах РФ, что поспособствует улучшению энергетической инфраструктуры и повышению уровня энергетической безопасности. Возможность дополнения и расширения подхода в зависимости от целей исследования и характеристик территории делает его перспективным инструментом для обоснования различных проектов модернизации генерации электроэнергии.

Результаты данной статьи могут стать основой для дальнейших исследований вопросов обеспечения устойчивого развития энергетики на территории АЗРФ. Выбор наилучшей альтернативы при ограниченности данных может быть модифицирован привлечением большего количества экспертов в исследуемой области для решения поставленных задач и разработки программ развития АЗРФ. При этом могут быть введены дополнительные критерии выбора, а также сформированы новые альтернативы в зависимости от возникающих изменений в данной области или специфики целей исследования.

Список источников

1. Brazovskaia V., Gutman S., Zaytsev A. Potential impact of renewable energy on the sustainable development of Russian Arctic territories // *Energies*. 2021. Vol. 14, no. 12. P. 3691. DOI: 10.3390/en14123691.
2. Marti L., Puertas R. Sustainable energy development analysis: Energy Trilemma // *Sustainable Technology and Entrepreneurship*. 2022. Vol. 1, no. 1. P. 100007. DOI: 10.1016/j.stae.2022.100007.
3. Гафуров А. Р. Сущность категории «энергетическая безопасность» и ее место в общей структуре безопасности // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2010. Т. 13, № 1. С. 178–182.
4. Воропай Н. И., Сендеров С. М. Энергетическая безопасность: сущность, основные проблемы, методы и результаты исследований. М.: Институт народного прогнозирования, 2011. 89 с.
5. Кондраль Д. П. Новое издание о системе стратегического управления процессами развития севера России // *Арктика и Север*. 2014. № 15. С. 186–189.
6. Смоленцев Д. О. Развитие энергетики Арктики: проблемы и возможности малой генерации // *Арктика: экология и экономика*. 2012. № 3 (7). С. 22–29.

7. Попель О. С., Киселева С. В., Моргунова М. О., Габдрахманова Т. С., Тарасенко А. Б. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации // *Арктика: экология и экономика*. 2015. № 1 (17). С. 64–69.
8. Перспективы использования атомных энергетических технологий в Арктике / А. А. Саркисов [и др.] // *Арктика: экология и экономика*. 2022. Т. 12, № 3. С. 349–358. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358.
9. Lukutin B. V., Kiushkina V. R., Ivanov I. S. Criteria for involving RES in increasing the energy security of isolated inactive areas of the North and Arctic Zone of the Russian Federation // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2021. Vol. 14, no. 5. P. 507–519. DOI: 10.17516/1999-494X-0329.
10. Šprajc P., Bjegović M., Vasić B. Energy security in decision making and governance-methodological analysis of energy trilemma index // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 114. P. 109341. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109341.
11. Дубровин Е., Дубровин И. Энергетическая безопасность как важная составляющая национальной безопасности // *Энергетика и промышленность России*. 2011. № 6. С. 4.
12. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Изменения климата и их воздействие на окружающую среду и экономику российской Арктики // *Арктика: зона мира и сотрудничества*. М.: ИМЭМО РАН, 2011. С. 7–26.
13. Sea-ice-free Arctic during the Last Interglacial supports fast future loss / M. Guarino [et al.] // *Nature Climate Change*. 2020. Vol. 10, no. 10. P. 928–932. DOI: 10.1038/s41558-020-0865-2.
14. Monaco S. Identity, Territories, and Sustainability: Challenges and Opportunities for Achieving the UN Sustainable Development Goals. Emerald Publishing Limited, Leeds, pp. 71–79. DOI: 10.1108/978-1-83797-549-520241021.
15. Киушкина В. Р. Энергетическая безопасность изолированных территорий северных районов и арктических зон // *Региональная энергетика и энергосбережение*. 2018. № 1. С. 68.
16. Ульянова И. В., Рытова Е. В. Экономика российской Арктики: состояние и специфика // *Инновационные научные исследования в современном мире: Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции*. Уфа, 2021. С. 125–141.
17. Фаузер В. В., Смирнов А. В., Фаузер Г. Н., Лыткина Т. С. Российская и Мировая Арктика. Население, экономика, расселение. М.: Политическая энциклопедия, 2022. 215 с.
18. Порфирьев Б. Н., Лексин В. Н. Роль технологической модернизации в формировании социально ориентированной экономики и обеспечении устойчивого развития российской Арктики // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2017. № 4. С. 629–639. DOI: 10.18184/2079-4665.2017.8.4.629-639.
19. De Witt M., Stefánsson H., Valfells Á., Larsen J. N. Energy resources and electricity generation in Arctic areas // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 169. P. 144–156. DOI: 10.1016/j.renene.2021.01.025.
20. Румянцева Е. И., Румянцева А. В., Суворов А. С. Развитие атомной энергетики в Арктике: проблемы и перспективы // *Система управления экологической безопасностью: сб. тр.* Екатеринбург, 2019. С. 195–200.
21. Иванов А. В., Складчиков А. А., Хренников А. Ю. Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии // *Российская Арктика*. 2021. № 2 (13). С. 62–80. DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
22. Змиева К. А. Проблемы энергоснабжения арктических регионов // *Российская Арктика*. 2020. № 8. С. 5–14. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-00001.
23. Жилкина Ю. В. Зарубежный опыт энергоснабжения субарктических территорий // *Энергохозяйство за рубежом*. 2017. № 6. С. 57–60.
24. Exploring the role of nuclear energy in the energy transition: A comparative perspective of the effects of coal, oil, natural gas, renewable energy, and nuclear power on economic growth and carbon emissions / Q. Wang [et al.] // *Environmental Research*. 2023. Vol. 221. P. 115290. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115290.
25. Киушкина В. Р. Проблемы энергообеспеченности с позиции энергетической безопасности изолированных энергозон Арктических территорий // *Арктика: общество, наука и право*. СПб., 2020. С. 340–348.
26. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
27. Опорные населенные пункты Российской Арктики: материалы предварительного исследования / АНО «Информационно-аналитический центр Государственной комиссии по вопросам развития Арктики»; АНО «Институт регионального консалтинга». 2022. 246 с.
28. Коробов В. Б., Тутыгин А. Г. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения // *Экономика и управление*. 2016. № 8 (130). С. 60–65.

References

1. Brazovskaia V., Gutman S., Zaytsev A. Potential impact of renewable energy on the sustainable development of Russian Arctic territories. *Energies*, 2021, Vol. 14, no. 12, p. 3691. DOI: 10.3390/en14123691.
2. Marti L., Puertas R. Sustainable energy development analysis: Energy Trilemma. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 2022, Vol. 1, no. 1, p. 100007. DOI: 10.1016/j.stae.2022.100007.
3. Gafurov A. R. Sushchnost' kategorii "energeticheskaya bezopasnost'" i ee mesto v obshchei strukture bezopasnosti [The essence of the category "energy security" and its place in the general structure of security]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Murmansk State Technical University], 2010, Vol. 13, no. 1, pp. 178–182. (In Russ.).
4. Voropai N. I., Senderov S. M. *Energeticheskaya bezopasnost': sushchnost', osnovnye problemy, metody i rezul'taty issledovaniy* [Energy security: Essence, main problems, methods, and research results]. Moscow, Institut narodnogo prognozirovaniya [The Institute of Economic Forecasting], 2011, 89 p. (In Russ.).
5. Kondral D. P. Novoe izdanie o sisteme strategicheskogo upravleniya protsessami razvitiya severa Rossii [New publication on the strategic management system for the development processes of Northern Russia]. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2014, no. 15, pp. 186–189. (In Russ.).
6. Smolentsev D. O. Razvitie energetiki Arktiki: problemy i vozmozhnosti maloi generatsii [Development of the Arctic energy sector: Challenges and opportunities for small-scale generation]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy], 2012, no. 3, p. 7. (In Russ.).
7. Popel O. S., Kiseleva S. V., Morgunova M. O., Gabderakhmanova T. S., Tarasenko A. B. Ispol'zovanie vozobnovlyaemykh istochnikov energii dlya energosnabzheniya potrebiteli v Arkticheskoi zone [Renewable energy for power supply in the Arctic zone of the Russian Federation]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy], 2015, no. 1 (17), pp. 64–69. (In Russ.).
8. Sarkisov A. A., Smolentsev D. O., Antipov S. V., Bilashenko V. P., Kobrinskiy M. N., Shvedov P. A. Perspektivy ispol'zovaniya atomnykh energeticheskikh tekhnologii v Arktike [Prospects of using nuclear power technologies in the Arctic]. *Arktika ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economics], 2022, Vol. 12, no. 3, pp. 349–358. (In Russ.). DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358.
9. Lukutin B. V., Kiushkina V. R., Ivanov I. S. Criteria for involving RES in increasing the energy security of isolated inactive areas of the North and Arctic Zone of the Russian Federation. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2021, Vol. 14, no. 5, pp. 507–519. DOI: 10.17516/1999-494X-0329.
10. Šprajc P., Bjegović M., Vasić B. Energy security in decision making and governance-methodological analysis of energy trilemma index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, Vol. 114, p. 109341. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109341.
11. Dubrovin E., Dubrovin I. Energeticheskaya bezopasnost' kak vazhnaya sostavlyayushchaya natsional'noi bezopasnosti [Energy security as an important component of national security]. *Energetika i promyshlennost' Rossii* [Energy and Industry of Russia], 2011, No. 6, p. 4. (In Russ.).
12. Kattsov V. M., Porfir'ev B. N. Izmeneniya klimata i ikh vozdеistvie na okruzhayushchuyu sredu i ekonomiku rossiiskoi Arktiki [Climate change and its impact on the environment and economy of the Russian Arctic]. *Arktika: zona mira i sotrudnichestva* [The Arctic: A Zone of Peace and Cooperation]. Moscow, IMEMO RAN, 2011, pp. 7–26 (In Russ.).
13. Guarino M., Sime L. C., Schröder D., Malmierca-Vallet I., Rosenblum E., Ringer M., Ridley J., Feltham D., Bitz C., Steig E. J., Wolff E., Stroeve J., Sellar A. Sea-ice-free Arctic during the Last Interglacial supports fast future loss. *Nature Climate Change*, 2020, Vol. 10, no. 10, pp. 928–932. DOI: 10.1038/s41558-020-0865-2.
14. Monaco S. *Identity, territories, and sustainability: Challenges and opportunities for achieving the UN Sustainable Development Goals*. Emerald Publishing Limited, pp. 71–79. DOI: 10.1108/978-1-83797-549-520241021.
15. Kiushkina V. R. Energeticheskaya bezopasnost' izolirovannykh territorii severnykh raionov i arkticheskikh zon [Energy security of isolated territories in northern regions and the Arctic]. *Regional'naya energetika i energosberezhenie* [Regional Energy and Energy Saving], 2018, no. 1, pp. 68–68. (In Russ.).
16. Ul'yanova I. V., Rytova E. V. *Ekonomika rossiiskoi Arktiki: sostoyanie i spetsifika* [Economy of the Russian Arctic: The current status and characteristics]. *Innovatsionnye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire: Sbornik nauchnykh statei po materialam V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Current innovative studies: A collection of scientific articles based on the materials of the V International Research-to-Practice Conference]. Ufa, 2021, pp. 125–141. (In Russ.).
17. Fauzer V. V., Smirnov A. V., Fauzer G. N., Lytkina T. S. *Rossiskaya i mirovaya Arktika. Naselenie, ekonomika, rasselenie* [The Russian and global Arctic. Population, economy, and population distribution]. Moscow, Politicheskaya entsiklopediya, 2022, 215 p. (In Russ.).

18. Porfiryev B. N., Leksin V. N. Rol' tekhnologicheskoi modernizatsii v formirovanii sotsial'no orientirovannoi ekonomiki i obespechenii ustoichivogo razvitiya rossiiskoi Arktiki [Drifting to socially-oriented economy and sustainable development of the Russian Arctic: The input of technological modernization]. *MIR (Modernizatsiia. Innovatsii. Razvitie)* [MIR (Modernization. Innovation. Research)], 2017, no. 4, pp. 629–639. (In Russ.). DOI: 10.18184/2079-4665.2017.8.4.629-639.
19. De Witt M., Stefánsson H., Valfells Á., Larsen J. N. Energy resources and electricity generation in Arctic areas. *Renewable Energy*, 2021, Vol. 169, pp. 144–156. DOI: 10.1016/j.renene.2021.01.025.
20. Rumyantseva E. I., Rumyantseva A. V., Suvorov A. S. Razvitie atomnoi energetiki v Arktike: problemy i perspektivy [Development of nuclear energy in the Arctic: Problems and prospects]. *Sistema upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu* [Environmental Safety Management System]. Yekaterinburg, 2019, pp. 195–200. (In Russ.).
21. Ivanov A. V., Skladchikov A. A., Khrennikov A. Yu. Razvitie elektroenergetiki arkticheskikh regionov Rossiiskoi Federatsii s uchetom ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii [Development of electric power industry in the Arctic regions of the Russian Federation, considering the use of renewable energy sources]. *Rossiiskaya Arktika* [Russian Arctic], 2021, no. 2 (13). pp. 62–80. (In Russ.). DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
22. Zmieva K. A. Problemy energosnabzheniya arkticheskikh regionov [Problems of energy supply in the Arctic regions]. *Rossiiskaya Arktika* [Russian Arctic], 2020, no. 8, pp. 5–14. (In Russ.). DOI: 10.24411/2658-4255-2020-00001.
23. Zhilkina Yu. V. Zarubezhnyi opyt energosnabzheniya subarkticheskikh territorii [Energy supply in the subarctic zone: International experience]. *Energokhozyaistvo za rubezhom* [Global Energy Management], 2017, no. 6, pp. 57–60. (In Russ.).
24. Wang Q., Guo J., Li R., Jiang X. Exploring the role of nuclear energy in the energy transition: A comparative perspective of the effects of coal, oil, natural gas, renewable energy, and nuclear power on economic growth and carbon emissions. *Environmental Research*, 2023, Vol. 221, p. 115290. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115290.
25. Kiushkina V. R. Problemy energoobespechennosti s pozitsii energeticheskoi bezopasnosti izolirovannykh energozon Arkticheskikh territorii [Problems of energy supply from the standpoint of energy security in the isolated Arctic zones]. *Arktika: obshchestvo, nauka i pravo* [Arctic: Society, Science and Law]. Saint Petersburg, 2020, pp. 340–348. (In Russ.).
26. Saati T. *Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii* [Decision making. Analytic hierarchy process]. Moscow, Radio i svyaz' [Radio and communications], 1993, 278 p. (In Russ.).
27. *Opornye naselennye punkty Rossiiskoi Arktiki: materialy predvaritel'nogo issledovaniya* [Anchor settlements of the Russian Arctic: Preliminary research results]. ANO "Informatsionno-analiticheskii tsentr Gosudarstvennoi komissii po voprosam razvitiya Arktiki", ANO "Institut regional'nogo konsaltinga" [ANO "Information and Analytical Center of the State Commission for Arctic Development", ANO "Institute of Regional Consulting"], 2022, 246 p. (In Russ.).
28. Korobov V. B., Tutygin A. G. Problemy ispol'zovaniya metoda analiza ierarkhii i puti ikh resheniya [Problems of the analytic hierarchy process and some solutions]. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], 2016, no. 8 (130), pp. 60–65. (In Russ.).

Об авторах:

Е. В. Рытова — канд. экон. наук, доц.;
С. С. Гутман — канд. экон. наук, доц.;
В. В. Бразовская — ассистент;
К. С. Кожина — ассистент.

About the authors:

E. V. Rytova — PhD (Economics), Associate Professor;
S. S. Gutman — PhD (Economics), Associate Professor;
V. V. Brazovskaya — Assistant;
K. S. Kozhina — Assistant.

Статья поступила в редакцию 09 октября 2024 года.

Статья принята к публикации 03 декабря 2024 года.

The article was submitted on October 9, 2024.

Accepted for publication on December 3, 2024.