

УДК 620.92

DOI: 10.17586/2310-1172-2023-16-3-12

Научная статья

## **Экономические аспекты применения альтернативных источников энергии в арктической зоне РФ на современном этапе**

**Румянцев Д.С.** *Dmitriy-official27@yandex.ru*

*Канд. техн. наук Дидиков А.Е.* *didikov@yandex.ru*

*Университет ИТМО*

*197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49*

*В данной статье рассмотрены основные проблемы, связанные с использованием традиционных источников энергии в регионе. Описаны перспективы использования возобновляемых источников энергии, таких как ветроэнергетика и солнечная энергия, а также их экономическая эффективность. Приведены основные этапы экономической поддержки в развитии альтернативной энергетики. Авторы провели анализ стоимости производства электроэнергии на основе альтернативных источников и сравнили ее с затратами на производство электроэнергии на основе традиционных источников. Помимо этого, в данной работе освещается необходимость рассмотрения альтернативных источников энергии в контексте обеспечения энергетической безопасности в арктической зоне. Учитывая климатические условия и удаленность этого региона, разнообразие источников энергии может способствовать увеличению надежности энергетических систем и обеспечению постоянства энергоснабжения в арктических поселениях и объектах инфраструктуры. Были приведены аргументы в пользу того, что развитие альтернативных источников энергии в арктической зоне может создать дополнительные возможности для исследований и инноваций. Привлечение научных и инженерных ресурсов к данной области может способствовать разработке новых технологий и методов, адаптированных к особенностям арктической среды. В результате исследования были выявлены потенциальные экономические выгоды использования альтернативных источников энергии в арктической зоне РФ, а также предложены рекомендации по дальнейшему развитию инфраструктуры возобновляемой энергетики в регионе. Результаты исследования могут быть использованы как для принятия решений в области энергетики, так и для разработки стратегии развития арктической зоны России. Результаты исследования показывают потенциальные экономические выгоды перехода к альтернативным источникам энергии в арктической зоне России. Эти выводы могут служить основой для разработки стратегии развития арктической зоны, ориентированной на более устойчивое и эффективное использование ресурсов и снижение негативного воздействия на окружающую среду.*

*Ключевые слова:* Арктика, возобновляемые источники энергии, ветряная энергетика, LCOE, модернизация энергосистем, удаленный поселения.

---

## **Economic aspects of the use of alternative energy sources in the arctic zone of the Russian Federation at the present stage**

**Rumiantsev D.S.** *Dmitriy-official27@yandex.ru*

*Ph.D. Didikov A.E.* *didikov@yandex.ru*

*ITMO University*

*197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky pr., 2 49*

*This article discusses the main problems associated with the use of traditional energy sources in the region. The prospects for the use of renewable energy sources, such as wind energy and solar energy, as well as their economic efficiency are described. The main stages of economic support in the development of alternative energy are given. The authors analyzed the cost of electricity generation based on alternative sources and compared it with the cost of electricity generation based on traditional sources. In addition, this work highlights the need to consider alternative energy sources in the context of ensuring energy security in the Arctic zone. Given the climatic conditions and remoteness of this region, a variety of energy sources can help increase the reliability of energy systems and ensure the continuity of energy supply in Arctic settlements and infrastructure. Arguments have been made that the development of alternative energy sources in the Arctic region could create additional opportunities for research and innovation. Attracting scientific and*

*engineering resources to this area can contribute to the development of new technologies and methods adapted to the characteristics of the Arctic environment. As a result of the study, the potential economic benefits of using alternative energy sources in the Arctic zone of the Russian Federation were identified, and recommendations were made for the further development of renewable energy infrastructure in the region. The results of the study can be used both for making decisions in the field of energy and for developing a strategy for the development of the Russian Arctic zone. The study results show the potential economic benefits of switching to alternative energy sources in the Russian Arctic. These findings can serve as the basis for developing a strategy for the development of the Arctic zone, focused on more sustainable and efficient use of resources and reducing negative impacts on the environment.*

**Keywords:** Arctic, renewable energy sources, wind energy, LCOE, energy system modernization, remote settlements.

## Введение

На сегодняшний день развитие Арктической зоны входит в число национальных экономических и политических интересов Российской Федерации [1]. Это геостратегическая территория, покрывающая около трети всей арктической площади. Россия, являясь одной из ведущих арктических держав, заинтересована в усилении своего присутствия в регионе. В поставленные цели входит развитие экологического сектора, обеспечение социальной защиты коренного и местного населения, выполнение геополитических целей страны и задач по обеспечению безопасности самой протяженной границы России. Более того, уникальная транспортная магистраль – Северный морской путь в настоящее время превращается в одну из важнейших транспортных систем в мире. Тем не менее, на сегодняшний день одним из наиболее актуальных вопросов является энергообеспечение удаленных районов арктической зоны.

Одним из приоритетных потребителей электрической и тепловой энергии является инфраструктура разведки полезных ископаемых, освоения месторождений и добычи природных ресурсов, а именно, буровые установки, в том числе и морского базирования, насосное оборудование, а также вахтовые поселки. Для указанных целей используются традиционные источники энергии – уголь, мазут, газ, дизельное топливо. Однако, несмотря на широкую распространенность, зачастую использование данных теплоносителей влечет серьезную логистическую и экономическую нагрузку. Транспортировка топлива в удаленные, труднодоступные регионы, в конечном счете отражается на стоимости электроэнергии, в том числе, для конечного потребителя [2]. Помимо этого, традиционные источники энергии оказывают значительное негативное экологическое воздействие. Одной из основных задач плана по развитию Арктики [3] является сокращение подобного эффекта, в том числе, за счет модернизации энергосистем региона. Вопреки успешному зарубежному опыту внедрения альтернативных источников энергии в малоразмерные и удаленные системы [4], в том числе в северных регионах, Россия пока отстает и следует за тенденциями развития в данной области. Однако, в отличие от стран Европы, в нашей стране имеется огромный сырьевой потенциал. Объективен тот факт, что для централизованной энергосистемы регионов нашей страны использования «зеленой» энергии является неэффективным по экономическим причинам. Современные электрические – и тепловые станции, работающие на газу, обладают весьма низкой себестоимостью энергии, а новейшие разработки в сфере энергетики уменьшают их экологический след. Тем не менее, кардинально иначе ситуация обстоит в малочисленных, удаленных поселках севера. Для таких регионов проблема поставки электроэнергии является более актуальной по изложенным выше причинам. Совокупный потенциал для использования возобновляемых источников энергии в Арктике огромен.

## Характеристика энергосистемы Арктики

Характерной особенностью энергопотребления в Арктическом регионе РФ является предельно низкая плотность населения – менее 1 человека на 1 кв. км и высокая дисперсность расселения. Арктика крайне неоднородна также по уровню интенсивности хозяйственной деятельности и инфраструктурной освоенности. Развитие Арктической зоны Российской Федерации во многом сдерживается сложностью энергообеспечения изолированных потребителей. Одной из причин этого являются чрезмерно большие затраты на северный завоз топлива [4]. В суровых климатических условиях требуется значительное количество топлива для поддержания работы удаленных исследовательских станций и лагерей, и тем более – поселков.

В дополнение к вышеупомянутым проблемам транспортировки дизельного топлива, глобальной проблемой сжигания являются выбросы парниковых газов с серьезным воздействием на климат. Помимо парниковых газов выделяется черный углерод. Черный углерод, также известный как сажа или дым, является видом твердых частиц. Он образуется при неполном сгорании органических материалов, включая древесину, уголь, нефть и другие углеводороды. Черный углерод имеет темный цвет и мельчайшую структуру, что придает ему характерные черные или темно-серые пигментные свойства. Черный углерод является мощным абсорбентом солнечной радиации, что приводит к его прогреванию. В результате этого таяние снега и льда ускоряется,

поскольку черные частицы поглощают солнечную энергию и вызывают повышенное тепло. Это влияет на баланс энергии в атмосфере и может приводить к ускоренному таянию ледников, снега и морского льда [5].

На всей территории Арктической зоны присутствуют различные возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, энергия ветра, океана и морей, низкопотенциальное тепло, био- и геотермальная энергия. Для обеспечения электро- и теплоснабжения в таких регионах на уровне 70–90%, а иногда и на 100%, с накоплением энергии, наиболее целесообразным является создание комбинированных источников энергоснабжения. При комбинировании энергокомплексов следует выбирать наиболее экономичные источники энергии, учитывая особенности конкретного населенного пункта или промышленного потребителя. Например, в северной части Арктической зоны, где местность практически безлесная, биоэнергоресурсы являются ограниченными, однако среднегодовая скорость ветра в приземном слое достаточно высока (6–7 м/сек) [6]. В южной части Арктической зоны преобладают биоотходы, такие как древесные щепы, опилки и отходы лесосек, а среднегодовая скорость ветра составляет 3–4,5 м/сек. Поэтому в каждом конкретном населенном пункте или промышленном объекте рекомендуется выбирать наиболее экономичные источники энергии, учитывая доступные ресурсы и условия окружающей среды. Например, несмотря на повышение КПД солнечных панелей при низких температурах, увеличении поглощаемого излучения за счет отражения от снега, энергию солнца не следует рассматривать как полноценную альтернативу дизельного энергоснабжения в виду ограниченности годового использования. По известным данным, для возможности обеспечения до 25% тепла в системах отопления, 50% в системах водоснабжения и 75% в системах кондиционирования воздуха, годовое поступление солнечной радиации должно составлять 1200 кВт·ч/м<sup>2</sup> [7].

В качестве успешных примеров реализации ВИЭ в Арктике могут служить Анадырская ветряная электростанция на мысе Обсервации Анадырского района, включающая 10 ветрогенераторов (с 2002 г.) мощностью 2,5 МВт в Чукотском автономном округе, экспериментальная ветроэнергетическая станция в г. Лабытнанги (с 2014 г.) мощностью 250 кВт в Ямало–Ненецкий автономном округе, ветроэлектрический парк «Заполярный», состоящий из 6 ветрогенераторов (с 1993 по 2014 г.) мощностью 1,5 МВт в Республике Коми [8], а также новейшие проекты – экспериментальная научная станция «Снежинка», работающая на водородной энергии, вырабатываемой ветрогенераторами, а также ветропарк в Мурманской области, введенный в эксплуатацию в мае 2023 года – крупнейший в мире за полярным кругом, мощностью 201 МВт.

Приведем основные экономические аспекты применения АИЭ в Арктике:

– Снижение затрат на топливо и логистику. Использование альтернативных источников энергии, таких как солнечная и ветряная энергия, может снизить зависимость от дорогостоящего топлива и уменьшить логистические затраты на его транспортировку в удаленные районы Арктики.

– Уменьшение экологических рисков и затрат. Традиционные источники энергии, такие как уголь и нефть, могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье людей. Использование альтернативных источников энергии может уменьшить экологические риски и затраты на их устранение.

– Развитие местной экономики. Развитие альтернативных источников энергии может способствовать созданию новых рабочих мест и развитию местной экономики в районах с низкой плотностью населения.

– Диверсификация энергетического микса. Использование альтернативных источников энергии может помочь снизить зависимость от традиционных источников, таких как нефть и газ, и диверсифицировать энергетическое соотношение используемых ресурсов.

– Повышение энергетической безопасности. Использование альтернативных источников энергии может повысить энергетическую безопасность и надежность энергоснабжения в удаленных районах Арктики.

– Снижение стоимости энергии для конечного потребителя. Использование альтернативных источников энергии может помочь снизить стоимость энергии для конечных потребителей в удаленных районах Арктики, где стоимость энергии часто выше из-за высоких логистических затрат.

### **Выбор объекта исследования**

В Арктической зоне Российской Федерации расположено большое количество объектов, имеющих важное стратегическое значение. Поэтому вопрос бесперебойного и эффективного энергоснабжения, независимость от поставок топлива с «большой земли» является ключевым. Одними из основных населенных пунктов региона, имеющих проблемы в электроснабжении являются: Диксон, Певек, Новая Чара, Беринговский, Провидения, Якутск (частично расположен в Арктике), Мирный (частично расположен в Арктике), Анадырь и Норильск [9].

Для исследования экономического потенциала установки АИЭ был выбран пгт. Диксон по следующим причинам. Экономика Диксона связана с освоением и добычей полезных ископаемых на Таймыре и в Красноярском крае. В поселке находится один из крупнейших в России морских портов, обеспечивающий снабжение рудников Норильска. Также в Диксоне развиты рыболовство и охота на морских млекопитающих, имеются местные предприятия по переработке рыбы и морепродуктов. Важной отраслью экономики Диксона

является транспорт, связанный с обслуживанием морских судов и ледоколов, а также воздушного транспорта с использованием местного аэропорта. Несмотря на свое стратегическое значение, Диксон относится к малочисленным поселкам: по данным на 2021 год, в нем проживает около 5000 человек. Этапы расчета нагрузки для данного поселения приведены на рис. 1.

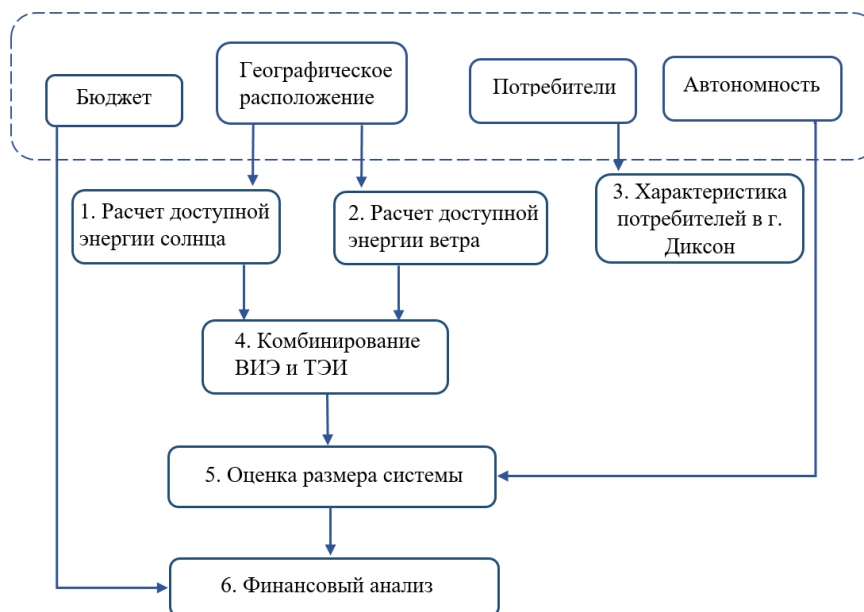


Рис. 1. Анализ требований нагрузки в г. Диксон

Он включает в себя детальное исследование и оценку факторов, связанных с потреблением энергии. В ходе анализа рассматриваются исторические данные о потреблении энергии для определения паттернов потребления и выявления сезонных колебаний и пиковых нагрузок. Также проводится прогнозирование будущего потребления на основе планируемого роста населения, экономического развития и изменений в поведении потребителей. Особое внимание уделяется оценке энергетической эффективности и выявлению возможностей для снижения потребления энергии. Анализ требований нагрузки позволяет определить оптимальные стратегии развития энергетической системы и принять решения по ее оптимизации.

В настоящее время энергоснабжение Диксона осуществляется посредством 9 дизельных установок суммарной мощностью ~6600 кВт, из которых 3 расположены на о. Диксон. Общие среднегодовые потребности в топливе для ДЭС посёлка составляют около 2500 т арктического дизельного топлива. Суммарная выработка электроэнергии составляет ~6 млн. кВт\*ч/год, из которых около 50% используется для обеспечения собственных нужд поставщиком электроэнергии. На материковой части посёлка Диксон расположена дизельная электростанция. В составе электростанции имеется шесть дизельных электрогенераторов марки «Шкода» 6LS 350 PN, суммарная мощность агрегатов составляет 2395 кВт. Здание электростанции построено в 1971 году, общая площадь объекта 1121 м<sup>2</sup>. Техническое состояние дизелей характеризуется значительной степенью износа оборудования. Потери при передаче электрической энергии в материковой части ~7% [10].

Очевиден тот факт, что такое потребление дизельного топлива оказывает сугубо негативное воздействие на экологический сектор Арктики. Приблизительные годовые выбросы от выработки энергоносителя следующие:

–Выбросы CO<sub>2</sub>: при сгорании 1 тонны дизельного топлива выделяется около 2,68 тонн CO<sub>2</sub>. Тогда вред от выброса составит примерно 6700 тонн CO<sub>2</sub>.

–Оксиды азота (NOx): средний показатель при сгорании дизельного топлива составляет около 8 граммов оксидов азота на каждый литр топлива. Учитывая, что плотность дизельного топлива составляет примерно 0,85 г/мл, получаем выбросы оксидов азота примерно в объеме 17 000 литров, или 17 тонн NOx.

–Вредные частицы (PM): при сгорании дизельного топлива выделяется около 0,1 грамма вредных частиц на каждый литр топлива. Тогда выбросы вредных частиц составят примерно 212,5 кг, или 0,2125 тонны PM [11].

Как упоминалось ранее, помимо негативного экологического воздействия от использования дизельного топлива, существуют серьезные экономические затраты, связанные с доставкой горючего через Северный морской путь. Ниже приведены данные городской администрации пгт. Диксон о закупке дизельного топлива [12]. Стоимость с учетом транспортировки составляет 84 рубля/л. При средней оптовой стоимости на материке в 50 рублей, наценка составляет почти 70 процентов. Из-за удаленности Диксона от основных энергетических центров,



необходимость транспортировки дизельного топлива на большие расстояния становится фактором, значительно влияющим на стоимость электроэнергии. Затраты на доставку и хранение топлива, а также сложности обеспечения его регулярных поставок, приводят к увеличению стоимости производства электроэнергии. Кроме того, арктический климат с его низкими температурами и суровыми условиями эксплуатации требует специальных технических решений и увеличенных затрат на обслуживание и ремонт энергетического оборудования. Это также влияет на общую стоимость электроэнергии в Диксоне. В результате, жители поселка вынуждены платить более высокую цену за электричество, что создает экономическую нагрузку на местное население, предприятия и организации. Закупочная стоимость дизельного топлива в регионе представлена в табл. 1. В связи с этим, оптимизация энергетической системы и использование альтернативных источников энергии в этом регионе могут способствовать снижению стоимости электроэнергии и повышению энергетической эффективности, что приведет к улучшению жизненного уровня и развитию Диксона.

Таблица 1

**Стоимость доставки дизельного топлива в пгт. Диксон**

Наименование товара работ, услуг	Код продукции	Единицы измерения	Цена за единицу	Количество	Сумма, руб
Поставка дизельного топлива	19.20.21.335	Л;ДМЗ	84.00	3000	2 520 000

На основании этих данных можно сделать вывод о существенном увеличении стоимости электроэнергии для конечного потребителя. В подтверждение этому приведем таблицу тарифов на электроэнергию в Диксоне за 2022 г. [13] Средняя стоимость 1 кВт электроэнергии по сравнению со стоимостью электроэнергии в других регионах выше на порядок. Одноставочные тарифы на электроэнергию приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Тарифа на электроэнергию в пгт. Диксон в 2022 году**

Наименование тарифа	Стоимость 1 кВт·ч, руб
Одноставочный тариф с 01.01.2022 по 30.06.2022 (с учетом НДС)	72,26
Одноставочный тариф с 01.07.2022 по 31.12.2022 (с учетом НДС)	73,8
Одноставочный тариф, дифференцируемый по двум зонам суток. Дневная зона (пиковая и полупиковая) с 01.01.2022 по 30.06.2022 (с учетом НДС)	83,09
Одноставочный тариф, дифференцируемый по двум зонам суток. Дневная зона (пиковая и полупиковая) с 01.07.2022 по 31.12.2022 (с учетом НДС)	84,86

**Альтернативные источники как эффективная замена существующих источников энергоснабжения**

Альтернативные источники энергии представляют собой эффективную замену существующих источников энергоснабжения для поселка Диксон. В настоящее время поселение полностью или частично зависит от традиционных источников энергии, таких как дизельные генераторы. Однако использование этих источников сопряжено с некоторыми проблемами, включая высокую стоимость топлива, транспортные трудности и негативное воздействие на окружающую среду. Преимущества использования альтернативных источников энергии в Диксоне включают снижение зависимости от импортированного топлива, сокращение эксплуатационных расходов и снижение негативного воздействия на окружающую среду [14]. Кроме того, использование альтернативных источников энергии способствует развитию местных экономических возможностей, так как создает новые рабочие места и стимулирует развитие инфраструктуры для производства, установки и обслуживания систем альтернативной энергетики.

Для начала рассмотрим потенциал ветряной энергетики. Благодаря высокой средней скорости ветра в пгт Диксон (рис. 2), использование энергии ветра является эффективным и перспективным. Местность позволяет

разместить ветряные установки с известной эффективностью. Энергия, полученная от ветрогенераторов, может быть использована для электролиза воды с получением водорода, с последующим использованием в качестве высокоэффективного топлива [15].

	Единица		Размещение климатических данных		Местоположение объекта		Источник	
Широта			73,5		73,5			
Долгота			80,4		80,5			
Климатическая зона			8 - Субарктический					Грунтовой+NASA
Возвышенность	м		47		4			Грунтовой - Карта
Расчётная температура отопления	°C		-37,1					Грунтовой
Расчётная температура охлаждения	°C		12,9					Грунтовой
Колебания температуры земли	°C		16,5					NASA

Месяц	Температура воздуха °C	Относительная влажность %	Осадки мм	Дневная сумма солнечной радиации - горизонтальная кВтч/м²/день	Атмосферное давление кПа	Скорость ветра м/с	Температура земли °C	Градусо-дни отопительного сезона 18 °C	Градусо-дни с отрицательной температурой 10 °C
Январь	-25,6	82,8%	27,59	0,00	100,9	7,0	-19,7	1 352	0
Февраль	-25,1	83,9%	26,32	0,18	101,0	6,9	-19,5	1 207	0
Март	-22,0	84,1%	29,45	1,40	101,0	6,5	-16,5	1 240	0
Апрель	-17,9	82,7%	30,30	3,82	101,0	6,2	-12,1	1 077	0
Май	-7,7	84,9%	35,34	5,70	101,0	6,2	-4,6	797	0
Июнь	0,4	88,5%	53,10	5,01	100,7	6,1	0,3	528	0
Июль	4,9	89,1%	62,31	4,46	100,9	5,7	3,3	406	0
Август	5,3	89,3%	62,00	2,64	100,8	5,9	4,0	394	0
Сентябрь	1,4	87,0%	54,00	1,12	100,6	6,2	2,5	498	0
Октябрь	-8,0	85,5%	48,67	0,33	100,5	6,7	-5,1	806	0
Ноябрь	-17,9	84,6%	33,60	0,01	100,5	6,5	-15,0	1 077	0
Декабрь	-22,9	83,1%	33,48	0,00	100,3	7,2	-18,5	1 268	0
<b>Ежегодный</b>	<b>-11,2</b>	<b>85,5%</b>	<b>496,16</b>	<b>2,07</b>	<b>100,8</b>	<b>6,4</b>	<b>-8,3</b>	<b>10 649</b>	<b>0</b>
<b>Источник</b>	Грунтовой	Грунтовой	NASA	Грунтовой	Грунтовой	Грунтовой	NASA	Грунтовой	Грунтовой
Измерено в					м	10	0		

Рис. 2. Климатические данные района пгт. Диксон

### Методика анализа

Для анализа экономического аспекта применения АИЭ в Арктике в ходе работы была использовано программное обеспечение Homer Pro, которое предоставляет инструменты для моделирования и оптимизации гибридных систем энергоснабжения на основе альтернативных источников энергии. С помощью программы можно провести расчеты потребностей в энергии, определить оптимальную конфигурацию системы и рассчитать экономические показатели.

Преимущества использования Homer Pro включают в себя возможность учета климатических условий, различных типов альтернативных источников энергии, хранения энергии и других факторов, влияющих на эффективность и устойчивость системы энергоснабжения. Более того, программа позволяет проводить сравнительный анализ различных вариантов системы и оценивать их экономическую эффективность. Внедрение программы Homer Pro в работу обосновано ее возможностями и удобством в проведении расчетов. Это позволяет получить более точные данные и определить наиболее оптимальные решения для обеспечения энергоснабжения в удаленных и изолированных поселениях Арктики.

В качестве компонентов возможной энергосистемы было рассмотрено сочетание дизельных генераторов и ветрогенераторов. При этом 70 процентов выработки электричества осуществлялось за счет энергии ветра. В качестве накопителей энергии подобраны литиевые батареи. Солнечные панели, в свою очередь имеющие установленную эффективность в летние месяцы, однако являющиеся малоэффективными в зимние время, в расчетах не учитывались. Как показывает график, срок самокупаемости такой системы составляет 3 года. При расчетах не прогнозировались затраты на транспортировку ветрогенераторов, что является дополнительной финансовой нагрузкой. Тем не менее, очевиден факт рентабельности внедрения ветряных мощностей. Излишки электроэнергии, произведенные ветрогенераторами могут быть накоплены, перенаправлены на работу тепловых насосов или использованы для процесса электролиза [16]. Эти направления являются перспективными, однако требующими дополнительных экономических расчетов и технической реализации.

Зеленым и оранжевым цветом на рисунке 3 обозначено количество произведенной электроэнергии дизельными генераторами, коричневым – ветрогенераторами. В качестве установки была выбрана модель Norvento nED, мощностью 100 кВт в количестве 14 штук.

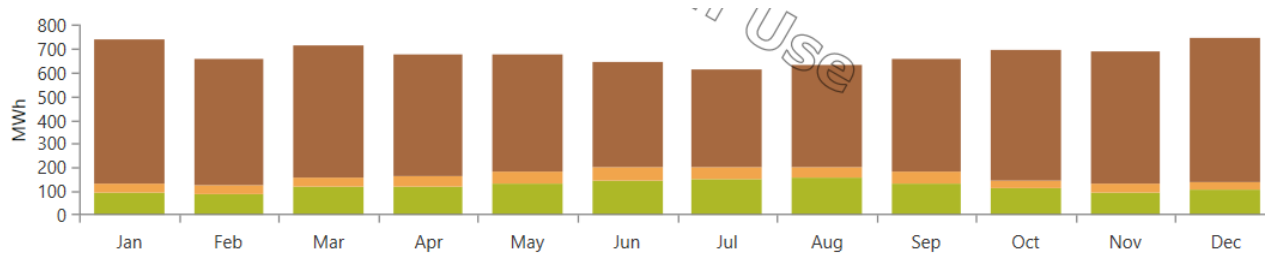


Рис. 3. Ежемесячное производство энергии энергетической системой дизельгенератор+ветрогенератор

Ниже приведена сравнительная таблица основных показателей двух систем (табл. 3). Для начала определим значение параметра LCOE. LCOE (Levelized Cost of Energy) - это уровневая стоимость энергии, которая представляет собой среднюю стоимость производства единицы энергии из определенного источника на протяжении всего срока его эксплуатации [17]. LCOE является широко используемым показателем для сравнения стоимости различных видов энергетики. Этот показатель учитывает различные факторы, включая инвестиционные затраты на строительство и оборудование, операционные расходы, срок службы и ставку дисконтирования, а также прогнозируемую выработку энергии. Путем учета всех этих факторов LCOE позволяет оценить стоимость производства энергии на протяжении всего срока эксплуатации и сравнить ее с другими видами энергетики. Выражается в денежных единицах (например, долларах за киловатт-час) и позволяет определить какие источники энергии являются наиболее экономически эффективными. Более низкое значение LCOE указывает на более низкую стоимость производства энергии и, как правило, делает данный источник более привлекательным с экономической точки зрения. LCOE является важным инструментом при принятии решений об инвестициях в проекты энергетики и позволяет оценить, насколько конкурентоспособна та или иная технология с точки зрения стоимости производства энергии.

LCOE у системы с использованием энергии ветра на 59 процентов ниже дизельного комплекса, что является серьезным экономическим преимуществом. Немаловажен и факт уменьшения выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу в 2,7 раза.

Таблица 3

### Сравнение экономических показателей традиционного и комбинированного энергокомплекса

Источник энергии	LCOE (долл./кВт)	Стоимость эксплуатации/год, долл	Количество выбросов CO <sub>2</sub> /год, кг	Расход топлива/год, л	Стоимость установки, долл
Дизельные генераторы	0,339	2,0 млн.	4663890	1777048	3,46 млн.
Диз. Генераторы + ветрогенераторы	0,2	1,03 млн.	1735811	661383	601447

### Выводы

Анализ энергетического спроса арктического региона с точки зрения масштабов, характеристик и особенностей потребления носит принципиальный характер для понимания потенциала развития ВИЭ. В регионах Севера роль традиционной и альтернативной энергетики в энергоснабжении определяется их преимуществами и недостатками. Традиционная электроэнергетика продолжит играть важную роль в регионах с высокой плотностью населения и крупными промышленными узлами, где созданы крупные электростанции, в основном на основе тепловой и/или гидроэнергетики [20]. В этих регионах нетрадиционные источники энергии могут использоваться для снабжения малых потребителей и в экспериментальном порядке, но массовое строительство крупных электростанций на основе нетрадиционных источников энергии не планируется в ближайшие годы. В северных регионах альтернативная энергетика играет важную роль, особенно для децентрализованных потребителей и местных малых потребителей, где плотность населения низкая. Эксплуатация малых нетрадиционных

энергоустановок, использующих местные альтернативные энергоресурсы, позволяет снизить завоз топлива, уменьшить стоимость электроэнергии и обеспечить надежность энергоснабжения. Однако традиционные мощности все равно необходимы для обеспечения резервного источника энергоснабжения при снижении выработки от нетрадиционного источника. Развитие альтернативной электроэнергетики также важно с точки зрения диверсификации источников энергии и снижения зависимости от исчерпаемых традиционных ресурсов.

Россия пока отстает в разработке и освоении технологий использования альтернативных источников энергии, и государственная поддержка в этой области будет способствовать сокращению этого отставания. [18] Таким образом, рассмотренные в статье методы анализа энергетического потенциала и экономической эффективности ветровой энергетики, а также перспективы ВЭС в составе систем бесперебойного электроснабжения, повысят эффективность работ по созданию автономных систем электроснабжения на базе ВИЭ в комплексе. Темой дальнейшей работы может являться расчет и внедрение ВИЭ в системы энергоснабжения удаленных районов, что может быть эффективным при комплексном подходе. Ключевым этапом развития альтернативной энергетики в арктической зоне являются меры государственной и частной поддержки, а также создание эффективных пилотных проектов.

В качестве первоочередных мер можно предложить:

*Государственные меры поддержки:*

– Разработка и реализация национальных программ развития альтернативной энергетики с установленными целями и сроками.

– Предоставление финансовых стимулов, таких как субсидии, налоговые льготы и государственные гранты для инвестиций в альтернативные источники энергии.

– Упрощение процедур лицензирования, разрешений и согласования для строительства и эксплуатации альтернативных энергоустановок.

– Создание специализированных центров поддержки и консультаций для предпринимателей, которые интересуются развитием альтернативной энергетики.

– Продвижение и проведение образовательных программ и исследований в области альтернативной энергетики для повышения осведомленности и квалификации специалистов.

*Меры со стороны бизнеса:*

– Инвестирование в разработку и внедрение новых технологий альтернативных источников энергии.

– Взаимодействие с государственными органами для участия в государственных программах и получения финансовой поддержки.

– Участие в партнерствах и сотрудничестве с научными и исследовательскими организациями для разработки инновационных решений в области альтернативной энергетики.

– Активное продвижение и пропаганда использования альтернативных источников энергии среди широкой общественности [19].

Эти меры помогут содействовать развитию альтернативной энергетики, снижению зависимости от традиционных источников энергии и достижению более устойчивой и экологически чистой энергетической системы.

Приведенная в статье комплексная энергетическая система является примером экономически выгодного решения, возможного для внедрения и в другие удаленные регионы нашей страны. При выборе наиболее оптимального решения принципиально важно проанализировать имеющиеся в регионе ресурсы, чтобы определить направления модернизации существующих энергокомплексов в целях улучшения не только экологических, но и экономических показателей в ходе эксплуатации данных систем.

## Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 26.02.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года»
2. Иванов И. И., Сергеева О. В. Энергоэффективность и возобновляемые источники энергии: опыт и перспективы развития // Журнал «Вестник науки и образования». 2019. С. 89–94.
3. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом Российской Федерации 18.09.2008 г. № Пр. – 1969.
4. Голованова А. Е., Полаева Г. Б., Нурматова Э. А. Энергетическая политика Европейского Союза в области возобновляемой энергетики // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. С. 52–55.
5. Бобылев С.Н. Устойчивое развитие: парадигма для будущего // Мировая экономика и международные отношения. 2017. Т. 61. № 3. С. 107–113.



6. Физико-химические характеристики черного углерода: воздействие на климат и здоровье населения. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.epa.gov/blackcarbon/>. (Дата обращения 08.05.2022).
7. Научно– прикладной справочник по климату России (арктический регион). Солнечная радиация. СПб. Гидрометеиздат. 1997, –238 с
8. Дидиков А.Е. Эколого – экономические аспекты управления ресурсосбережением на базе возобновимых источников энергии // Экономика и экологический менеджмент. 2015. № 2. С. 333.
9. 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.
10. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры Муниципального образования «Городское поселение Диксон» на 2015-2025 годы
11. ГОСТ Р 56163—2019 "Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стационарными дизельными установками (новыми и после капитального ремонта) различной мощности и назначения при их эксплуатации". Москва: Издательство "Стандартинформ", 2019.
12. РосТендер. URL: <https://rostender.info/category/tendery-vetrogeneratory> [Электронный ресурс]. (Дата обращения: 10.05.2023).
13. Стройфора. URL: <https://stroyfora.ru/tariff/area-82f89cb6-017d-4098-a906-cfc00773c681/year-2020/type-16> [Электронный ресурс]. (Дата обращения: 10.05.2023).
14. Информационно– технологическое обеспечение интегрированных систем малой энергетики в сфере электро– и теплоснабжения. Отчет о НИР // Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН. Иркутск. 2011. –193.
15. Стоимость электроэнергии на Диксоне в 2020 году// Стройфора. [Электронный ресурс] URL: <https://stroyfora.ru/tariff/area-82f89cb6-017d-4098-a906-cfc00773c681/year-2020/type-16> (дата обращения: 11.05.2023).
16. Дорошин А.Н., Виссарионов В.И., Кузнецова В.А. Ветроводородный энергетический комплекс для энергоснабжения потребителя // Энергосбережение – теория и практика. Труды Четвертой междунар. школы–семинара молодых ученых и специалистов. М.: Издат. дом МЭИ, 2008. С. 247–251.
17. Лунёв А.В., Александров О.А., Лапина И.В. Развитие альтернативной энергетики в России с учётом китайского опыта // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т. 19. №. 3. С. 406–422.
18. Рьльский В.А., Антоненко Г.В. Основные проблемы энергоснабжения районов Севера. В сб. «Проблемы Севера», вып. 22. – М., «Наука», 1986, – стр. 86– 93
19. Королев А.Г., Старкова А.В., Бутанова М.С. Эффекты вовлечения ВИЭ в мониторинг состояния энергетической безопасности северных и арктических зон РФ // Журнал «Экономика региона». 2019. №15. С. 406–417.
20. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. – М.: Энергоатомиздат. 2008. С 231.

## References

1. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 26.02.2020 № 645 «O Strategii razvitiya Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii i obespecheniya natsional'noi bezopasnosti na period do 2035 goda»
2. Ivanov I. I., Sergeeva O. V. Energoeffektivnost' i vozobnovlyaemye istochniki energii: opyt i perspektivy razvitiya // Zhurnal «Vestnik nauki i obrazovaniya». 2019. S. 89–94.
3. Osnovy gosudarstvennoi politiki Rossiiskoi Federatsii v Arktike na period do 2020 goda i dal'neishuyu perspektivu. Utverzhdeny Prezidentom Rossiiskoi Federatsii 18.09.2008 g. № Pr. – 1969.
4. Golovanova A. E., Polaeva G. B., Nurmatova E. A. Energeticheskaya politika Evropeiskogo Soyuza v oblasti vozobnovlyaemoi energetiki // Innovatsii i investitsii. 2018. № 11. S. 52–55.
5. Bobylev S.N. Ustoichivoe razvitie: paradigma dlya budushchego // Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya. 2017. T. 61. № 3. S. 107–113.
6. Fiziko-khimicheskie kharakteristiki chernogo ugleroda: vozdeistvie na klimat i zdorov'e naseleniya. [Elektronnyi resurs]. URL:<http://www.epa.gov/blackcarbon/>. (Data obrashcheniya 08.05.2022).
7. Nauchno– prikladnoi spravochnik po klimatu Rossii (arkticheskii region). Solnechnaya radiatsiya. SPb. Gidrometeoizdat. 1997, –238 s
8. Didikov A.E. Ekologo – ekonomicheskie aspekty upravleniya resursosberezheniem na baze vozobnovimykh istochnikov energii // Ekonomika i ekologicheskii menedzhment. 2015. № 2. S. 333.

9. Popel' O.S., Kiseleva S.V., Morgunova M.O., Gabderakhmanova T.S., Tarasenko A.B. Ispol'zovanie vozobnovlyаемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации // *Арктика: экология и экономика*. 2015. № 1(17). С. 64–69.
10. Programma kompleksnogo razvitiya sistem kommunal'noi infrastruktury Munitsipal'nogo obrazovaniya «Gorodskoe poselenie Dikson» na 2015-2025 gody
11. GOST R 56163—2019 "Vybrosoy zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu. Metod rascheta vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu statsionarnymi dizel'nymi ustanovkami (novymi i posle kapital'nogo remonta) razlichnoi moshchnosti i naznacheniya pri ikh ekspluatatsii". Moskva: Izdatel'stvo "Standartinform", 2019.
12. RosTender. URL: <https://rostender.info/category/tendery-vetrogeneratory> [Elektronnyi resurs]. (Data obrashcheniya: 10.05.2023).
13. Stroifora. URL: <https://stroyfora.ru/tariff/area-82f89cb6-017d-4098-a906-cfc00773c681/year-2020/type-16> [Elektronnyi resurs]. (Data obrashcheniya: 10.05.2023).
14. Informatsionno– tekhnologicheskoe oobespechenie integrirovannykh sistem maloi energetiki v sfere elektro– i teplosnabzheniya. Otchet o NIR // Institut sistem energetiki im. L.A. Melent'eva Sibirskogo otdeleniya RAN. Irkutsk. 2011. –193.
15. Stoimost' elektroenergii na Diksone v 2020 godu// Stroifora. [Elektronnyi resurs] URL: <https://stroyfora.ru/tariff/area-82f89cb6-017d-4098-a906-cfc00773c681/year-2020/type-16> (data obrashcheniya: 11.05.2023).
16. Doroshin A.N., Vissarionov V.I., Kuznetsova V.A. Vetrovodorodnyi energeticheskii kompleks dlya energosnabzheniya potrebitelya // *Energoberezhenie – teoriya i praktika. Trudy Chetvertoi mezhdunar. shkoly–seminara molodykh uchenykh i spetsialistov*. M.: Izdat. dom MEI, 2008. S. 247–251.
17. Lunev A.V., Aleksandrov O.A., Lapina I.V. Razvitie al'ternativnoi energetiki v Rossii s uchetom kitaiskogo opyta // *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika*. 2020. T. 19. №. 3. S. 406–422.
18. Pyl'ckii V.A., Antonenko G.V. Osnovnye problemy energosnabzheniya raionov Severa. V sb. «Problemy Severa», vyp. 22. – M., «Nauka», 1986, – str. 86–93
19. Korolev A.G., Starkova A.V., Butanova M.S. Effekty вовлечения ВИЕ в мониторинг состояния энергетической безопасности северных и арктических зон РФ // *Zhurnal «Ekonomika regiona»*. 2019. №15. S. 406–417.
20. Lukutin B.V., Surzhikova O.A., Shandarova E.B. Vozobnovlyаемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. – M.: Energoatomizdat. 2008. S 231.

Статья поступила в редакцию 13.06.2023  
Принята к публикации 31.08.2023

Received 13.06.2023  
Accepted for publication 31.08.2023