

Арктика и Север. 2023. № 52. С. 17–31.
Научная статья
УДК [621.548+697.34](470.21)(045)
doi: 10.37482/issn2221-2698.2023.52.17

Повышение эффективности систем теплоснабжения районов Арктической зоны Российской Федерации за счёт применения ветроэнергетических установок (на примере Мурманской области)

Бежан Алексей Владимирович ^{1✉}, научный сотрудник

¹ Центр физико-технических проблем энергетики Севера — филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Россия

¹ a.bezhan@ksc.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4602-5161>

Аннотация. Развитие и успешное освоение районов Арктической зоны Российской Федерации напрямую связано с надёжной и эффективной работой местных систем теплоснабжения, в том числе с минимальным антропогенным воздействием на окружающую природную среду. На сегодняшний день в Арктической зоне Российской Федерации для производства тепловой энергии в основном используется привозное органическое топливо, большая часть которого (за исключением в отдельных местах угля и древесины) доставляется из других регионов России, что связано с большими финансовыми трудностями и сложной логистикой доставки топлива до потребителей. На примере посёлка Териберка, расположенного в Мурманской области на побережье Баренцева моря, показано, что одним из решений указанных проблем может быть использование ветроэнергетических установок на нужды теплоснабжения совместно с местной котельной, работающей на органическом топливе (мазуте). Установлено, что в этом случае основной эффект от использования ветроэнергетических установок выражается в уменьшении участия котельной в покрытии графика отопительной нагрузки п. Териберка на 75–80% и соответственно на столько же в экономии органического топлива, расходуемого на котельной, а также в снижении отрицательного воздействия на природную среду.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, теплоснабжение, котельная, низкоуглеродное развитие, арктический регион

Improving the Efficiency of Heat Supply Systems in the Arctic Zone of the Russian Federation Through the Use of Wind Power Plants (The Case of the Murmansk Oblast)

Aleksey V. Bezhan ^{1✉}, Researcher

¹ Northern Energetics Research Centre — Branch of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, ul. Fersmana, 14, Apatity, Russia

¹ a.bezhan@ksc.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4602-5161>

Abstract. The successful development of the Arctic zone of the Russian Federation is directly related to the reliable and efficient operation of local heat supply systems, including those with minimal anthropogenic

* © Бежан А.В., 2023

Для цитирования: Бежан А.В. Повышение эффективности систем теплоснабжения районов Арктической зоны Российской Федерации за счёт применения ветроэнергетических установок (на примере Мурманской области) // Арктика и Север. 2023. № 52. С. 17–31. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2023.52.17

For citation: Bezhan A.V. Improving the Efficiency of Heat Supply Systems in the Arctic Zone of the Russian Federation Through the Use of Wind Power Plants (The Case of the Murmansk Oblast). *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2023, no. 52, pp. 17–31. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2023.52.17

impact on the environment. Today, the Arctic zone of the Russian Federation uses mainly imported fossil fuels for heat generation, most of which (with the exception of coal and wood in some places) are delivered from other regions of Russia, which is associated with great financial difficulties and complicated logistics of fuel delivery to consumers. On the example of Teriberka settlement, located in the Murmansk region on the coast of the Barents Sea, it is shown that one of the solutions to these problems can be the use of wind turbines for heat supply needs together with the local boiler house, operating on organic fuel. The main effect from the use of wind power plants is expressed in the reduction of the boiler house participation in covering the heating load schedule of Teriberka settlement by 75–80% and, accordingly, by the same amount in saving fossil fuel consumed at the boiler house, as well as in reducing the negative impact on the natural environment.

Keywords: *Arctic zone of the Russian Federation, renewable energy source, wind energy, heat supply, boiler house, low-carbon development, Arctic region*

Введение

Арктический регион является важным геополитическим и стратегическим районом, притягивающим интересы не только приарктических государств, но и многих других стран. Прежде всего, это связано с возможностью освоения природных ресурсов, которых в Арктике сосредоточено достаточно много. Согласно исследованию [1], опубликованному в журнале «Science», в Арктическом регионе залегает 83 млрд баррелей нефти, что эквивалентно 13% мировых неразведанных запасов. В свою очередь запасов природного газа в регионе насчитывается около 1550 трлн м³. Большинство неразведанных запасов нефти залегает вблизи берегов Аляски, а запасы природного газа почти все находятся у берегов России [2]. Наряду с этим Арктический регион играет важную роль в осуществлении крупномасштабных перевозок [3; 4].

Арктическая зона занимает около 1/3 территории России. В сухопутную часть Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) входят все российские земли и острова, расположенные в Северном Ледовитом океане, а также полностью или частично несколько субъектов РФ, в том числе Мурманская область. Большая часть территории Мурманской области расположена севернее Полярного круга, поэтому климат здесь суровый субарктический, главной особенностью которого является длинная зима и короткое холодное лето. Продолжительность отопительного периода в регионе составляет около 8–9 месяцев, а в некоторых районах может достигать года, что является причиной повышенных потребностей в тепловой энергии. В связи с этим надёжная и бесперебойная работа систем теплоснабжения является обязательным требованием долгосрочного существования и устойчивого развития региона.

В Мурманской области нет собственных источников органического топлива (угля, газа, нефти), поэтому для производства тепловой энергии в основном используется топливо, завозимое из других регионов России, значительно удалённых от Мурманской области. Обратимся к рис. 1, на котором представлена структура потребления топливно-энергетических ресурсов на цели генерации тепловой энергии тепловыми электростанциями и котельными Мурманской области. Из рисунка видно, что для производства тепловой энергии преимущественно используется мазут и уголь, реже древесина и электроэнергия,

затраченная на прямой нагрев воды. Зависимость Мурманской области от поставок мазута и угля создаёт опасность надёжной и бесперебойной работы систем теплоснабжения.

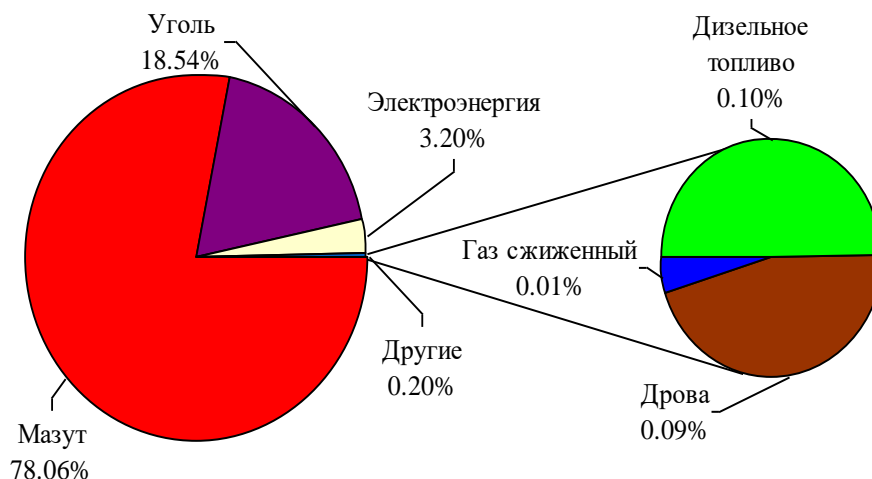


Рис. 1. Структура потребления топливно-энергетических ресурсов на цели генерации тепловой энергии в Мурманской области.

Удалённость Мурманской области на большие расстояния от мест производства органического топлива и система рыночного ценообразования на топливо являются причиной повышенных расходов на покупку топлива и его доставку в Мурманскую область. Это приводит к тому, что себестоимость тепловой энергии оказывается больше тарифа, по которым теплоснабжающие организации обязаны отпускать тепловую энергию потребителям. В результате этого деятельность большинства теплоснабжающих организаций Мурманской области оказывается убыточной, и поэтому для возмещения недополученных доходов государство вынуждено субсидировать указанным организациям покупку топлива и его завоз на территорию области. Одним из выходов в сложившейся ситуации может быть максимальное использование местных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) совместно с традиционными источниками тепла на нужды теплоснабжения. ВИЭ способны снизить участие традиционных источников тепла в теплоснабжении, и тем самым сэкономить привозное органическое топливо.

Из всех имеющихся в Мурманской области ВИЭ наибольшие перспективы для широкого освоения имеет энергия ветра, где отдельным направлением её использования может быть применение ветроэнергетических установок (ВЭУ) совместно с котельными на нужды теплоснабжения потребителей. Целесообразность применения ВЭУ на нужды теплоснабжения в конкретных районах и условиях должна подтверждаться современными технико-экономическими расчётами и анализом показателей эффективности работы ВЭУ. Изучению этих вопросов посвящено много исследований, но все они в основном связаны с анализом гибридных энергетических систем, состоящих, как правило, из фотоэлектрических элементов и ВЭУ, работающих на нужды электроснабжения [5; 6]. При этом в некоторых исследованиях все же затрагиваются вопросы теплоснабжения от ВЭУ, но тепловая и электрическая нагрузки рассматриваются вместе [7; 8]. Таким образом, анализ этих и других подобных исследований показал недостаток информации об эффективности использования

ВЭУ на нужды теплоснабжения, которая могла бы свидетельствовать о том, что для некоторых районов подобное использование ВЭУ может быть целесообразным. В связи с этим представляется важным оценить возможное участие ВЭУ в теплоснабжении потребителей и эффект, который может быть получен от использования ВЭУ совместно с котельной на нужды теплоснабжения.

Потенциал ветра в Мурманской области и факторы, благоприятствующие его использованию на нужды теплоснабжения на территории региона

Для предварительной оценки перспективы применения ВЭУ на нужды теплоснабжения в Мурманской области ранее была проведена серия исследований [9; 10], результаты которых свидетельствуют о высоком ветроэнергетическом потенциале, характеризующимся среднегодовой скоростью ветра на высоте 10 метров от поверхности земли 5–6 м/с на побережье Белого моря и 7–9 м/с на побережье Баренцева моря. Вместе с этим установлена важная особенность годового хода ветра, которая проявляется в наличии наибольших скоростей ветра в холодное время года (рис. 2), когда и существует зимний максимум потребления тепловой энергии. Таким образом, наличие в регионе высокого потенциала ветра в сочетании с продолжительным отопительным периодом, который в Мурманской области составляет 8–9 месяцев в году и более, является благоприятной предпосылкой для эффективного использования энергии ветра на нужды теплоснабжения.

Необходимо отметить, что мощность, выдаваемая ВЭУ, сильно зависит от скорости ветра, которая имеет такой недостаток как непостоянство во времени. Поэтому для обеспечения потребителей электроэнергией нужного качества ВЭУ дополняют специальными преобразующими устройствами, а также сложными механическими и электронными системами регулирования, обеспечивающими выдачу электроэнергии от ВЭУ высокого качества в непрерывном режиме [11; 12]. В случае использования энергии ветра на нужды теплоснабжения не обязательны высокие требования к качеству энергии, вырабатываемой ВЭУ. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что кратковременные секундные и минутные колебания мощности, выдаваемой ВЭУ, сглаживаются самим теплоносителем, а также инерционностью систем теплоснабжения. Более продолжительные колебания (в течение нескольких часов) выравниваются за счёт теплоаккумулирующей способности отапливаемых зданий. Во время длительного отсутствия ветра в работу могут включаться тепловые аккумуляторы или дублирующие традиционные источники тепла на органическом топливе. Таким образом, низкие требования к параметрам качества энергии, вырабатываемой ВЭУ, позволяют использовать ВЭУ, построенную в простом конструктивном исполнении, делая ВЭУ более дешёвой и надёжной в эксплуатации.

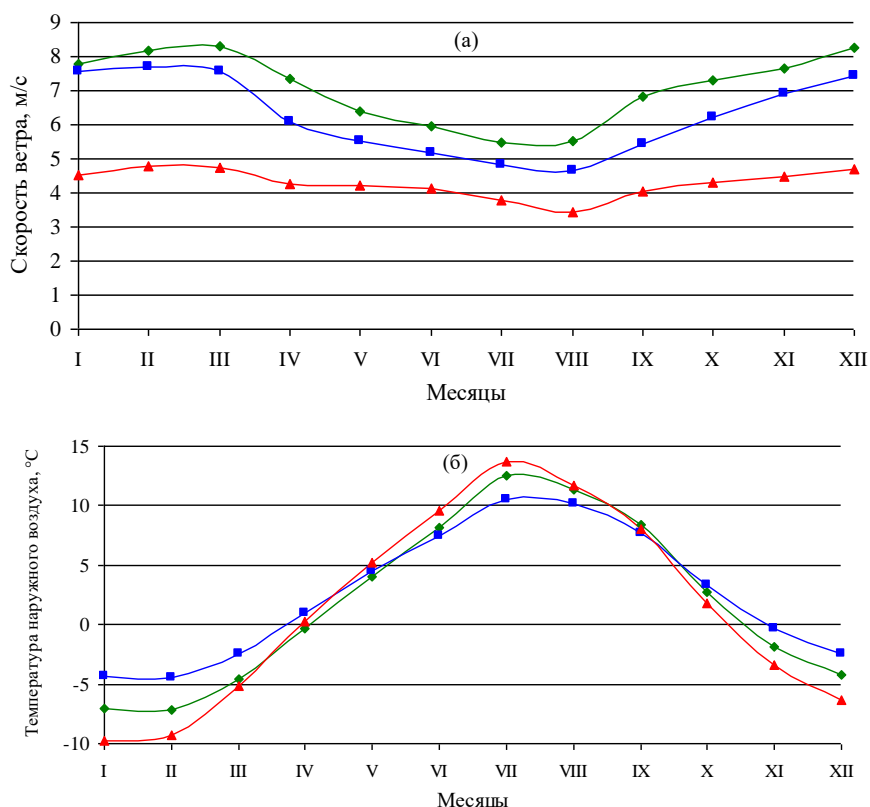


Рис. 2. Годовой ход многолетних среднемесячных скоростей ветра (а) и изменение многолетних среднемесячных значений температуры наружного воздуха (б) в двадцатилетний период 2001–2020 гг.: кривые зелёного, синего и красного цветов — метеостанции Териберка, Вайда-Губа и Мурманск соответственно.

Методы и материалы исследования

Современные централизованные системы теплоснабжения представляют собой сложный комплекс различных элементов, основными из которых являются источники (теплоэлектроцентрали или котельные) и потребители (комплекс отапливаемых зданий) тепловой энергии, объединённые между собой тепловыми сетями. Схема системы теплоснабжения, в составе которой имеется котельная, выглядит так, как изображено на рис. 3а. Основное назначение такой системы теплоснабжения — это передача тепловой энергии от котельной к отапливаемым зданиям с целью покрытия их тепловой (отопительной) нагрузки. В этом случае отопительную нагрузку отдельного района или целого населённого пункта, покрываемую котельной в течение суток, можно определить по следующей формуле:

$$Q_0 = Q_{кот} = (Q_{кот}^{max} \cdot k_v \cdot (T_в - T_n)) / (k_{v,p} \cdot (T_в - T_{н,p})), \quad (1)$$

где $Q_{кот}$ — мощность, выдаваемая котельной в течение суток, Гкал/ч (МВт); $Q_{кот}^{max}$ — расчётная присоединённая нагрузка котельной, Гкал/ч (МВт); $T_в = 18^\circ\text{C}$ (температура внутреннего воздуха для жилых, административных и общественных зданий¹ [13]); v и T_n — среднесуточные значения скорости ветра и температуры наружного воздуха, для которых

¹ СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: ГУП ЦПП Госстроя России, 2004. 64 с.

требуется определить величину отопительной нагрузки, м/с и °С; k_v — коэффициент увеличения потерь тепла от скорости ветра, ед. (рис. 4); $T_{н.р}$ — расчётная температура наружного воздуха самой холодной пятидневки из восьми зим за пятидесятилетний период²; v_p — расчётная скорость ветра, определяемая как максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь³; k_{v_p} — коэффициент увеличения потерь тепла от расчётной скорости ветра (рис. 4).

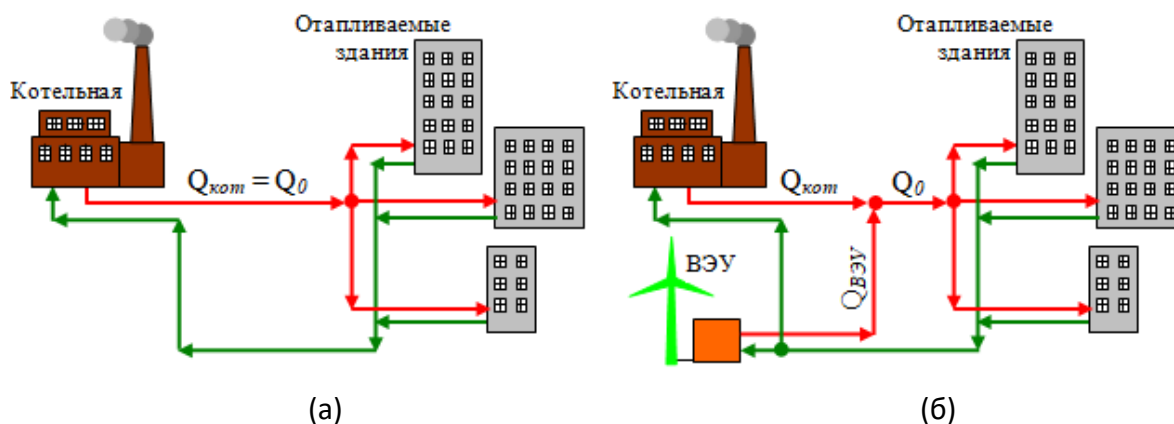


Рис. 3. Схема системы теплоснабжения на основе котельной (а) и комплекса «котельная + ВЭУ» (б).

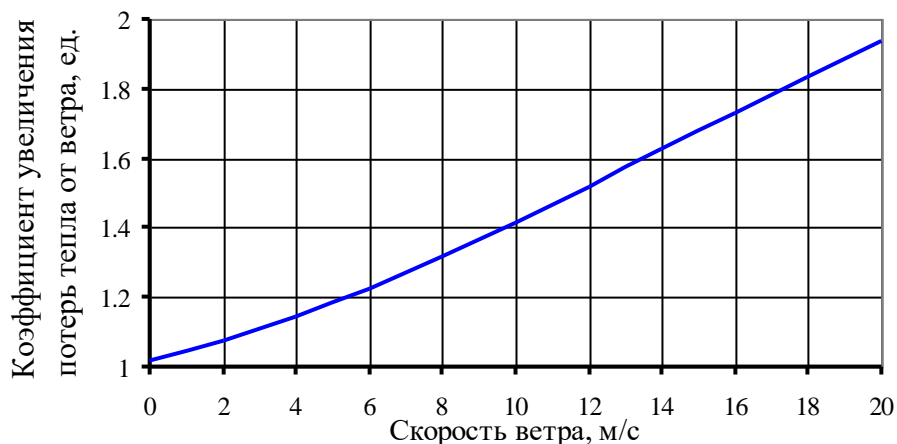


Рис. 4. Относительное увеличение потерь тепла здания от скорости ветра [4].

Изменение отопительной нагрузки в течение всего отопительного периода может быть представлено в виде графика годовой продолжительности отопительных нагрузок. Зная, как изменяется среднесуточная температура наружного воздуха и скорость ветра в течение всего отопительного периода, по формуле (1) можно рассчитать и далее построить годовой график отопительной нагрузки, покрываемый котельной. В этом случае в качестве исходной информации можно использовать данные архива многолетних метеорологических наблюдений за температурой наружного воздуха и скоростью ветра, которые содержатся в

² Свод правил СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2020 г. № 859/п). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358?ysclid=lcyv8xyi4b206024744> (дата обращения: 20.01.2023).

³ Там же.

специализированных базах данных «ВНИИГМИ-МЦД», «Погода России», «Расписание Погоды» и других.

Введём параметр φ , который будет обозначать долю участия котельной в покрытии графика отопительной нагрузки. Если теплоснабжение осуществляется от одной котельной (рис. 3а), то $\varphi = 1$.

Для повышения эффективности системы теплоснабжения можно совместно с котельной в качестве дополнительного источника тепловой энергии использовать ВЭУ. В этом случае схема системы теплоснабжения, первоначально представленная на рис. 3а, теперь будет выглядеть так, как показано на рис. 3б. При таком варианте теплоснабжения часть графика отопительной нагрузки в первоочередном порядке будет покрываться от ВЭУ, а остальная — от котельной. Тогда формулу, определяющую величину отопительной нагрузки, можно записать в виде:

$$Q_0 = Q_{\text{кот}} + Q_{\text{ВЭУ}} - Q_{\text{ВЭУ}}^{\text{изб}} = (Q_{\text{кот}}^{\text{max}} \cdot k_v \cdot (T_g - T_n)) / (k_{v_p} \cdot (T_g - T_{n,p})), \quad (2)$$

где $Q_{\text{ВЭУ}}$ — мощность, выдаваемая ВЭУ, Гкал/ч (МВт); $Q_{\text{ВЭУ}}^{\text{изб}}$ — избыточная мощность ВЭУ, Гкал/ч (МВт).

Для расчёта мощности, выдаваемой ВЭУ, нужно знать среднюю скорость ветра за 10-минутный интервал времени на высоте башни в выбранном районе расположения ВЭУ и рабочую характеристику ВЭУ. Значения средней скорости ветра за 10-минутный интервал времени получают с помощью измерений метеорологических приборов, установленных на определённой высоте (в нашем случае на высоте башни ВЭУ) на метеомачте.

Формула (2) характеризует процесс, при котором доля участия котельной в покрытии графика отопительной нагрузки φ меньше 1. При этом чем меньше φ , тем больший эффект от использования ВЭУ на нужды теплоснабжения достигнут. Если обозначить, что $Q_{\text{ВЭУ}} / Q_0$ — это доля участия ВЭУ в покрытии отопительной нагрузки за 10-минутный интервал времени, то $\varphi = 1 - Q_{\text{ВЭУ}} / Q_0$ — это доля участия котельной в покрытии отопительной нагрузки при совместной работе котельной и ВЭУ также за 10-минутный интервал времени.

Для расчёта φ за большой интервал времени, например за месяц или год, можно использовать следующую формулу:

$$\varphi_m = 1 - \left[\left(\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n Q_{\text{ВЭУ}ji} \right) \right) / \left(\sum_{j=1}^m Q_{0j} \right) \right], \quad (3)$$

где $j=1, 2, \dots, m$ — номер суток, ед.; m — количество суток, за которые нужно определить φ , ед.; $i=1, 2, \dots, n$ — номер 10-минутного интервала времени, ед.; n — количество 10-минутных

интервалов времени в m , ед. Например, при $m=31$, т.е. для месяца, в котором 31 день, $n=4464$, а уже для года, в котором 365 суток, $n=52560$.

Более подробно работу ВЭУ совместно с котельной можно пояснить следующим образом:

1. Если $Q_{ВЭУ} \geq Q_0$, то ВЭУ способна полностью покрыть график отопительной нагрузки и участие котельной не требуется ($Q_{кот} = 0$, $\varphi = 0$). При этом в периоды с сильным ветром ($Q_{ВЭУ} > Q_0$) ВЭУ может создать избыток мощности $Q_{ВЭУ}^{изб}$, который можно сохранить в тепловом аккумуляторе в виде горячей воды или рассеять его в окружающую среду. Но это предмет отдельного исследования и в данной статье рассмотрен не будет.

2. Если $Q_{ВЭУ} < Q_0$, то мощности ВЭУ для покрытия графика отопительной нагрузки не хватает и котельная дополняет работу ВЭУ ($0 < \varphi < 1$, где $\varphi = 1 - Q_{ВЭУ} / Q_0$).

3. Если $Q_{ВЭУ} = 0$, то это соответствует периодам холодной маловетреной погоды, когда вся отопительная нагрузка ложится на котельную ($\varphi = 1$).

Результаты исследования

Одним из потребителей, испытывающим трудности с теплоснабжением, является посёлок Териберка (п. Териберка). Посёлок расположен в Мурманской области на побережье Баренцева моря. Теплоснабжение посёлка осуществляется централизованным способом от мазутной котельной, максимальная присоединённая нагрузка которой в настоящее время составляет 1,8 Гкал/ч (2,1 МВт). Схема теплоснабжения — двухтрубная с подачей тепла на отопление. Горячее водоснабжение осуществляется за счёт внутриквартирных водоводяных нагревателей.

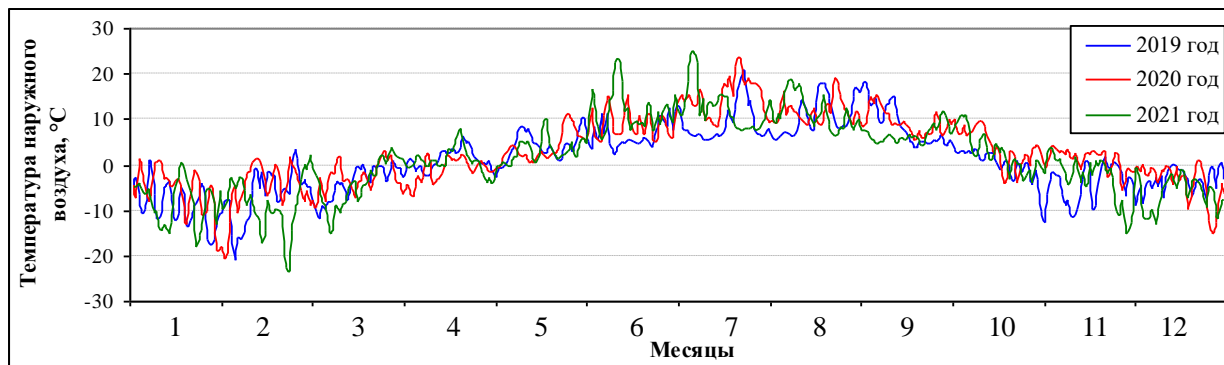
На примере данного посёлка была проведена серия расчётов по оценке возможного участия ВЭУ совместно с местной котельной в теплоснабжении указанного посёлка и эффекта, который может быть получен от использования ВЭУ. При выполнении расчётов было принято, что тепловые потери в трубопроводах тепловой сети и систем отопления зданий, а также потери энергии при её передаче от ВЭУ учитываться не будут. Расчёты проводились в два этапа.

На первом этапе по данным метеорологических наблюдений за температурой наружного воздуха и скоростью ветра, проводимых в п. Териберка в период с 2019 по 2021 года, (рис. 5) по формуле (1) были рассчитаны значения отопительной нагрузки, покрываемой котельной. Параметры, входящие в формулу (1), принимались следующие:

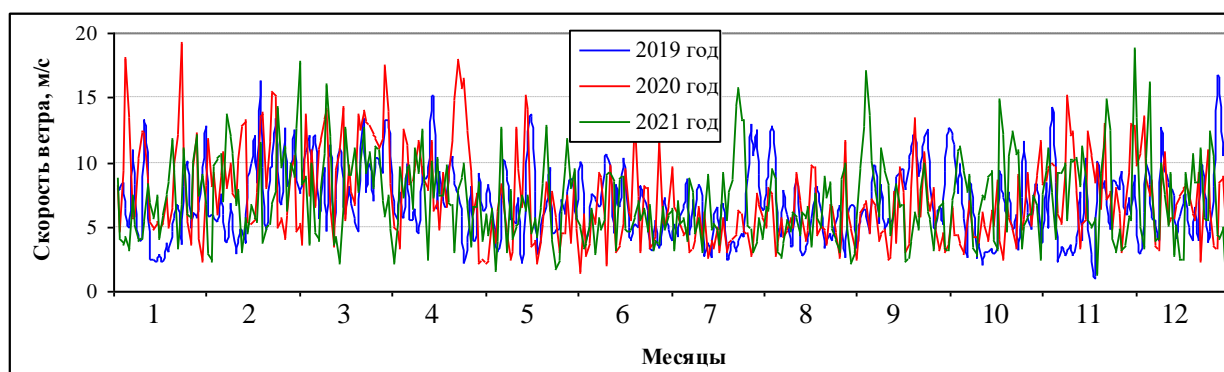
$Q_{кот}^{max} = 2,1$ МВт; $T_g = 18^\circ\text{C}$; $T_{н.р} = -21^\circ\text{C}$; $k_{v_p} = 1,46$, что соответствует $v_p = 10,9$ м/с (рис. 4).

Результаты таких расчётов представлены на рис. 6 в виде годовых графиков отопительной нагрузки. Из рисунка видно, что потребность в тепловой энергии значительно меняется в

течение отопительного периода. Главным образом это связано с изменениями потерь тепла в окружающую среду, происходящих в результате колебаний температуры наружного воздуха и скорости ветра.



а



б

Рис. 5. Графики изменения среднесуточных значений температуры наружного воздуха (а) и скорости ветра (б) в п. Териберка за период с 2019 по 2021 гг.

Для повышения эффективности системы теплоснабжения п. Териберка предлагается совместно с котельной использовать две ВЭУ марки Vestas V52/850 суммарной мощностью 1,7 МВт (81% от присоединённой нагрузки котельной) и высотой башни 65 м. Для расчёта мощности, выдаваемой ВЭУ, были использованы осреднённые 10-минутные значения скорости ветра за трёхлетний период (с 2019 по 2021 гг.), измеренные на высоте 65 метров вблизи п. Териберка. Рабочая характеристика ВЭУ показана на рис. 7. На основании этих данных были построены годовые графики изменения мощности, выдаваемой ВЭУ, а вместе с ними по формуле (2) рассчитано и показано возможное участие ВЭУ в покрытии графиков отопительной нагрузки п. Териберка, первоначально изображённых на рис. 6. Такие построения представлены на рис. 8. Из него видно, что при совместной работе котельной и ВЭУ основная часть отопительной нагрузки покрывается от ВЭУ (рис. 8, область голубого цвета), а остальная — от котельной (рис. 8, область красного цвета), дополняя работу ВЭУ в периоды со слабым ветром или его отсутствия. В моменты времени, когда величина мощности ВЭУ превышает часовую потребность всех отапливаемых зданий в тепловой энергии, возникают избытки мощности ВЭУ (рис. 8, область серого цвета).

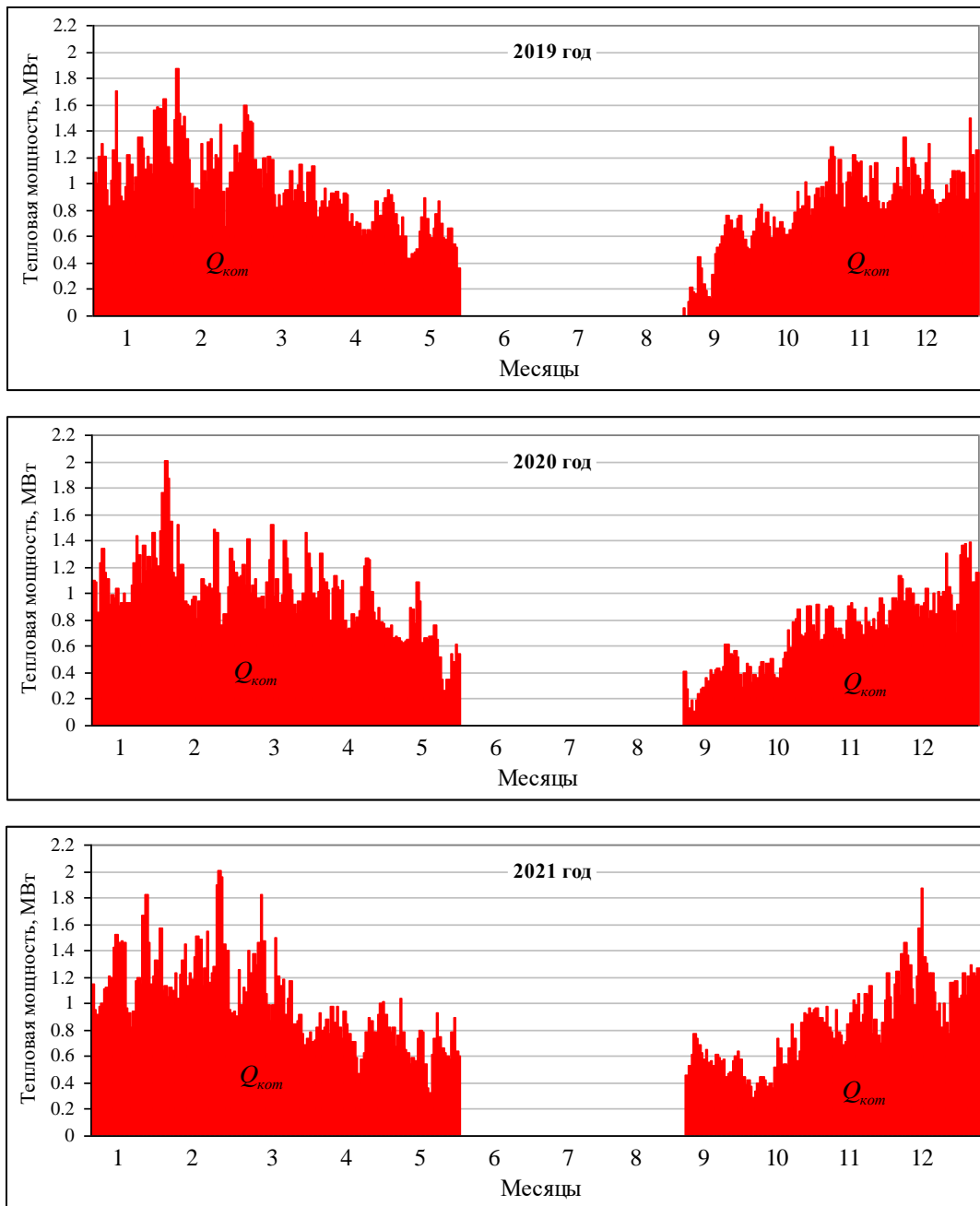


Рис. 6. Годовые графики отопительной нагрузки п. Териберка, покрываемые котельной.

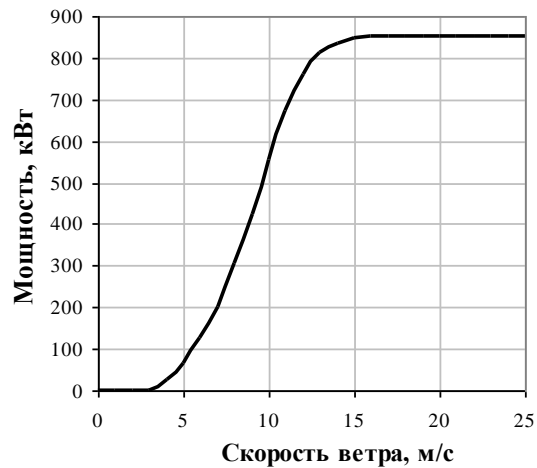


Рис. 7. Рабочая характеристика ВЭУ Vestas V52/850.

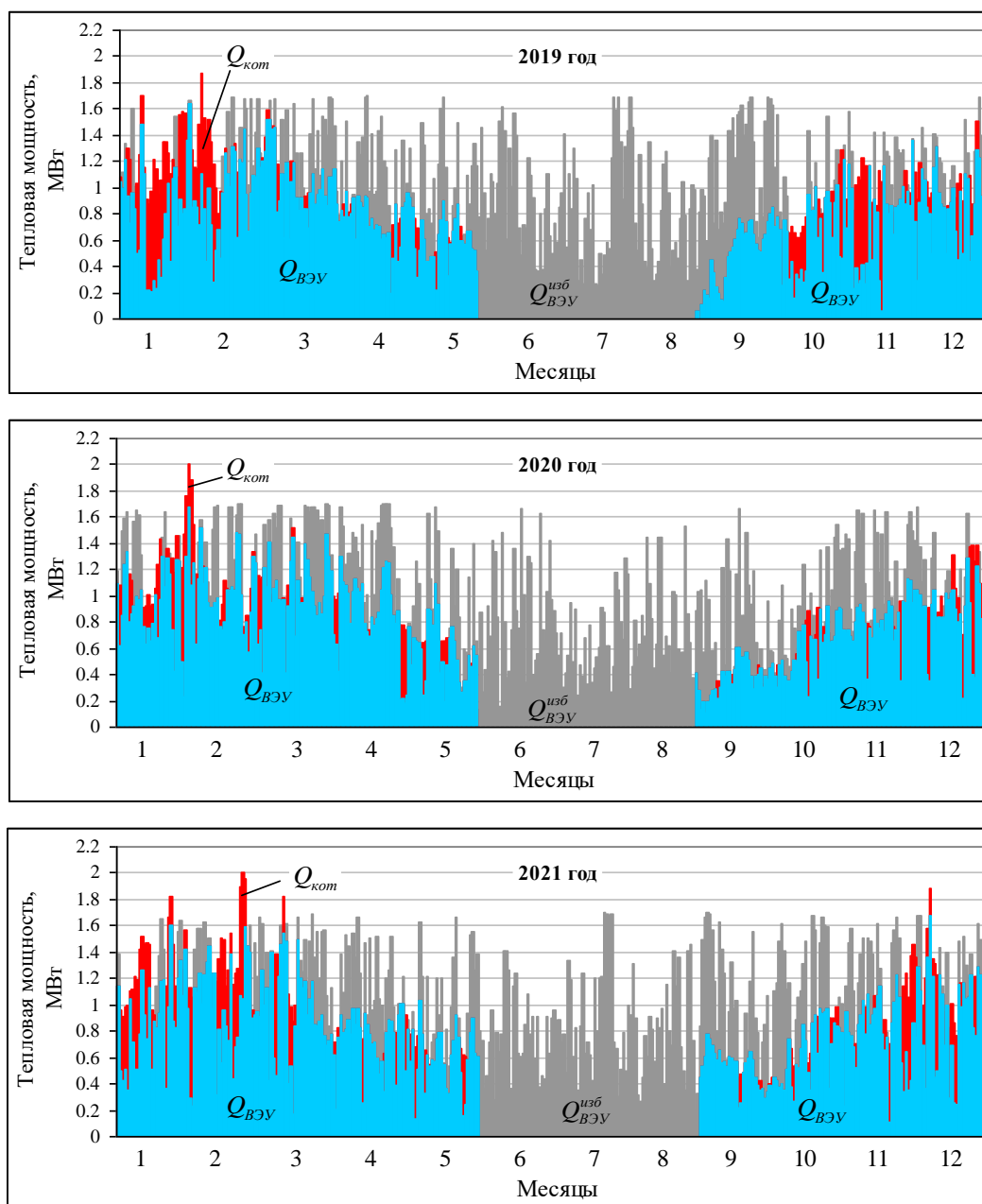


Рис. 8. Совместная работа котельной и ВЭУ на покрытие графиков отопительной нагрузки п. Териберка: области голубого и красного цветов — мощности, выдаваемые ВЭУ и котельной соответственно; область серого цвета — избыточная мощность ВЭУ.

На втором этапе по полученным данным был определён эффект, который может быть получен от использования ВЭУ на нужды теплоснабжения п. Териберка. Как было сказано ранее, основной эффект от использования ВЭУ можно показать как снижение доли участия котельной в покрытии графика отопительной нагрузки. Для этого для каждого месяца и в целом за год по формуле (3) были рассчитаны значения доли участия котельной в покрытии отопительной нагрузки при совместной работе котельной и ВЭУ. Результаты таких расчётов представлены в виде диаграммы на рис. 9, из которого видно, что ВЭУ в отдельные месяцы способны уменьшить участие котельной в покрытии графика отопительной нагрузки п. Териберка на 60–90%, а в целом за год примерно на 75–80%, соответственно на столько же обеспечить и экономию топлива (мазута), расходуемого на котельной. В натуральном

выражении это эквивалентно снижению выработки тепловой энергии котельной на 3,88 тыс. Гкал (4507,5 МВт·ч) в 2019 г., 4,0 тыс. Гкал (4647.9 МВт·ч) в 2020 г. и 4,01 тыс. Гкал (4667.7 МВт·ч) в 2021 г. Если учесть, что средневзвешенный норматив удельного расхода топлива на производство тепловой энергии и средневзвешенный КПД котлоагрегатов мазутной котельной п. Териберка составляет соответственно 210,19 кг у.т./Гкал и 67,97%, то при таких показателях работы котельной объем сэкономленного топлива (мазута) в среднем составит 0,57 тыс. т у.т. в год.

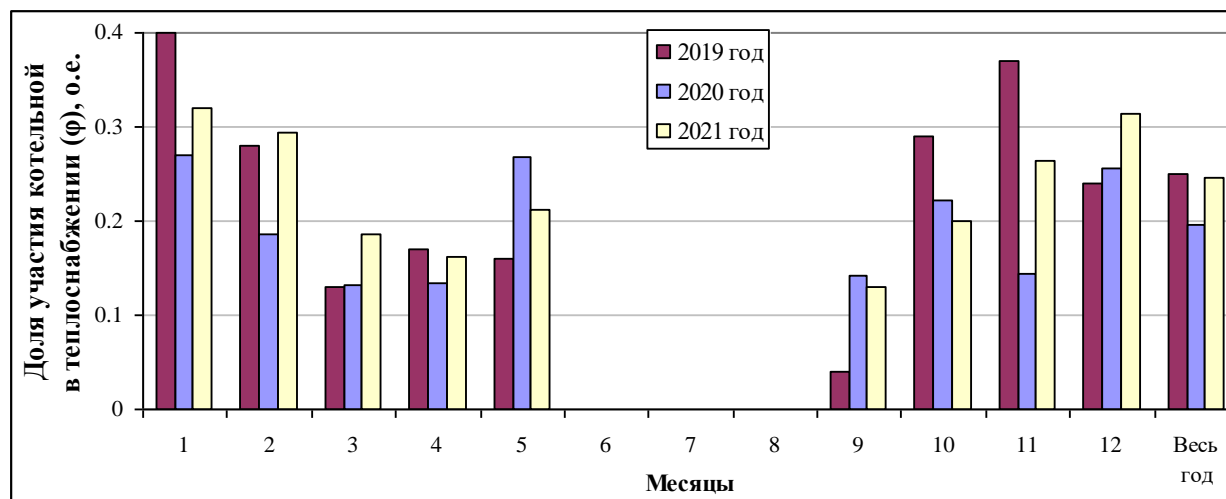


Рис. 9. Доля участия котельной в покрытии отопительной нагрузки п. Териберка при совместной работе котельной и ВЭУ на нужды теплоснабжения.

При сжигании мазута в объёме 1 т у.т. выделяется 2,27 т углекислого газа⁴. Следовательно, при ежегодной экономии мазута в объёме 0,57 тыс. т у.т. выбросы углекислого газа уменьшатся на 1,29 тыс. т в год, что будет способствовать улучшению экологической обстановки в п. Териберка и сохранению здоровья местного населения. Вместе с этим снижение выбросов углекислого газа в будущем позволит получать дополнительный доход. Это станет возможным благодаря реализации «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», согласно которой появится возможность продажи квот на выбросы парниковых газов компаниям, не реализовавшим проекты по сокращению выбросов на своих предприятиях. Данное обстоятельство ещё больше повышает эффект от использования ветроэнергетических установок на нужды теплоснабжения.

Заключение

В районах Арктической зоны Российской Федерации с высоким потенциалом ветра для повышения эффективности работы местных систем теплоснабжения имеется

⁴ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.06.2015 года № 300 «Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объёма выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420287801> (дата обращения: 21.01.2023).

возможность использования ветроэнергетических установок совместно с традиционными источниками тепла, работающими на органическом топливе, на нужды теплоснабжения. В этом случае основной эффект от использования ВЭУ выражается в уменьшении участия традиционных источников тепла в теплоснабжении потребителей и как следствие в экономии органического топлива, а также в снижении отрицательного воздействия на природную среду.

На примере посёлка Териберка, расположенного в Мурманской области в районе со среднегодовой скоростью ветра на высоте 10 метров от поверхности земли 7 м/с и отопительным сезоном 9 месяцев, наглядно показана работа двух ВЭУ суммарной мощностью 1,7 МВт совместно с местной котельной на покрытие графика отопительной нагрузки указанного посёлка. Выполнена оценка эффективности использования ветроэнергетических установок, показавшая, что применение ВЭУ способно уменьшить участие котельной в покрытии отопительной нагрузки п. Териберка и тем самым обеспечить экономию органического топлива, расходуемого на котельной, на 75–80%, а также на столько же снизить вредные выбросы котельной в окружающую среду. В будущем это позволит получать дополнительный доход от продажи квот на выбросы парниковых газов компаниям, не реализовавшим проекты по сокращению выбросов на своих предприятиях.

В целом использование энергии ветра в технологиях производства тепла для целей теплоснабжения потребителей, расположенных в районах Арктической зоны Российской Федерации, имеет большое социально-экономическое значение для дальнейшего развития и успешного освоения этих районов. Прежде всего, это связано с возможностями повышения эффективности и надёжности работы местных систем теплоснабжения, что становится возможным благодаря замещению тепловой энергии, получаемой от сжигания органического топлива, энергией, произведённой ВЭУ, и как следствие благодаря снижению зависимости от поставок органического топлива. В свою очередь это позволит свести к минимуму проблемы завоза органического топлива в районы АЗРФ и уменьшить государственные субсидии на его покупку, что в настоящее время особенно актуально в связи со сложившимися трудными экономическими условиями в стране.

Список источников

1. Gautier D.L., Bird K.J., Charpentier R.R., Grantz A., Houseknecht D.W., Klett T.R. et al. Assessment of undiscovered oil and gas in the Arctic // *Science*. 2009. Vol. 324 (5931). Pp. 1175–1179. DOI: 10.1126/science.1169467
2. Меламед И.И., Авдеев М.А., Павленко В.И., Куценко С.Ю. Арктическая зона России в социально-экономическом развитии страны // *Власть*. 2015. Т. 23. № 1. С. 5–11.
3. Осипова Е.Э., Смирнов С.В., Хаирова Т.А. Предпосылки развития экспорта российской Арктики, каботажных перевозок и проектных грузов для арктических проектов // *Арктика и Север*. 2019. № 37. С. 5–21. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2019.37.5
4. Серова Н.А., Серова В.А. Основные тенденции развития транспортной инфраструктуры российской Арктики // *Арктика и Север*. 2019. № 36. С. 42–56. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2019.36.42

5. Celik A. Optimisation and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic–wind hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems // *Energy Conversion and Management*. 2002. Vol. 43. Iss. 18. Pp. 2453–2468. DOI: 10.1016/s0196-8904(01)00198-4
6. Mamaghani A.H., Avella S., Najafi B., Shirazi A., Rinaldi F. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia // *Renewable Energy*. 2016. Vol. 97. Pp. 293–305. DOI: 10.1016/j.renene.2016.05.086
7. Sagani A., Vrettakos G., Dedoussis V. Viability assessment of a combined hybrid electricity and heat system for remote household applications // *Solar Energy*. 2017. Vol. 151. Pp. 33–47. DOI: 10.1016/j.solener.2017.05.011
8. Ozgener O. Use of solar assisted geothermal heat pump and small wind turbine systems for heating agricultural and residential buildings // *Energy*. 2010. Vol. 35. Iss. 1. Pp. 262–268. DOI: 10.1016/j.energy.2009.09.018
9. Минин В.А., Дмитриев Г.С., Иванова Е.А., Морошкина Т.Н., Никифорова Г.В., Бежан А.В. Энергия ветра — перспективный возобновляемый энергоресурс Мурманской области. Препринт. Апатиты: Издательство КНЦ РАН, 2006. 73 с.
10. Минин В.А., Бежан А.В. Перспективы использования энергии ветра для теплоснабжения потребителей европейского Севера. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2009. 56 с.
11. Gupta A., Dr. Shandilya A. Challenges of Integration of Wind Power on Power System Grid: A Review // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2014. Vol. 4. Iss. 4. Pp. 880–884.
12. De Alegría I.M., Andreu J., Martín J.L., Ibañez P., Villate J.L., Camblong H. Connection requirements for wind farms: A survey on technical requirements and regulation // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2007. Vol. 11 (8). Pp. 1858–1872. DOI: 10.1016/j.rser.2006.01.008
13. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. Госстрой России. Москва: ФГУП ЦПП, 2004. 76 с.

References

1. Gautier D.L., Bird K.J., Charpentier R.R., Grantz A., Houseknecht D.W., Klett T.R. et al. Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Arctic. *Science*, 2009, vol. 324 (5931), pp. 1175–1179. DOI: 10.1126/science.1169467
2. Melamed I.I., Avdeev M.A., Pavlenko V.I., Kutsenko S.Ju. Arkticheskaya zona Rossii v sotsial'no-ekonomicheskom razvitii strany [The Arctic Zone of Russia in the Context of the Socio-Economic Development of the Country]. *Vlast'* [The Authority], 2015, vol. 23, no. 1, pp. 5–11.
3. Osipova E.E., Smirnov S.V., Khairova T.A. Preconditions for the Development of Russian Arctic Export, Coastal (Cabotage) Transportation and Project Cargo for the Arctic Demand. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2019, no. 37, pp. 5–21. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2019.37.5
4. Serova N.A., Serova V.A. Critical Tendencies of the Transport Infrastructure Development in the Russian Arctic. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2019, no. 36, pp. 42–56. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2019.36.42
5. Celik A. Optimisation and Techno-Economic Analysis of Autonomous Photovoltaic–Wind Hybrid Energy Systems in Comparison to Single Photovoltaic and Wind Systems. *Energy Conversion and Management*, 2002, vol. 43, iss. 18, pp. 2453–2468. DOI: 10.1016/s0196-8904(01)00198-4
6. Mamaghani A.H., Avella S., Najafi B., Shirazi A., Rinaldi F. Techno-Economic Feasibility of Photovoltaic, Wind, Diesel and Hybrid Electrification Systems for Off-Grid Rural Electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 2016, vol. 97, pp. 293–305. DOI: 10.1016/j.renene.2016.05.086
7. Sagani A., Vrettakos G., Dedoussis V. Viability Assessment of a Combined Hybrid Electricity and Heat System for Remote Household Applications. *Solar Energy*, 2017, vol. 151, pp. 33–47. DOI: 10.1016/j.solener.2017.05.011
8. Ozgener O. Use of Solar Assisted Geothermal Heat Pump and Small Wind Turbine Systems for Heating Agricultural and Residential Buildings. *Energy*, 2010, vol. 35, iss. 1, pp. 262–268. DOI: 10.1016/j.energy.2009.09.018

9. Minin V.A., Dmitriev G.S., Ivanova E.A., Moroshkina T.N., Nikiforova G.V., Bezhan A.V. *Energiya vetra — perspektivnyy vozobnovlyаемый energoresurs Murmanskoy oblasti* [Wind Energy as a Promising Renewable Energy Resource of the Murmansk Region]. Apatity, KSC RAS Publ., 2006, 73 p. (In Russ.)
10. Minin V.A., Bezhan A.V. *Perspektivy ispol'zovaniya energii vetra dlya teplosnabzheniya potrebiteley evropeyskogo Severa* [Prospects for the Use of Wind Energy for Heat Supply to Consumers in the European North]. Apatity, KSC RAN Publ., 2009, 56 p. (In Russ.)
11. Gupta A., Dr. Shandilya A. Challenges of Integration of Wind Power on Power System Grid: A Review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2014, vol. 4, iss. 4, pp. 880–884.
12. De Alegria I.M., Andreu J., Martin J.L., Ibañez P., Villate J.L., Camblong H. Connection Requirements for Wind Farms: A Survey on Technical Requirements and Regulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, vol. 11 (8), pp. 1858–1872. DOI: 10.1016/j.rser.2006.01.008
13. *Metodika opredeleniya potrebnosti v toplive, elektricheskoy energii i vode pri proizvodstve i peredache teplovoy energii i teplonositeley v sistemakh kommunal'nogo teplosnabzheniya* [Methodology for Determining the Need for Fuel, Electric Energy and Water in the Production and Transmission of Thermal Energy and Heat Carriers in Municipal Heat Supply Systems]. Moscow, FSUE "Center For Design Products" Publ., 2004, 76 p. (In Russ.)

*Статья поступила в редакцию 25.01.2023; одобрена после рецензирования 01.02.2023;
принята к публикации 06.02.2023*

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов