

РЕСУРСЫ ВЕТРА ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В. А. Минин, М. А. Целищева

Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН (Апатиты, Мурманская область, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 2 июля 2022 г.

Рассмотрены потенциал и ресурсы ветровой энергии западного сектора Арктической зоны Российской Федерации. Выявлено, что наибольший потенциал ветра имеет место в прибрежных районах арктических морей (Баренцева, Белого, Карского). Здесь средние многолетние скорости ветра на высоте 10 м достигают 6–8 м/с. Сезонный максимум скоростей ветра приходится на зимнее время (ноябрь–март), в этот же период отмечается наибольшая потребность в электрической и тепловой энергии. На примере Мурманской области рассмотрены перспективы применения ветроэнергетических установок по трем основным направлениям: для производства электроэнергии в составе Кольской электроэнергетической системы, для совместной работы с дизельными электростанциями и котельными установками, а также для производства экологически чистого топлива – водорода.

Ключевые слова: западный сектор Арктической зоны Российской Федерации, потенциал и ресурсы ветра, ветроэнергетические установки, направления и перспективы использования ветра.

Введение

Освоению арктических районов России уделяется большое внимание [1–4]. Это объясняется повышенным интересом к природным запасам, имеющимся на территории региона, возросшим значением навигации по Северному морскому пути, а также стремлением к обеспечению оборонной безопасности северных рубежей страны. За последние десятилетия в Арктике появилось много городов, поселков, а также малых рассредоточенных населенных пунктов, необходимость в функционировании которых сохранится и в перспективе.

В западный сектор Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) входят Мурманская и Архангельская области, архипелаги Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Освоение этих территорий имеет давнюю историю. В крупных городах и поселках первых двух регионов уже десятилетиями эксплуатируются тепловые, атомная и гидроэлектростан-

ции, ТЭЦ и котельные. От этих крупных энергетических объектов осуществляется централизованное электро- и теплоснабжение потребителей. Наряду с этим имеется еще много сравнительно небольших рассредоточенных потребителей энергии, особенно в удаленных прибрежных районах, энергоснабжение которых обеспечивается автономными источниками. Поддержание их работы сопряжено с большими трудностями, обусловленными повышенными транспортными расходами и дороговизной привозного органического топлива, главным образом нефтепродуктов. Для преодоления этих трудностей и проблем Правительством РФ принята «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [5], которая способствует социально-экономическому развитию северных районов. Значительное место в ней отведено вовлечению в топливно-энергетический баланс местных возобновляемых источников энергии, в том числе энергии ветра.

В рассматриваемых прибрежных районах Арктики имеет место повышенный потенциал ветра [6; 7; 12], характеризуемый среднегодовыми скоростями ветра 5—8 м/с на высоте 10 м от поверхности земли. Это следует из «Атласа ветров России» [6], разработанного Министерством топлива и энергетики России, Национальной лабораторией устойчивой энергетики Risø DTU (Дания) и Российско-датским институтом энергоэффективности. Подобная оценка приводится в Национальном кадастре ветроэнергетических ресурсов России [7], выпущенном АНО НИЦ «АТМОГРАФ» при участии Центрального аэрогидродинамического института им. Н. Е. Жуковского и ОАО РАО «ЕЭС России», а также в «Атласах ветрового и солнечного климатов России» [8], подготовленных Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова. Значительный вклад в разработку методов оценки ресурсов возобновляемой энергетики, в том числе энергии ветра, внесли сотрудники Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова [9—10]. Большой объем исследований по изучению потенциала ветра и выявлению перспектив его использования в районах европейского Севера России был выполнен в Кольском научном центре РАН [12—16].

В последние годы стали появляться публикации, в которых отмечается возможность повышения уровня средних скоростей ветра в связи с наблюдаемым потеплением климата в Арктике. В частности, в [10] отмечается, что в перспективе в связи с увеличением открытых пространств северных морей, освободившихся ото льда, к концу XXI в. вполне возможно увеличение средних скоростей ветра. В [11] приведены современные характеристики режима ветра на обширной территории Баренцева и Карского морей. Они хорошо согласуются с данными конца 1980-х годов [13—16] и подтверждают правомочность использования последних и в настоящее время. В целом все сказанное повышает интерес к использованию энергии ветра в арктических районах для нужд электро- и теплоснабжения различных категорий потребителей. Это может способствовать экономии дорогого привозного топлива, снижению себестоимости энергии и сокращению вредных выбросов в окружающую среду.

Настоящая статья посвящена обобщению имеющихся материалов о ресурсах ветра в западном секторе АЗРФ и рассмотрению возможных направлений их практического использования.

Данные и методы

Для оценки энергетической ценности ветра обычно разрабатывается ветроэнергетический кадастр [6; 7; 13; 14]. Основные его элементы — средние скорости ветра за определенные периоды (год, месяц, сутки), сезонное изменение среднего уровня ветра, повторяемость скоростей ветра, удельная мощность и удельная энергия ветра. Определение этих характеристик производится на основе много-

летних наблюдений за ветром на опорной сети гидрометеослужбы, которые проводятся несколько раз в сутки.

Среднегодовые скорости ветра. В [14; 15] обобщены данные регулярных (несколько раз в сутки) наблюдений за ветром на более чем 180 метеостанциях европейского Севера России. Получены средние многолетние скорости ветра, которые дают общее представление о ветре вблизи регистрирующих приборов. Высота расположения последних на метеостанциях обычно составляет 8—15 м над поверхностью земли. Большое значение имеет степень (класс) открытости метеостанции на местности. Это зависит от формы рельефа (выпуклой, плоской, вогнутой), наличия затеняющих элементов (зданий, построек, деревьев), присутствия водных поверхностей (озер, рек, морей, океанов). В [14] показано, как можно учесть эти факторы и привести показания скоростей ветра, полученных на метеостанциях, к условиям открытой ровной местности.

Следует отметить, что поскольку высоты расположения датчиков на метеостанциях могут различаться, в [14] предложено для приведения скоростей к одной высоте (10 м от поверхности земли) использовать степенную зависимость

$$V_{10} = V_H \left(\frac{10}{H} \right)^{0,6V_H^{-0,77}},$$

где V_{10} и V_H — средняя скорость ветра на высоте 10 м и H .

Результаты приведения среднегодовых скоростей ветра к указанным сравнимым условиям на обширной территории западного сектора АЗРФ приведены на рис. 1. При необходимости полученные данные могут быть пересчитаны для условий любой конкретной площадки, где предполагается применение ветроэнергетической установки. Из карты видно, что наиболее сильные ветры характерны для побережья арктических морей (Баренцева, Белого и Карского). Здесь многолетние скорости ветра достигают 6—8 м/с и более. На рисунке проведена линия, соответствующая средней многолетней скорости ветра 4 м/с. Она отделяет наиболее ветреные прибрежные районы от материковой части, где уровень скоростей существенно ниже и использование ветроэнергетических установок не может принести должного эффекта.

Сезонное изменение среднего уровня скоростей ветра. Из рис. 2 следует, что интенсивность ветра в прибрежных районах западного сектора АЗРФ в холодное время года существенно выше. Этим определяется перспективность использования ветра в энергетических целях.

Повторяемость скоростей ветра. Эта характеристика определяет, в течение какой доли заданного периода (года, месяца) может наблюдаться ветер с той или иной скоростью. Относительная годовая повторяемость скоростей (в долях от годового вре-

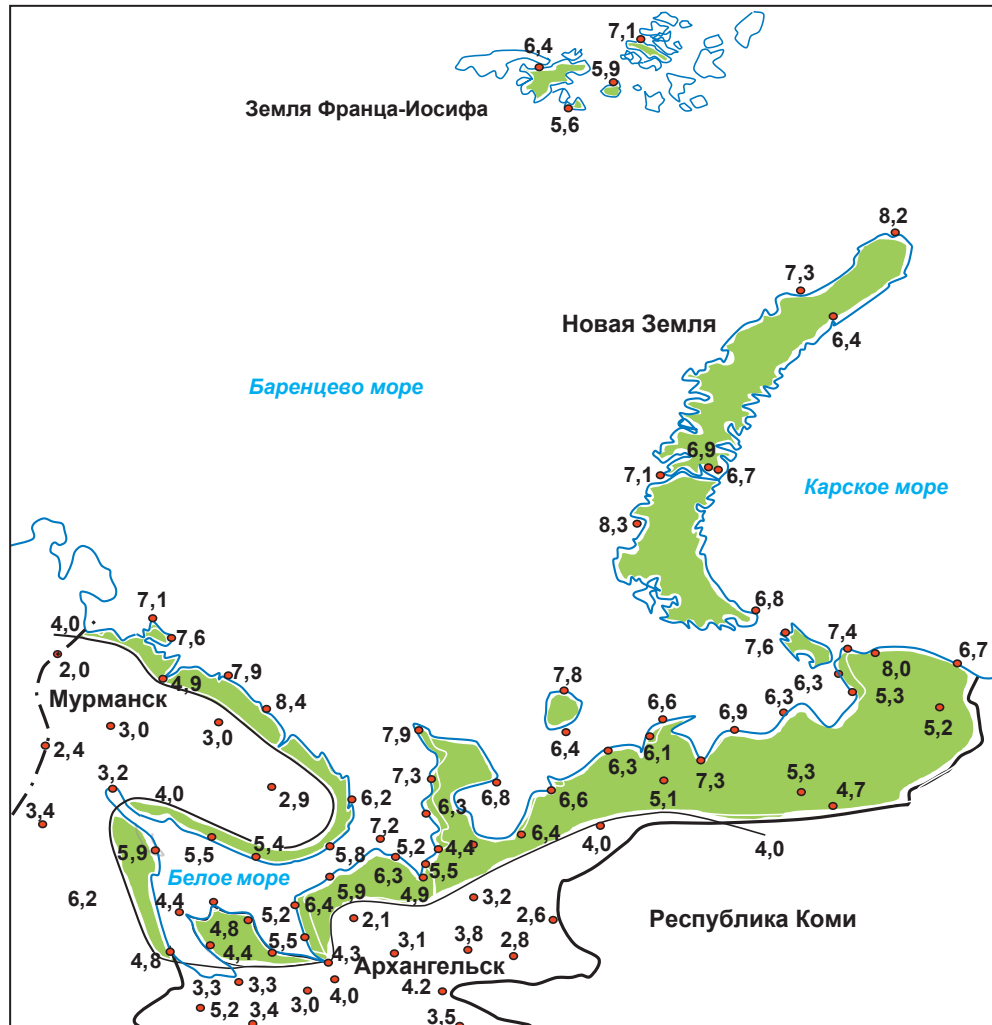


Рис. 1. Средние многолетние скорости ветра на метеостанциях западного сектора АЗРФ на высоте 10 м [12]
 Fig. 1. Average long-term wind speeds at weather stations in the Western sector of the Russian Arctic zone at a height of 10 m [12]

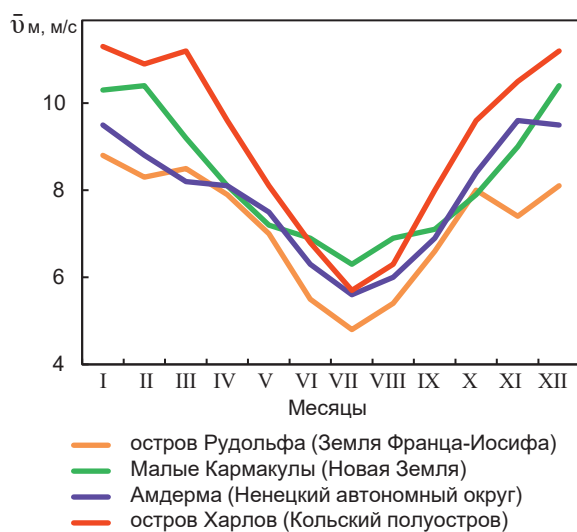


Рис. 2. Сезонное изменение среднемесячных скоростей ветра на прибрежных метеостанциях европейского Севера России на высоте 10 м от поверхности земли [17]
 Fig. 2. Seasonal change in average monthly wind speeds at coastal weather stations of the European North of Russia at a height of 10 m from the ground level [17]

мени) используется для расчета возможной выработки энергии ветроэнергетическими установками.

Фактическая повторяемость скоростей изображается в виде гистограммы, строящейся по результатам многолетних рядов наблюдений. Для удобства использования этих данных производят выравнивание эмпирических распределений с помощью аппроксимирующих аналитических зависимостей, например, двухпараметрического уравнения Вейбулла [6; 18]

$$t(V) = \frac{\alpha\gamma}{\bar{V}} \left(\alpha \frac{V}{\bar{V}} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\alpha \frac{V}{\bar{V}} \right)^\gamma \right], \quad (1)$$

где $t(V)$ — дифференциальная повторяемость, отн. ед.; α и γ — параметры распределения; V и \bar{V} — текущая и среднегодовая скорости ветра, м/с.

Согласно выполненным расчетам [15], параметры α и γ для прибрежных районов европейского Севера составляют 0,9 и 1,7. Аналитические кривые повторяемости, рассчитанные по формуле (1) при значениях среднегодовой скорости от 4 до 12 м/с, представлены в [16; 19].

Таблица 1. Технические ресурсы ветровой энергии в западном секторе АЗРФ

Показатель	Зона					Всего
	1	2	3	4	5	
Среднегодовая скорость ветра, м/с:						
на высоте 10 м	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	
на высоте 70 м	10,7	9,6	8,6	7,5	6,5	
Суммарная мощность ВЭУ на 1 км ² территории, МВт	9,09	6,76	4,86	3,36	2,14	
Годовая выработка на 1 км ² территории, млн кВт·ч	27,3	20,3	14,6	10,1	6,4	
Площадь зоны, тыс. км ²	0,5	24,5	37,9	78,4	62,7	204
Суммарная мощность ВЭУ, тыс. МВт	5	167	185	259	129	745
Технические ресурсы ветровой энергии, млрд кВт·ч	15	501	555	777	387	2235

Технические ресурсы ветра региона. Рассмотренные выше основные характеристики ветра (многолетние скорости и повторяемости скоростей) дают возможность определить технические ресурсы ветровой энергии рассматриваемых территорий.

Согласно [14], мощность ветроэнергетической установки с горизонтальной осью вращения ветроколеса определяется выражением

$$N_0 = 4,81 \cdot 10^{-4} D^2 V_p^3 \xi \eta_p \eta_r, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где D — диаметр ветроколеса, м; ξ — коэффициент использования энергии ветра; V_p — расчетная скорость ветра, определяющая установленную мощность ветроэнергетической установки (ВЭУ), м/с; η_p и η_r — КПД редуктора и генератора.

Если исходить из предположения, что ветроэнергетические установки на рассматриваемых территориях будут располагаться в шахматном порядке на расстоянии 10 диаметров ветроколеса друг от друга, то мощность ВЭУ, приходящаяся на 1 км² занимаемой площади, определится выражением [15]

$$N_1 = 4,81 V_p^3 \xi \eta_p \eta_r.$$

Для ориентировочных расчетов можно принять $\xi = 0,45$, $\eta_p = 0,9$, $\eta_r = 0,95$, что соответствует показателям современных ВЭУ. Тогда с учетом рассмотренных выше значений среднегодовых скоростей и повторяемости скоростей ветра годовая выработка ВЭУ с 1 км² территории составит

$$Q_1 = T \int_{V_{\min p}}^{V_{\max p}} N_1(V) t(V) dV, \quad (3)$$

где $V_{\max p}$ и $V_{\min p}$ — минимальная и максимальная рабочие скорости ветра, м/с.

В дальнейших расчетах технических ресурсов ветровой энергии рассматриваемых районов расчетная скорость ветра V_p в выражении (2) принималась такой, чтобы обеспечить 3 тыс. ч в год использования установленной мощности ВЭУ. Результаты оценки ресурсов ветровой энергии в западном секторе АЗРФ представлены в табл. 1. Расчеты были вы-

полнены по пяти зонам в зависимости от значения среднегодовой скорости ветра. Они показали, что если ориентироваться на применение крупных современных сетевых ВЭУ в приземном слое высотой 100 м с расположением оси ветроколеса на высоте около 70 м, то технические ресурсы ветра на всей территории (площади) рассматриваемого региона оцениваются более чем в 2000 млрд кВт·ч в год. Это огромные ресурсы, в десятки раз превышающие существующее электропотребление Мурманской и Архангельской областей. Использование даже небольшой доли этих ресурсов, хотя бы 1—2%, наиболее доступных и выгодных, может иметь большое значение.

Направления возможного использования энергии ветра

К числу наиболее очевидных направлений относятся [20]:

- внедрение крупных ветропарков в состав действующих ветроэнергетических систем;
- использование ВЭУ для тепло- и электроснабжения удаленных децентрализованных потребителей;
- использование энергии ветра для производства «зеленого» водорода — экологически чистого вида топлива.

Перспективы реализации этих направлений можно рассмотреть на примере самого западного региона Арктики — Мурманской области [16; 19; 21].

Внедрение ветропарков в энергосистему.

В Мурманской области наибольшая потребность в электрической энергии приходится на холодное и темное время года (ноябрь-март). Именно в этот период отмечается и максимум скоростей ветра (см. рис. 2), что благоприятствует внедрению ветропарков в энергосистему. Кроме того, в Кольской энергосистеме (рис. 3) находятся в эксплуатации 17 гидроэлектростанций (ГЭС), которые, располагая суммарной мощностью около 1600 МВт, имеют водохранилища многолетнего, сезонного и суточного регулирования. Это может позволить при достаточ-

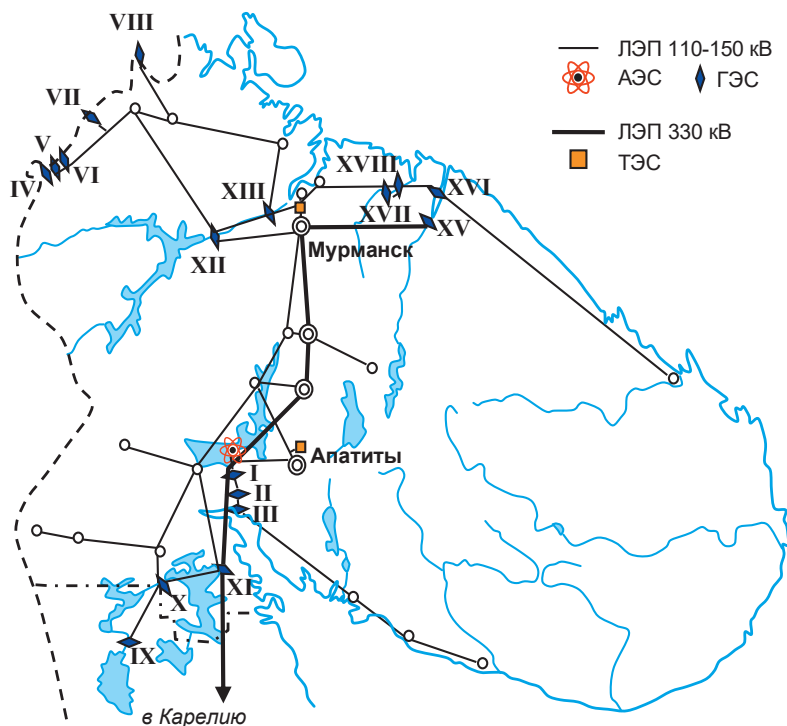


Рис. 3. Схема электрических сетей Кольской энергосистемы [21]
 Fig. 3. Scheme of electrical networks of the Kola energy system [21]

но высоких скоростях ветра и активной работе ветропарка снижать нагрузку на ГЭС, запасать в водохранилищах воду. Впоследствии эта вода может быть использована в периоды слабого ветра или безветрия.

Примерно в 100 км восточнее Мурманска располагаются Серебрянские и Териберские ГЭС (XV—XVIII на рис. 3) суммарной мощностью 500 МВт, которые могут сыграть положительную роль в развитии системной ветроэнергетики. Они транспортно доступны (туда ведет автомобильная дорога), там можно построить несколько ветропарков, для чего имеются подходящие площадки. Наличие ЛЭП напряжением 150 и 330 кВ позволяет осуществить передачу энергии в центральные районы области.

Район расположения Серебрянских и Териберских ГЭС вполне можно рассматривать в качестве первоочередного для развития системной ветроэнергетики. Не случайно в этом районе была построена Кольская ветроэлектрическая станция мощностью 201 МВт. В ходе строительства, завершившегося в декабре 2022 г., было возведено 57 ВЭУ мощностью около 3,5 МВт каждая. Годовая выработка электроэнергии ветропарка составит 750 млн кВт·ч в год.

Использование ВЭУ в автономной энергетике.

В западном секторе АЗРФ имеется много небольших автономных потребителей. Только в Мурманской области можно выделить несколько десятков удаленных рассредоточенных объектов. К их числу относятся метеорологические станции (рис. 4а), маяки гидрографической службы (рис. 4б), а также по-

граничные заставы, рыболовецкие и оленеводческие хозяйства (рис. 4в). Электроснабжение этих потребителей осуществляется от небольших дизельных электростанций, в которых установлены 2—3 дизель-генератора по 15—20 кВт. Тепловая энергия вырабатывается котельными агрегатами мощностью 20—50 кВт. Суммарная электрическая и тепловая нагрузка каждого потребителя этого класса варьирует в пределах 50—150 кВт.

Объекты Северного флота, расположенные в прибрежных районах, обеспечиваются энергией от дизельных электростанций и котельных установок. Их суммарная мощность может достигать 200 кВт.

Электроснабжение рыболовецких колхозов и оленеводческих хозяйств, базирующихся в прибрежных поселках (см. рис. 4в), осуществляется от местных дизельных электростанций мощностью 200—500 кВт,

а теплоснабжение — от котельных установок производительностью до 2—3 МВт.

Доставка топлива в удаленные прибрежные районы Кольского полуострова возможна разными видами транспорта. Но практика показывает, что использование автомобильного транспорта даже там, где есть дороги, затруднено из-за продолжительного зимнего периода, сильных снежных заносов и короткого светового дня (полярной ночи). Поэтому широко используется водный, бездорожный и воздушный транспорт. Расходы на местный распределительный транспорт варьируют в широких пределах и способствуют существенному удорожанию топлива. Цена на топливо может возрасти при использовании танкеров в 1,3—1,8 раза, бездорожного транспорта — в 1,5—2,5 раз, а при использовании авиации — втрое по отношению к отпускной цене.

Если в 2022 г. цена дизельного топлива на опорных базах топливоснабжения составляла около 60 тыс. руб./т, то после доставки потребителю она возрастала до 70—100 тыс. руб./т. Это подталкивает к экономному расходованию топлива, изысканию путей его возможного замещения (вытеснения) другими видами энергии, в частности таким местным источником, как ветер.

В табл. 2 представлены показатели по четырем дизельным электростанциям (ДЭС), расположенным в прибрежной зоне Кольского полуострова. Первые две являются объектами Северного флота, вторые две — объектами Пограничной службы. Дизельные

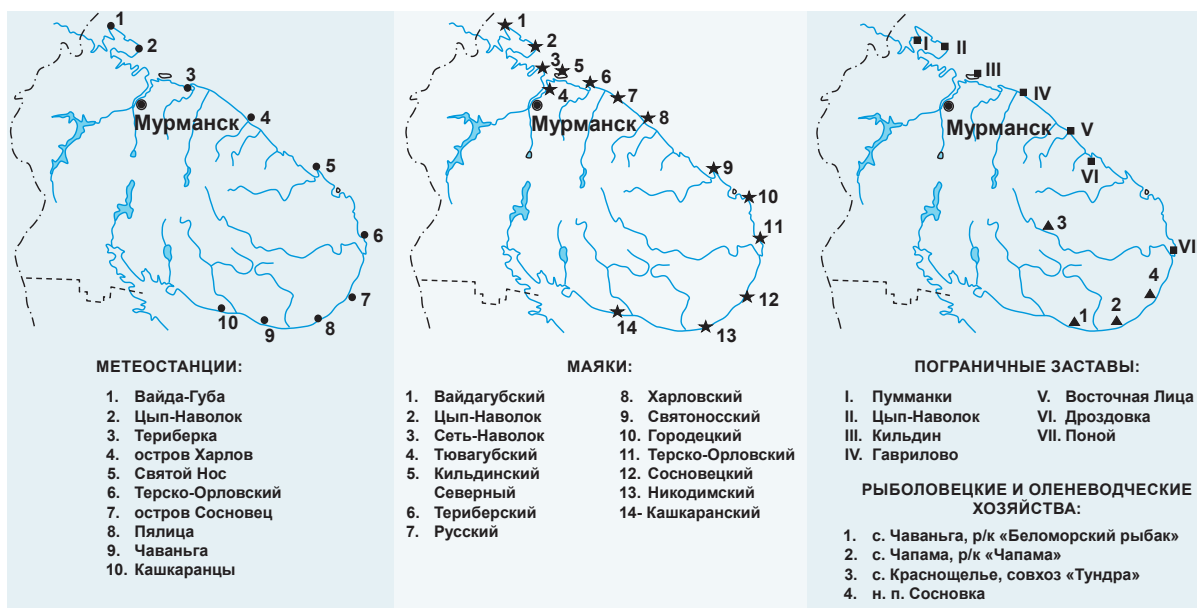


Рис. 4. Расположение автономных потребителей энергии на побережье Кольского полуострова
Fig. 4. Location of autonomous energy consumers on the Kola Peninsula coast

электростанции укомплектованы тремя-четырьмя дизельными агрегатами, что позволяет маневрировать мощностями, вовремя проводить их техническое обслуживание. Число часов использования установленной мощности ДЭС составляет 2000—2500 ч в год. Все ДЭС находятся в зоне, где среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м составляют 6—8 м/с.

На перечисленных ДЭС годовой минимум нагрузки составляет 20—30% годового максимума. Если предположить, что установленная мощность ДЭС составляет 180 кВт, как в Вайде (см. табл. 2), можно ожидать, что годовой максимум составит 150 кВт, а минимальная нагрузка — $0,2 \cdot 150 = 30$ кВт. Чтобы вся выработка внедряемой ВЭУ вписывалась в график нагрузки ДЭС, ее мощность можно принять также равной 30 кВт.

При базовой нагрузке ДЭС 30 кВт ее выработка в базовой части графика нагрузки составит

$30 \cdot 8760 = 262\,800$ кВт·ч в год. Часть этой выработки в состоянии вытеснить ветроэнергетическая установка. При этом нужно иметь в виду, что ВЭУ не может беспрерывно работать на полную мощность, а во время штиля или, наоборот, штормового ветра вообще не вырабатывает электроэнергию.

Оценка экономической эффективности работы комплекса ВЭУ + ДЭС может быть подтверждена после расчета срока окупаемости капитальных вложений в строительство ВЭУ. Это можно рассмотреть на примере ДЭС в Вайде. Следует отметить, что сооружение ВЭУ — довольно затратное мероприятие. С учетом транспортных издержек при ее доставке, затрат на сооружение фундамента, производство монтажно-пусковых работ стоимость 1 кВт установленной мощности ВЭУ может составить около 150 тыс. руб. (2500 евро/кВт). В этом случае суммарные капиталовложения в ВЭУ мощностью 30 кВт при курсе 60 руб./евро составят 4,5 млн руб.

Таблица 2. Показатели работы дизельных электростанций и режима ветра в прибрежных районах Кольского полуострова

Населенный пункт	Мощность ДЭС, кВт	Годовая выработка энергии, тыс. кВт·ч	Число часов использования установленной мощности ДЭС в год	Среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м
Вайда	$60 + 60 + 30 + 30 = 180$	464	2580	6,9
Остров Большой Олений	$30 + 30 + 30 + 30 = 120$	248	2070	8,4
Восточная Лица	$16 + 16 + 12 = 44$	110	2490	7,3
Мыс Корабельный	$30 + 16 + 10 = 56$	134	2390	6,2

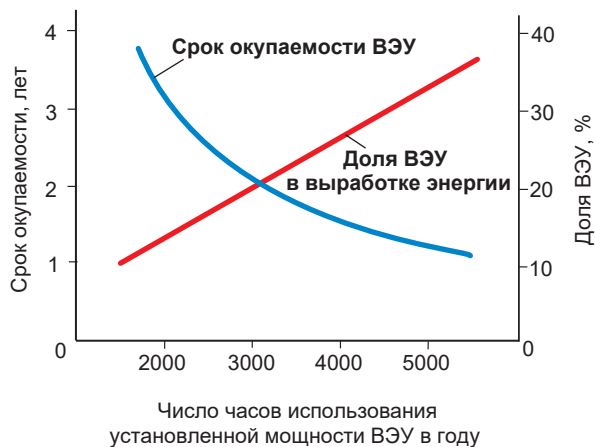


Рис. 5. Техничко-экономические показатели работы комплекса ДЭС + ВЭУ в ветровых условиях побережья Кольского полуострова [22]

Fig. 5. Technical and economic indicators of the DPP + WPP complex operation in wind conditions of the Kola Peninsula [22]

Эффект от работы ВЭУ выражается в вытеснении электроэнергии, вырабатываемой ДЭС, и соответственно в экономии затрат на топливо. Удельный расход условного топлива на рассматриваемой ДЭС составляет около 400 г условного топлива на 1 кВт·ч (КПД ДЭС = 30%) или при переходе на натуральное топливо (н. т.) 280 г н. т./кВт·ч. С учетом потерь топлива при транспортировке и хранении удельный расход натурального топлива составит $280:0,95 = 295$ г н. т./кВт·ч.

Осенью 2022 г. на опорных пунктах топливоснабжения Мурманской области дизельное топливо стоило около 60 тыс. руб./м³. При удельном весе дизтоплива 0,84 кг/м³ это соответствует 71,4 тыс. руб. за тонну натурального топлива. С учетом транспортных издержек и расходов на погрузочно-разгрузочные работы (зачастую в условиях отсутствия причальных сооружений — с использованием маломерного флота) стоимость его возрастает примерно до 100 тыс. руб./т н. т.

Простые расчеты показывают, что стоимость топлива, израсходованного на выработку 1 кВт·ч электроэнергии на ДЭС, составляет $295 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3 = 29,5$ руб. Суммарный стоимостный эффект (экономия затрат на топливо) зависит от объема электроэнергии, вытесняемой из графика ДЭС. Потенциально возможный объем, как показано выше, составляет 262 800 кВт·ч в год. Это если бы ВЭУ работала весь год с нагрузкой 20% максимальной нагрузки ДЭС и число часов использования установленной мощности ВЭУ составляло бы 8760 ч.

Если ВЭУ будет вытеснять всего 20% потенциально возможного (в районах со среднегодовой скоростью ветра около 4 м/с, где размер использования установленной мощности ВЭУ равен 1750 ч), то экономия затрат на топливо составит $29,5 \cdot 0,2 \cdot 262\ 800 = 1\ 550\ 000$ руб. Эффект от работы ВЭУ будет равен

экономии затрат на топливо за вычетом расходов на обслуживание. Согласно данным, приведенным в европейском каталоге ветровых турбин [23], затраты на обслуживание ВЭУ мощностью 30 кВт составляют около 600 евро/год, или 36 000 руб./год. Тогда годовой эффект от работы ВЭУ совместно с ДЭС составит 1 514 000 руб. Капитальные вложения в ВЭУ при этом окупаются за $4,5 \cdot 10^6 / 1,514 \cdot 10^6 = 2,97$ года. При длительности использования установленной мощности ДЭС в год, равной 2500 ч, что близко к действительности (см. табл. 2), выработка ДЭС составит $180 \cdot 2500 = 450\ 000$ кВт·ч/год, а доля ВЭУ в выработке комплекса ДЭС + ВЭУ будет равна $0,2 \cdot 262\ 800 / 450\ 000 = 11,7\%$.

Прибрежные районы Кольского полуострова располагают повышенным потенциалом ветра (см. рис. 1). При внедрении ВЭУ можно покрыть часть графика нагрузки ДЭС. Расчеты, выполненные для случая применения немецкой ВЭУ «Südwind 1230», имеющей мощность 30 кВт, диаметр ветроколеса 12,5 м, высоту расположения оси ветроколеса 18 м, расчетную скорость ветра 12 м/с (определяющую номинальную мощность), показали следующее. При среднегодовых скоростях ветра 6,2—8,4 м/с на высоте 10 м (см. табл. 2) длительность использования установленной мощности ВЭУ может составить более 3000 ч. Доля ВЭУ в выработке энергии комплексом ДЭС + ВЭУ может достигать 18—30%, а срок окупаемости капиталовложений в ВЭУ (рис. 5) — всего 1,3—2,2 года [22]. Это представляется очень благоприятным.

Объем вытесненного топлива при столь хороших ветровых условиях также оказывается достаточно высоким и достигает на побережье Белого моря 13—20% годового расхода, а на побережье и островах Баренцева моря — 20—30%.

Повышенные скорости ветра в прибрежных районах Арктики, в том числе в Мурманской области, открывают большие возможности использования ветроэнергетических установок для теплоснабжения потребителей [24—26]. В качестве предпосылок для развития этого направления следует отметить значительную продолжительность отопительного периода, а также совпадение максимумов потребности в тепловой энергии и возможной выработки ВЭУ, приходящихся на зимнее время. В этих условиях ветер, определяющий повышенные тепловые потери, может стать полноценным источником энергии.

Основным недостатком ветра является его непостоянство. Но эта его негативная сторона может быть сглажена. Кратковременные изменения мощности ветра могут выравниваться за счет инерционности самой системы теплоснабжения. Благодаря аккумулярующей способности отапливаемых зданий минутные и даже часовые колебания могут компенсироваться. Перспективным также представляется применение аккумуляторов тепла или резервных котельных установок на органическом топливе для выработки тепловой энергии при длительных ослаблениях ветра.

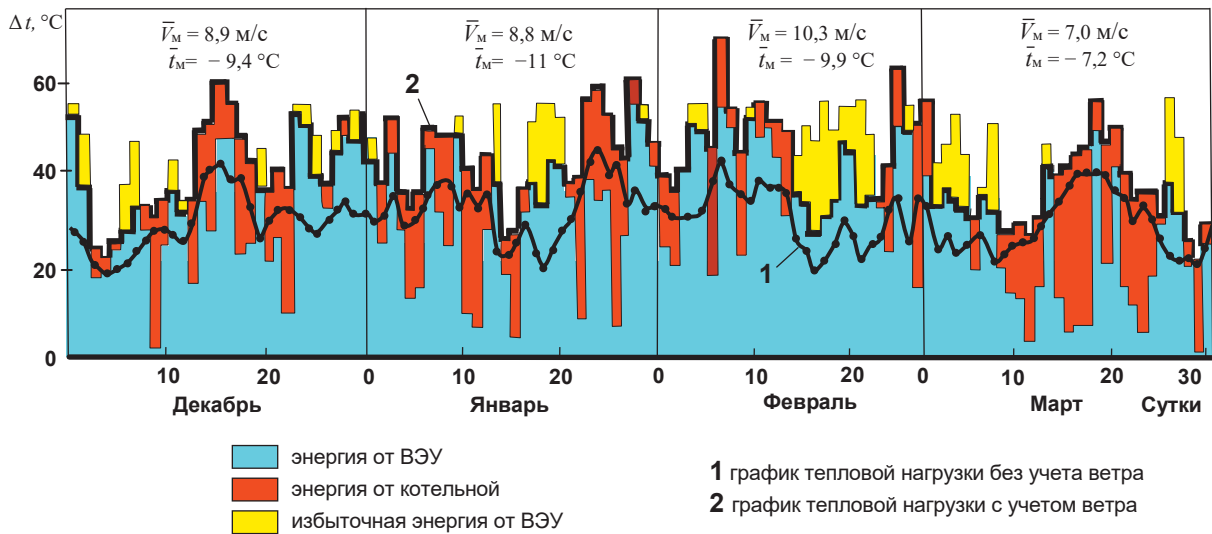


Рис. 6. График отопительной нагрузки на полигоне КНЦ РАН в зимние месяцы
 Fig. 6. The heating-load curve at the KSC RAS test site in the winter months

Потребность в тепловой энергии, необходимой для отопления здания, определяется выражением

$$Q = qBk_v(t_B - t_H) \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где q — удельная тепловая характеристика здания, кВт·ч/м³, °C; B — наружный объем отапливаемого здания, м³; k_v — коэффициент, учитывающий рост тепловых потерь от ветра; $t_B - t_H = \Delta t$ — разность между внутренней и наружной температурами воздуха, °C.

Коэффициент k_v имеет почти линейную зависимость от скорости ветра [14; 16]. При скорости 10 м/с тепловые потери возрастают на 40%, при 14 м/с — на 60%, а при 20 м/с — на 90%.

Величины q и B являются постоянными. Поэтому потребность в тепловой энергии зависит главным образом от перепада температур Δt и поправки на ветер, учитываемой коэффициентом k_v . На рис. 6 на основании фактических данных показано возможное участие ВЭУ в покрытии графика отопительной нагрузки. Данные получены в результате наблюдений, выполненных на ветроэнергетическом полигоне Кольского научного центра РАН на северном побережье Кольского полуострова. Расчеты и соответствующие графические построения выполнены для самого напряженного зимнего периода (декабрь–март), когда среднемесячные скорости ветра \bar{V}_M составляли 7,0–10,3 м/с, а среднемесячные температуры воздуха \bar{t}_M — -7...-11°C. Мощность ВЭУ принималась равной 0,8 расчетной мощности котельной.

Кривая 1 на рисунке показывает, каким был бы график отопительной нагрузки без учета ветра и при температуре воздуха в помещении 20°C. Ступенчатая утолщенная линия 2 построена с учетом влияния ветра, она располагается выше кривой 1 и свидетельствует о возрастании нагрузки. Энергия,

покрываемая за счет использования ветра, показана голубым цветом. При достаточно сильном ветре ветроэнергетическая установка может полностью покрывать график отопительной нагрузки и порой даже создавать избытки энергии, отмеченные на рисунке желтым цветом. При недостаточно сильном ветре часть энергии покрывает штатная котельная установка за счет сжигания топлива.

Обработка обширных метеорологических материалов наблюдений на метеостанциях Мурманской области позволила оценить возможное участие ВЭУ в теплоснабжении, причем сделать это как по отдельным месяцам, так и в целом за год. Оказалось, что если мощность ВЭУ намного меньше мощности котельной, то выработка ВЭУ почти полностью вписывается в график нагрузки (см. рис. 6). Нарастивание мощности ВЭУ приводит к увеличению доли участия ВЭУ. Но одновременно возрастает вероятность неполного использования ветровой энергии и возникновения излишков. Это может наблюдаться, когда мощность ВЭУ превысит 60% мощности котельной. Для наиболее эффективного внедрения ВЭУ были проведены расчеты по оптимизации мощности ВЭУ. Они показали, что оптимальным является соотношение мощностей ВЭУ и котельной в диапазоне 0,6–0,8. При этих значениях доля ВЭУ в покрытии графика нагрузки достигает 40–70% (в зависимости от потенциала ветра).

Использование энергии ветра для производства водорода. Этому направлению в последнее время уделяется большое внимание во всем мире [27–31]. В данной статье представляется возможным затронуть вопрос о производстве водорода путем электролиза воды с использованием электроэнергии, вырабатываемой ветроэнергетическими установками. Производство водорода в арктических районах, располагающих высоким потенциа-



Рис. 7. Площадки 1–4 для размещения производства водорода с использованием ветровой энергии
 Fig. 7. Sites 1–4 to accommodate the production of hydrogen using wind energy

лом ветра, транспортными связями (автомобильными дорогами, незамерзающими морскими портами), может быть эффективным и экономически оправданным. Интерес к этому направлению возрастает и в связи с резким подорожанием традиционного органического топлива (нефтепродуктов, природного и сжиженного газа, угля). Производимый в Арктике водород может использоваться внутри северных территорий, поставляться в сжиженном виде в другие районы страны, а также экспортироваться за рубеж.

В [31; 32] отмечается, что водородная тема довольно глубоко исследована, и вполне вероятно, что произведенный с использованием возобновляемых источников энергии водород в будущем сможет занять важное место в экономике.

Исследования показали, что благоприятные условия для развития водородной энергетики имеются и в западном секторе АЗРФ, в том числе на Кольском полуострове. Здесь можно выбрать несколько площадок с высоким потенциалом ветра (рис. 7), пригодных для сооружения ВЭУ и развертывания производства водорода. В качестве первоочередных можно предложить две площадки на полуострове Рыбачьем (в 100–120 км северо-западнее Мурманска) и две площадки в районе поселка Териберка (в 125 км восточнее Мурманска). Для этих площадок характерна повышенная интенсивность ветра (см. рис. 1).

Первая площадка располагается на западной оконечности полуострова Рыбачий рядом с метеостанцией Вайда-Губа. Местность в этом районе не слишком пересеченная, высота над уровнем моря в основном около 60–80 м. Доступ к площадке имеется со стороны моря, а также по грунтовой дороге длиной около 70 км, связывающей площадку с автомагистралью Мурманск — Киркенес (Норвегия).

Вторая площадка расположена в центральной части полуострова Рыбачий. Она тяготеет к Мотовскому заливу Баренцева моря. Площадка имеет высотные отметки около 100–130 м над уровнем моря и пригодна для размещения парка ветроэнергетических установок. Заслуживает внимания Мотовский залив, хорошо защищенный от морского волнения. Он имеет причальные сооружения и может быть использован как для поставки грузов при сооружении ВЭУ, так и впоследствии для вывоза готовой продукции (водорода).

Третья площадка расположена в 80 км восточнее Мурманска рядом с Кольской ветроэлектрической станцией мощностью 201 МВт, сооружение которой было завершено в 2022 г. Четвертая площадка — между поселком Туманный и Нижне-Серебрянской ГЭС. Обе площадки располагаются на высотах около 180–220 м над уровнем моря, находятся вблизи благоустроенной автомобильной дороги, соединяющей поселки с областным центром.

Выводы

Западный сектор АЗРФ располагает повышенным потенциалом ветра, особенно прибрежные районы, где среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м составляют 6—8 м/с. Максимум интенсивности ветра приходится на зимнее время (октябрь-апрель) и совпадает с периодом наибольшей потребности в энергии. Это открывает перспективы для вовлечения энергии ветра в процессы электро- и тепло-снабжения. В указанных арктических районах использование ветровой энергии возможно по трем основным направлениям: работа ветропарков в составе энергосистем, участие ВЭУ в энергоснабжении удаленных рассредоточенных потребителей (совместная работа с местными котельными и дизельными электростанциями), использование энергии ветра для производства водорода.

В Кольской энергосистеме имеются благоприятные предпосылки для успешной работы крупных ветропарков. В регионе эксплуатируется 17 гидроэлектростанций общей мощностью более 1,5 млн кВт, из них 11 ГЭС расположены на реках, впадающих в Баренцево море. Они в состоянии облегчить вписывание энергии от ВЭУ в график нагрузки энергосистемы. Участие ВЭУ в электро- и теплоснабжении удаленных автономных потребителей может способствовать экономии (вытеснению) 40—70% топлива, используемого в дизельных электростанциях и котельных. На Кольском полуострове имеются благоприятные условия для развития водородной энергетики. Высокий потенциал ветра, развитые транспортные связи (автомобильные и железные дороги, водные морские пути, незамерзающие порты) позволяют организовать производство водорода и его дальнейшую поставку как на внутренний, так и зарубежный рынок.

Литература

1. Смоленцев Д. О. Развитие энергетики Арктики: проблемы и возможности малой генерации // Арктика: экология и экономика. — 2012. — № 3 (7). — С. 22—29.
2. Гасникова А. А. Состояние, проблемы и перспективы развития энергоснабжения арктических районов России // Север и рынок: формирование экономического порядка. — 2018. — № 3 (59). — С. 69—77. — DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.3.2018.59.69-77.
3. Фортвов В. Е., Попель О. С. Энергетика в современном мире. — Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2011. — 168 с.
4. Marchenko O. V., Solomin S. V. Efficiency of wind energy utilization for electricity and heat supply in northern regions of Russia // Renewable Energy. — 2004. — Vol. 29, № 11. — С. 1793—1809.
5. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033>.
6. Старков А. Н., Ландберг Л., Безруких П. П., Борисенко М. М. Атлас ветров России. — М.: Можайск-Терра, 2000. — 560 с.
7. Николаев В. Г., Ганага С. В., Кудряшов Ю. И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения. — М.: Атмограф, 2008. — 584 с.
8. Атласы ветрового и солнечного климатов России / Под. ред. М. М. Борисенко, В. В. Стадник. — СПб.: Изд-во ГГО им. А. И. Воейкова, 1997. — 173 с.
9. Киселева С. В., Рафикова Ю. Ю., Андриенко Т. И. и др. Ресурсы возобновляемой энергетики: методы оценки и картографирование: коллективная монография. — М.: Наука, 2019. — 194 с.
10. Суркова Г. В., Крылов А. А. Изменения средних и экстремальных скоростей ветра в Арктике в конце XXI века // Арктика и Антарктика. — 2018. — № 3. — С. 26 — 36. — DOI: 10/7256/2453-8922.2018.3.27395.
11. Chenglin Duan, Zhifeng Wang, Sheng Dong, Zhenkun Liao. Wind characteristics and wind energy assessment in the Barents Sea based on ERA-Interim reanalysis // Oceanological and Hydrobiological Studies. — 2018. — Vol. 47, iss. 4. — С. 415 — 428. — URL: https://www.researchgate.net/publication/329481800_Wind_characteristics_and_wind_energy_assessment_in_the_Barents_Sea_based_on_ERA-Interim_reanalysis.
12. Minin V. A., Furtaev A. I. Wind potency in the western sector of the Russian Arctic and its possible uses // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Univ. — St. Petersburg: IOP Publishing Ltd, 2019. — DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012067.
13. Минин В. А., Степанов И. Р. Ветроэнергетический кадастр европейского Севера СССР // Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт. — 1983. — № 1. — С. 106—114.
14. Зубарев В. В., Минин В. А., Степанов И. Р. Использование энергии ветра в районах Севера. — Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1989. — 208 с.
15. Минин В. А. Потенциал ветровой энергии Архангельской области // Труды КНЦ РАН. Сер. Энергетика. — 2016. — № 1 (35). — С. 103—117.
16. Минин В. А., Дмитриев Г. С., Бежан А. В. и др. Энергия ветра — перспективный возобновляемый энергоресурс Мурманской области: Препринт. — Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. — 73 с.
17. Минин В. А. Влияние аккумуляторов тепла на показатели совместной работы котельной и ветроустановки в прибрежных районах европейского Севера // Теплоэнергетика. — 2022. — № 2. — С. 48—55.
18. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 80 с.
19. Баранник Б. Г., Коновалова О. Е., Минин В. А. Перспективы совершенствования энергетического хозяйства в районах Севера за счет использования возобновляемых источников энергии. — Апатиты: Изд-во Кольского науч. центра РАН, 2011. — 154 с.

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

20. Минин В. А., Рожкова А. А., Бежан А. В. Возможные направления интеграции возобновляемых источников энергии в энергетическое хозяйство Мурманской области // Вестн. Кольского науч. центра РАН, 2019. — № 3. — С. 124—133.
21. Минин В. А., Дмитриев Г. С. Перспективы развития ветроэнергетики на Кольском полуострове. — Апатиты: Изд-во Кольского науч. центра РАН, 1998. — 97 с.
22. Минин В. А., Рожкова А. А. Оценка эффективности совместной работы дизельных электростанций с ветроэнергетическими установками // Электр. станции. — 2014. — № 6. — С. 29—32.
23. Windenergie 2002. — Osnabrück, Deutschland: Bundesverband WindEnergie Service, GmbH, 2002. — 265 р.
24. Минин В. А. Перспективы использования энергии ветра для теплоснабжения потребителей Севера // Теплоэнергетика. — 2009. — № 11. — С. 34—40.
25. Минин В. А., Бежан А. В. Оценка эффективности системы теплоснабжения на основе котельной и ветроустановки в условиях Севера // Теплоэнергетика. — 2017. — № 3. — С. 51—59.
26. Minin V. A., Krivtsov S. I. Prospects for the wind energy use for power and heat supply to decentralized consumers in the western sector of the Russian Arctic // J. Phys.: Conf. Ser. — 2021. — 2096 012111. — DOI:10.1088/1742-6596/2096/1/012111.
27. Марченко О. В., Соломин С. В. Анализ эффективности производства водорода с применением ветроэнергетических установок и его использования в автономной энергосистеме // Междунар. науч. журн. «Альтернатив. энергетика и экология». — 2017. — № 3. — С. 112.
28. Кулагин В. А., Грушевенко Д. А. Сможет ли водород стать топливом будущего? // Теплоэнергетика. — 2020. — № 4. — С. 3—17. — DOI: 10.1134/S0040363620040025.
29. Тарасенко А. Б., Попель О. С. Перспективные пути развития водородной энергетики в условиях Севера // Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность. — [Б. м.], 2016. — С. 243—249.
30. Мастепанов А. М. Водородная энергетика России: состояние и перспективы // Энергет. политика. — 2020. — № 12 (154). — С. 54—65. — DOI: 10.46920/2409-5516_2020_12154_54.
31. Соловьев Д. А. Направления развития водородных энергетических технологий // Энергет. политика. — 2020. — № 3. — С. 64—71.
32. Бушуев В. В., Зайченко В. М., Моргунова М. О. и др. Потенциал ВИЭ в Арктике: новые задачи / Под ред. А. Б. Алхасова. — Махачкала: Ин-т проблем геотермии Дагестан. науч. центра РАН, 2017. — С. 94—99.

Информация об авторах

Минин Валерий Андреевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией энергосбережения и возобновляемых источников энергии, Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН (184209, Россия, Мурманская область, Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14), e-mail: v.minin@ksc.ru.

Целищева Мария Алексеевна, инженер лаборатории энергосбережения и возобновляемых источников энергии, Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН (184209, Россия, Мурманская область, Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14), e-mail: m.celischeva@ksc.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Минин В. А., Целищева М. А. Ресурсы ветра западного сектора Арктической зоны Российской Федерации и возможные направления их использования // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 1. — С. 72—84. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-1-72-84.

WIND RESOURCES OF THE WESTERN SECTOR OF THE ARCTIC ZONE OF RUSSIAN FEDERATION AND POSSIBLE AREAS OF THEIR USE

Minin, V. A., Tselishcheva, M. A.

Northern Energetics Research Centre Kola Science Centre of RAS (Apatity, Murmansk region, Russian Federation)

The article was received on July 2, 2022

Abstract

The authors consider the potential and technical resources of wind energy in the Western sector of the Arctic zone of the Russian Federation. They have stated that increased wind speeds take place in the Arctic coastal areas. Their average annual values at a height of 10 m reach 6—8 m/s. The strongest winds are observed in winter. It is during this period that the demand for heat and electricity from all categories of consumers is maximum, which is a significant prerequisite for the use of wind energy. On the example of the Murmansk region, the authors show the prospects for the use of wind-driven power plants (WPPs) for the production of electricity as part of the Kola electric power system, where there are 17 hydroelectric power plants that can compensate for the variability in the supply of wind energy. Promising is the joint work of WPPs with diesel power plants and boiler plants. The positive effect of such work is expressed in saving the imported fuel and reducing harmful emissions into the environment. The authors propose promising sites for the construction of energy complexes focused on the production of environmentally friendly hydrogen through the use of high-potential wind resources.

Keywords: *Western sector of the Arctic zone of the Russian Federation, wind potential and resources, wind power plants, directions and prospects for the use of wind.*

References

1. Smolentsev D. O. Development of the energy industry in the Arctic: problems and opportunities for small generation. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: ecology and economy], 2012, no. 3 (7), pp. 22—29.
2. Gasnikova A. A. State, problems and prospects of the energy supply development in the Arctic regions of Russia. *Sever i rynek: formirovaniye ekonomicheskogo poriyadka*, 2018, no. 3 (59), pp. 69—77. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.3.2018.59.69-77.
3. Fortov V. Y., Popel' O. S. Power Engineering in Modern World. Dolgoprudny, Pub. "Intellect". 2011.
4. Marchenko O. V., Solomin S. V. Efficiency of wind energy utilization for electricity and heat supply in northern regions of Russia. *Renewable Energy*, 2004, vol. 29, no. 11, pp. 1793—1809.
5. Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033>.
6. Starkov A. N., Landberg L., Bezrukikh P. P., Borisenko M. M. Russian Wind Atlas. Moscow, Mzhaysk-Terra, 2000, 560 p.
7. Nikolayev V. G., Ganaga S. V., Kudryashov Yu. I. National Cadastre of Wind energy Resources of Russia and methodological bases for their determination. Moscow, Atmograp, 2008, 584 p.
8. Atlases of wind and solar climates of Russia. Ed. by M. M. Borisenko, V. V. Stadnik. St. Petersburg, Publ. House of the State Univ. named after A. I. Voeikov, 1997, 173 p.
9. Kiseleva S. V., Rafikova Yu. Yu., Andrienko T. I., Novakovsky B. A., Prasolova A. I. Renewable energy resources: assessment methods and mapping: a collective monograph. Moscow, Nauka, 2019, 194 p.
10. Surkova G. V., Krylov A. A. Changes in average and extreme wind speeds in the Arctic at the end of the XXI century. *Arctic and Antarctic*, 2018, no. 3, pp. 26—36. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27395.
11. Chenglin Duan, Zhifeng Wang, Sheng Dong, Zhenkun Liao. Wind characteristics and wind energy assessment in the Barents Sea based on ERA-Interim reanalysis. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2018, vol. 47, iss. 4, pp. 415—428. Available at: https://www.researchgate.net/publication/329481800_Wind_characteristics_and_wind_energy_assessment_in_the_Barents_Sea_based_on_ERA-Interim_reanalysis/
12. Minin V. A., Furtaev A. I. Wind potency in the western sector of the Russian Arctic and its possible uses. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Univ. St. Petersburg, IOP Publishing Ltd, 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012067.
13. Minin V. A., Stepanov I. R. Wind Energy Cadastre of the European North of the USSR. *Proc. Academy of Sciences of the USSR. Energy and transport*, 1983, no. 1, pp. 106—114.
14. Zubarev V. V., Minin V. A., Stepanov I. R. Use of wind energy in the regions of the North. Leningrad, Nauka, Leningrad branch, 1989, 208 p.
15. Minin V. A. The potential of wind energy in the Arkhangelsk region. *Transactions of the Kola Science Centre. Energy technology*, 2016, no. 1 (35), pp. 102—116.

16. Minin V. A., Dmitriev G. S., Bezhan A. V. et al. Wind energy is a promising renewable energy resource of the Murmansk region: Preprint. Apatity, Izd. KNTs RAN, 2006, 73 p.
17. Minin V. A. The Influence of Heat Accumulators on the Performance Indicators Characterizing Joint Operation of a Boiler House and Windmill in the European North Coastal Regions. *Thermal Engineering*, 2022, vol. 69, no. 2, pp. 114—120.
18. Recommendations for determining the climatic characteristics of wind energy resources. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989, 80 p.
19. Barannik B. G., Kononova O. E., Minin V. A. Prospects for improving the energy economy in the regions of the North through the use of renewable energy sources. Apatity, Pub. of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2011, 154 p.
20. Minin V. A., Rozhkova A. A., Bezhan A. V. Possible directions for the integration of renewable energy sources in the energy sector of the Murmansk region. *Herald of the Kola Science Center of RAS*, 2019, no. 3, pp. 124—133.
21. Minin V. A., Dmitriyev G. S. Prospects for the development of wind power on the Kola Peninsula. Apatity, Izd-vo Kolskogo nauchnogo tsentra RAN, 1998, 97 p.
22. Minin V. A., Rozhkova A. A. Evaluation the effectiveness of diesel and wind power plants joint work. *Power Technology and Engineering*, 2014, no. 6, pp. 29—32.
23. Windenergie 2002. Osnabrück, Deutschland, Bundesverband WindEnergie Service, GmbH, 2002, 265 p.
24. Minin V. A. Prospects for the use of wind energy for heat supply to consumers in the North. *Teploenergetika*, 2009, no. 11, pp. 34—40.
25. Minin V. A., Bezhan A. V. Evaluation of the efficiency of a heat supply system based on a boiler room and a wind turbine in the conditions of the North. *Teploenergetika*, 2017, no. 3, pp. 51—59.
26. Minin V. A., Krivtsov S. I. Prospects for the wind energy use for power and heat supply to decentralized consumers in the western sector of the Russian Arctic. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2021, 2096 012111. DOI: 10.1088/1742-6596/2096/1/012111.
27. Marchenko O. V., Solomin S. V. Analysis of the efficiency of hydrogen production using wind power plants and its use in an autonomous energy system. *Intern. Scientific J. Alternative Energy and Ecology*, 2017, no. 3. p. 112.
28. Kulagin V. A., Grushevenko D. A. Is hydrogen able to become the fuel of the future? *Thermal power engineering*, 2020, no. 4, pp. 3—17. DOI: 10.1134/S0040363620040025.
29. Tarasenko A. B., Popel' O. S. Perspective ways of developing hydrogen energy in the conditions of the North. *Renewable energy XXI century: Energy and economic efficiency*, 2016, pp. 243—249.
30. Mastepanov A. M. Hydrogen energy in Russia: status and prospects. *Energy policy*, 2020, no. 12 (154), pp. 54—65. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_12154_54.
31. Solovyov D. A. Directions for the development of hydrogen energy technologies. *Energy Policy*, 2020, no. 3, pp. 64—71.
32. Bushuev V. V., Zaichenko V. M., Morgunova M. O., Soloviev D. A., Chernyavsky A. A. Potential of RES in the Arctic: new tasks. Ed. A. B. Alkhasov. Makhachkala, Institute of Geothermal Problems of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 94—99.

Information about the authors

Minin, Valery Andreevich, PhD of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory for Energy Saving and Renewable Energy Sources, Northern Energetics Research Centre Kola Science Centre of RAS (14, Fersman street, Apatity, Murmansk Region, Russia, 184209), e-mail: v.minin@ksc.ru.

Tselishcheva, Maria Alekseevna, Engineer, Laboratory for Energy Saving and Renewable Energy Sources, Northern Energetics Research Centre Kola Science Centre of RAS (14, Fersman street, Apatity, Murmansk Region, Russia, 184209), e-mail: m.celischeva@ksc.ru.

Bibliographic description of the article

Minin, V. A., Tselishcheva, M. A. Wind resources of the Western sector of the Arctic zone of Russian Federation and possible areas of their use. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: ecology and economy], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 72—84. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-1-72-84.

© Minin V. A., Tselishcheva M. A., 2023