

УДК 621.548 (470.1)

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-75-82

Перспективы использования энергии ветра в западном секторе Арктики

В.А. Минин

Цель исследования — оценка потенциала ветровой энергии в западном секторе Арктики, выявление возможных направлений использования ресурсов ветра для электро- и теплоснабжения потребителей региона.

По результатам обработки многолетних рядов наблюдений за скоростью ветра на метеорологических станциях западного сектора Арктики построена карта распределения среднегодовых скоростей ветра в прибрежных районах Баренцева и Белого морей, изучена повторяемость скоростей ветра, оценены ветроэнергетические ресурсы региона. Установлено, что в большинстве прибрежных районов среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м от поверхности земли составляют 5...8 м/с. Наибольшая интенсивность ветра наблюдается в зимние месяцы. Сезонный максимум скоростей ветра совпадает с максимумом потребности в тепловой и электрической энергии в холодное время года, это является благоприятной предпосылкой для успешного использования ветровой энергии на нужды электро- и теплоснабжения потребителей. Представленные данные свидетельствуют о возможности эффективного применения ветроэнергетических установок (ВЭУ) по трем основным направлениям: развитию системной ветроэнергетики (работе крупных ветропарков в составе энергосистемы), участию ВЭУ в электроснабжении автономных потребителей (совместной работе с местными дизельными электростанциями) и теплоснабжении потребителей (совместном функционировании с котельными установками). В ходе проведенных исследований выявлены перспективные площадки для сооружения крупных ветропарков на северном побережье Кольского полуострова вблизи гидроэлектростанций, входящих в состав Кольской энергосистемы. Получены показатели возможной совместной работы ВЭУ с местными дизельными электростанциями и котельными установками в районах децентрализованного энергоснабжения. Показано, что основной эффект от использования энергии ветра сводится к экономии дорогостоящего органического топлива, доставляемого потребителям арктических районов с большими транспортными издержками. В зонах децентрализованного энергоснабжения применение ВЭУ, в зависимости от потенциала ветра, способствует экономии от 20 до 70% годового расхода топлива.

Ключевые слова: западный сектор Арктики, энергия, потенциал и ресурсы ветра, направления и перспективы использования.

Для цитирования: Минин В.А. Перспективы использования энергии ветра в западном секторе Арктики // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 75—82. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-75-82.

Prospects for Using Wind Energy in the Western Sector of the Arctic

V.A. Minin

The aim of the study is to estimate the wind energy potential in the western sector of the Arctic and to identify possible ways for using wind resources for power and heat supply to regional consumers.

The data of long-term wind velocity observation series at meteorological stations in the western sector of the Arctic were processed. Based on the obtained results, a map showing the distribution of annual average wind velocities in the coastal regions of the Barents and White Seas has been drawn; the recurrence of wind velocities has been studied, and the wind energy resources in the region have been estimated. It has been established that in the majority of coastal regions, the annual average wind velocities at a height of 10 m above the ground level are in the range 5 to 8 m/s. The highest wind intensity is observed during the winter months. The seasonal maximum of wind velocities coincides with the maximum demand for heat and electricity in the cold season, which is a favorable prerequisite for successful use of wind energy for meeting the consumers' electricity and heat supply needs. The presented data testify the possibility of efficiently using wind power plants (WPPs) in the following three main areas: the development of systemic wind energy (operation of large wind farms as part of the power system), participation of WPPs in supplying power to autonomous consumers (joint operation with local diesel power plants), and heat supply to consumers (joint operation with boiler units). Based on the study results, promising sites have been determined for construction of large wind farms on the Kola Peninsula northern coast near the hydroelectric power plants operating as part of the Kola power system. The indicators characterizing possible joint operation of WPPs with local diesel power plants and boiler units in decentralized power supply areas have been obtained. It has been shown that the major effect from using wind energy boils down to saving expensive fossil fuel, which is delivered to consumers in the Arctic regions at high transportation costs. In the areas of decentralized power supply, the use of WPPs helps save from 20 to 70% of annual fuel consumption depending on the wind energy potential.

Key words: western sector of the Arctic, wind energy, wind potential and resources, usage areas and prospects.

For citation: Minin V.A. Prospects for Using Wind Energy in the Western Sector of the Arctic. Bulletin of MPEI. 2022;5:75—82. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-75-82.

Введение

В последние годы в России большое внимание уделяется освоению районов Арктики [1 — 6]. Повышенный интерес определяется огромными природными богатствами северных районов, возросшим значением Северного морского пути как круглогодичной транспортной магистрали, а также необходимостью поддержания на должном уровне оборонной безопасности страны.

Западный сектор Арктики охватывает прибрежные районы Баренцева и Белого морей, архипелаги Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Часть территории региона относится к Мурманской и Архангельской областям, централизованно снабжающихся от Кольской и Архангельской энергосистем. В то же время энергоснабжение большого числа сравнительно небольших удаленных потребителей энергии, таких как метеостанции, маяки, пограничные заставы, рыболовецкие хозяйства, объекты специального назначения, сопряжено с большими трудностями и осуществляется от автономных источников. Топливоснабжение указанных регионов формируется в основном за счет привозного топлива (нефтепродуктов, угля, газа, ядерного топлива). Вместе с тем, в арктических районах имеются огромные ресурсы местных возобновляемых источников энергии (ветра, гидроэнергии малых рек, морских приливов и др.).

Настоящая работа посвящена оценке потенциала ветровой энергии западного сектора Арктики и выявлению перспектив его использования для энергоснабжения различных категорий потребителей. Использование энергии ветра позволит сэкономить привозное топливо, доставляемое с высокими транспортными издержками.

Режим ветра западного сектора Арктики

Основные характеристики режима ветра — среднегодовая скорость, сезонное изменение среднего уровня и повторяемость скоростей, удельные мощность и энергия [7 — 9]. В качестве исходных данных для получения данных характеристик обычно используются наблюдения за скоростью ветра на опорной сети гидрометеослужбы. Они проводятся несколько раз в сутки, охватывают периоды в десятки лет и дают общую характеристику интенсивности ветра на рассматриваемой территории [7, 9, 10]. Для получения сравнимой информации из разных метеостанций средние скорости ветра приводят к одной высоте, например, 10 м над поверхностью земли, используя для этого степенную или логарифмическую зависимости, описывающие вертикальный профиль ветра.

Обобщение данных о средних многолетних скоростях ветра в прибрежных районах западного сектора Арктики позволило построить карту их распределения по территории региона. На рисунке 1 выделены зоны с наибольшим потенциалом ветра и, соответственно,

наиболее благоприятные для возможного сооружения ветроэнергетических установок. Таковыми являются прибрежные районы Баренцева и Белого морей, где среднегодовые скорости достигают 6...8 м/с. Именно здесь предпосылки для использования энергии ветра наиболее очевидны.

Исследования [7, 10] показали, что интенсивность ветра существенно зависит от времени года. В рассматриваемых арктических районах наиболее сильные ветры наблюдаются в холодное время года. Особенно это характерно для прибрежных районов Баренцева и Белого морей, где соседствуют незамерзающее море и холодная суша. Здесь в летние месяцы среднемесячные скорости ветра составляют 4...5 м, а в зимние — 9...12 м/с. Таким образом, в указанных районах складываются очень благоприятные предпосылки для эффективного использования энергии ветра. Максимум среднемесячных скоростей, наблюдаемый в холодное время года, совпадает с максимумом потребности в тепловой энергии со стороны потребителей.

Важная характеристика воздушного потока — повторяемость скоростей ветра. Она показывает, какую часть времени в течение рассматриваемого периода дули ветры с той или иной скоростью. Повторяемость позволяет выявить энергетическую ценность ветра. Для выполнения ветроэнергетических расчетов желательно иметь аналитические зависимости, описывающие повторяемость скоростей. Исследования показали, что в наиболее ветреных прибрежных районах Баренцева и Белого морей повторяемость скоростей описывается двухпараметрическим уравнением Вейбулла [7, 9, 11].

Информация о средних многолетних скоростях ветра (см. рис. 1) и данные о повторяемости скоростей послужили основой для расчета технических ресурсов ветровой энергии изучаемой территории. Вычисления выполнены, исходя из шахматного расположения ВЭУ на расстоянии 10 диаметров ветроколеса друг от друга. Установлено, что технические ресурсы ветра рассматриваемого региона составляют свыше 2200 млрд кВт·ч в год [9]. Это огромная величина, многократно превышающая сегодняшнее годовое электропотребление Мурманской и Архангельской областей (около 23 млрд кВт·ч). Очевидно, что использование даже небольшой доли выявленных ресурсов ветра, наиболее доступных и выгодных, может иметь большое значение.

Направления возможного использования энергии ветра

Первоочередным направлением является развитие системной ветроэнергетики — сооружение крупных ветропарков и их внедрение в состав действующих электроэнергетических систем [12]. Благоприятные факторы для этого в Мурманской области — высокий потенциал ветра, зимний максимум интенсивности ветра, совпадающий с сезонным максимумом потреб-

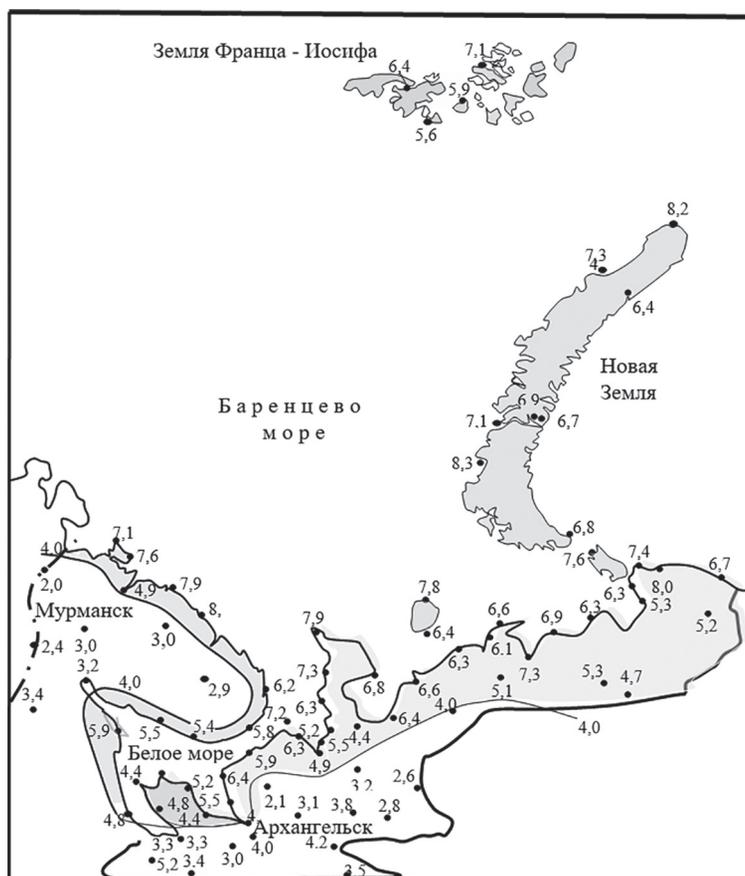


Рис. 1. Средние многолетние скорости ветра на высоте 10 м на метеостанциях западного сектора Арктики

ления энергии, а также наличие в Кольской энергосистеме (рис. 2) семнадцати гидроэлектростанций (ГЭС) суммарной мощностью около 1600 МВт с водохранилищами многолетнего, сезонного и суточного регулирования. ГЭС позволяют накапливать воду за счет работы ВЭУ в период активных ветров и сбрасывать ее при ослаблении ветра. Именно наличие ГЭС создает на Кольском полуострове уникальные условия для крупномасштабного использования энергии ветра.

Так, в районе Серебрянских и Териберских ГЭС (ГЭС XV — XVIII, рис. 2) суммарной мощностью около 500 МВт может быть построено несколько ветропарков (рис. 3) суммарной мощностью 300...400 МВт. Существующие линии электропередачи напряжением 150 и 330 кВ позволяют выдавать мощность и энергию в центральные районы области. Во избежание перегрузки работа ЛЭП может проходить в компенсационном режиме, т. е. при устойчивом сильном ветре мощность ГЭС может быть снижена. Это позволит накопить воду и создать в водохранилище ее дополнительный запас. При подобной работе система «ветропарки + ГЭС» приобретает более базисные эксплуатационные характеристики, а линии электропередачи не перегружаются. При этом возрастает равномерность загрузки ЛЭП, что позволяет поднять их экономическую эффективность.

Рассматривая район Серебрянских и Териберских ГЭС в качестве первоочередного для развития системной ветроэнергетики, следует отметить, что верхние станции взятых каскадов являются регулируемыми и самыми высоконапорными в Кольской энергосистеме (76 и 113 м), что делает каждый сэкономленный в них кубометр воды весьма энергоэффективным.

При изучении вопроса о выборе первоочередных площадок для размещения ветропарков следует учитывать, что они должны располагаться в зоне с высоким потенциалом ветра, быть доступными для доставки оборудования и монтажной техники, а также для выдачи вырабатываемой энергии в энергосистему. На этом основании выделены следующие возможные площадки [7].

1. Вблизи пос. Лодейное на берегу Баренцева моря (поз. 1, рис. 3), где среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м составляет 7,0 м/с. Поблизости имеется подстанция, через которую вырабатываемая энергия может быть выдана в энергосистему. Мощность ветропарка составит около 10 МВт.

2. На берегу Териберского водохранилища (поз. 2, рис. 3). Площадка имеет высотные отметки 140...150 м над уровнем моря, расположена в непосредственной близости от вспомогательных напорных сооружений Верхне-Териберской ГЭС XVII мощностью 130 МВт, что гарантирует выдачу 20 МВт мощности ветропарка

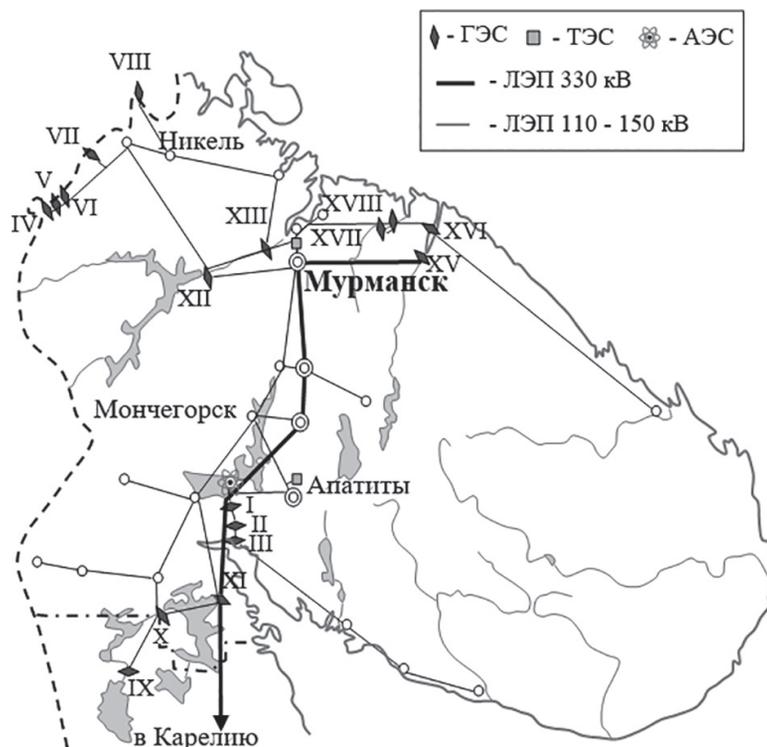


Рис. 2. Схема электрических сетей Кольской энергосистемы



Рис. 3. Площадки ветропарков (1 — 4) вблизи Серебрянских и Териберских ГЭС

в электрическую сеть. Площадка находится на открытой местности вблизи большого водоема, недалеко от благоустроенной автомобильной дороги и стационарных сооружений Верхне-Териберской ГЭС XVII.

3. Между пос. Туманный и Нижне-Серебрянской ГЭС XVI (поз. 3, рис. 3). Площадка располагается на

высоте 150...200 м над уровнем моря. Близость к подстанции ГЭС XVI делает удобной выдачу 50 МВт мощности ветропарка в энергосистему.

4. В районе 81-го км дороги Мурманск — Териберка (поз. 4, рис. 3). Эта площадка находится на возвышенности с высотными отметками 240...300 метров над уровнем моря [10]. Ориентировочное значение среднегодовой скорости ветра в этом районе — 6,5 м/с. Выдачу 200 МВт мощности в энергосистему можно проводить через трансформаторную подстанцию Верхне-Серебрянской ГЭС XV.

К последней площадке проявила интерес компания ПАО «Энел Россия», выигравшая в 2017 г. тендер на сооружение здесь Кольской ВЭС мощностью 201 МВт. Объем инвестиций, необходимых для реализации проекта, оценивается в 270 млн евро. Выработка электроэнергии ветропарка — 750 млн кВт·ч в год, срок окупаемости — около 10...14 лет. Правительством Мурманской области и ПАО «Энел Россия» в ноябре 2018 г. заключено соглашение о сотрудничестве и реализации данного инвестиционного проекта, который будет завершен в 2022 г.

Второе направление развития ветроэнергетики в прибрежных районах Арктики — участие ветроэнергетических установок в теплоснабжении децентрализованных потребителей [13, 14]. Отметим следующие факторы, благоприятствующие использованию энергии ветра на нужды отопления. Во-первых, — продолжительный отопительный сезон, который на Севере

длится 9...10 месяцев и более. Во-вторых, максимум потребления тепловой энергии приходится на зимнее время и совпадает с сезонным максимумом поступления ветровой энергии. Использование ВЭУ позволит превратить ветер из климатического фактора, определяющего повышенные тепловые потери, в полноценный источник энергии, обеспечивающий именно в ветренные периоды активное поступление энергии на нужды отопления.

Если при участии ВЭУ в электроснабжении непостоянство ветровой энергии считается существенным негативным фактором, то при работе ВЭУ для теплоснабжения данный факт не имеет такого значения. Кратковременные секундные и минутные изменения мощности ВЭУ сглаживаются за счет аккумулирующей способности системы теплоснабжения. Колебания в течение десятков минут и нескольких часов выравниваются благодаря аккумулирующей способности отапливаемых зданий. Во время длительных загибаний в работу могут включаться аккумулирующие устройства и штатные источники тепла (котельные).

Если наряду с котельной для отопления взять ВЭУ соизмеримой мощности, то часть графика отопительной нагрузки будет покрываться от ВЭУ, а остальная — от котельной. Сказанное можно проследить по рис. 4, на котором представлен фрагмент хронологического хода возможного участия ВЭУ в покрытии графика отопительной нагрузки на ветроэнергетическом полигоне КНЦ РАН в п. Дальние Зеленцы. Расчеты выполнены для февраля и марта, когда среднемесячные скорости ветра составляли 10,3 и 7,0 м/с, а среднемесячные температуры воздуха — 7,9 и $-7,2$ °С. Мощность ВЭУ принята равной 0,8 от мощности котельной.

В общем случае количество тепловой энергии, необходимое для отопления, пропорционально разности внутренней и наружной температур воздуха $\Delta t = t_{в} - t_{н}$.

Хронологический ход изменений этого перепада температур в зимние месяцы изображен на рис. 4, где кривая 1 представляет собой график потребности в тепловой энергии при температуре внутри помещения $t_{в} = 20$ °С и отсутствии ветра. При наличии ветра реальный график теплотребления будет выше (рис. 4, 2). Увеличение тепловых потерь от ветра продемонстрировано на графике рис. 5.

В действительности редко предложение со стороны ВЭУ точно совпадает с потребностью со стороны потребителя. Чаще либо выработки ВЭУ (область 3, рис. 4) не хватает для полного покрытия графика нагрузки и приходится часть нагрузки покрывать за счет котельной (область 4, рис. 4), либо выработка ВЭУ превышает потребности и создает избытки энергии (область 5, рис. 4).

Доля участия ВЭУ в теплоснабжении потребителя выглядит как отношение полезно использованной выработки ВЭУ, вписавшейся в график отопительной нагрузки, ко всему объему теплотребления. Для определения доли участия ВЭУ обработан обширный материал наблюдений по метеостанциям Мурманской области, включающий синхронные записи скорости ветра и наружной температуры воздуха. Это позволило выявить зависимость суточной выработки энергии ВЭУ от среднесуточной скорости ветра, а затем оценить возможное участие ВЭУ в теплоснабжении потребителя по отдельным месяцам и в целом за год. Все вычисления проходили сериями с изменением соотношения мощностей ВЭУ и котельной в пределах от 0 до 1.

Анализ полученных результатов показал, что если использовать ВЭУ значительно меньшей мощности, чем мощность котельной, то практически вся энергия ВЭУ впишется в годовой график тепловой нагрузки. При более мощной ВЭУ ее доля в покрытии графика нагрузки возрастет, но увеличится и вероятность на-

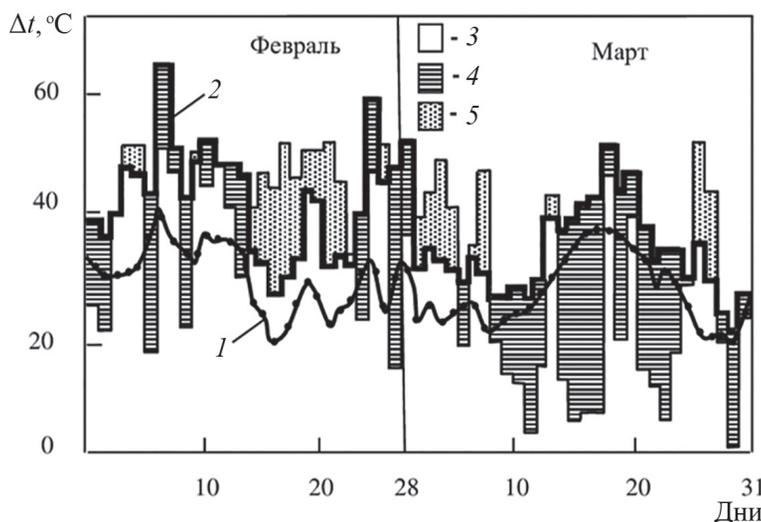


Рис. 4. График отопительной нагрузки на полигоне КНЦ РАН в зимние месяцы при температуре внутреннего воздуха 20 °С: 1, 2 — график нагрузки без учета и с учетом ветра; 3, 4 — энергия, вырабатываемая ВЭУ и котельной; 5 — избыточная энергия, вырабатываемая ВЭУ

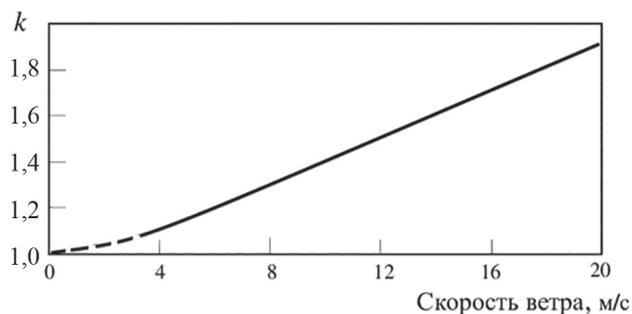


Рис. 5. Кратность увеличения тепловых потерь в зависимости от скорости ветра

ступления периодов, когда предложение со стороны ВЭУ будет превосходить потребности потребителя, и образуется избыток энергии. Недоиспользование выработки начинает ощущаться, когда мощность ВЭУ становится более 60% мощности котельной. Это говорит о том, что при организации работы комплекса «котельная + ВЭУ» требуется оптимизация мощности ветроустановки. Расчеты, выполненные с использованием критерия минимума приведенных затрат, показали, что, как правило, оптимальное соотношение мощностей ВЭУ и котельной находится в диапазоне 0,6...0,8. При таком соотношении обеспечивается минимальная себестоимость вырабатываемой тепловой энергии, и доля ВЭУ в покрытии графика нагрузки достигает 40...70% (в зависимости от потенциала ветра).

Третьим важным направлением возможного использования энергии ветра является совместная работа ВЭУ с дизельными электростанциями (ДЭС). Для определения возможной доли участия ВЭУ в покрытии графика электрической нагрузки при совместной работе с ДЭС использованы результаты непрерывных наблюдений, выполненных на ветроэнергетическом полигоне КНЦ РАН. По ним установлен график возможной выработки ВЭУ, затем наложенный на соответствующие характерные зимний, осенне-весенний или летний графики электрической нагрузки. Расчеты выполняли сериями с изменением соотношения мощностей ВЭУ и ДЭС в пределах от 0 до 1.

Как и в проанализированном ранее случае работы ВЭУ на нужды отопления, при работе комплекса «ДЭС + ВЭУ» также требуется оптимизация мощности ВЭУ, например, по критерию минимума приведенных затрат с учетом местных условий (режима ветра, стоимости топлива, уровня заработной платы обслуживающего персонала и т. д.). Вычисления показали, что оптимально соотношение между мощностями ВЭУ и ДЭС, близкое к 0,4...0,7 [15]. При этом достигается экономия

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года [Электрон. ресурс] www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf (дата обращения 25.02.2022).

(вытеснение) топлива в размере 20...50% в зависимости от потенциала ветра в районе размещения ВЭУ.

Учитывая огромнейшие ресурсы ветровой энергии в прибрежных районах Арктики, можно назвать еще и четвертое направление возможного использования энергии ветра — производство водорода (самого чистого вида топлива) путем электролиза воды. Этому в последнее время уделяется большое внимание во всем мире, в том числе и в России [16 — 20]. Благоприятные условия для развития этого направления имеются и в западном секторе Арктики, например, на северном побережье Кольского полуострова. Здесь можно предложить несколько площадок с высоким потенциалом ветра, пригодных для развертывания производства водорода и его последующего использования как внутри России, так и для экспорта в зарубежные страны.

Выводы

В западном секторе Арктики наибольшим потенциалом ветровой энергии обладают прибрежные районы Баренцева и Белого морей. Здесь среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м достигают 6...8 м/с. Наибольшая интенсивность ветра имеет место в холодное время года (с октября по апрель), что является важной предпосылкой эффективного использования энергии ветра на нужды электро- и теплоснабжения.

В названных районах развитие ветроэнергетики перспективно по трем основным направлениям: работа ветропарков в составе Кольской и Архангельской энергосистем, участие ВЭУ в теплоснабжении потребителей (совместная работа с местными котельными) и функционирование ВЭУ в электроснабжении удаленных децентрализованных потребителей (совместная работа с ДЭС).

Успешной работе ветропарков в Мурманской области благоприятствует наличие в регионе 17-и ГЭС суммарной мощностью около 1600 МВт, облегчающих вписывание энергии от ВЭУ в график нагрузки энергосистемы.

Участие ВЭУ в электро- и теплоснабжении удаленных автономных потребителей способствует экономии (вытеснению) от 20 до 70% топлива, сжигаемого на дизельных электростанциях и котельных.

В западном секторе Арктики, в частности на северном побережье Кольского полуострова, вполне может получить развитие водородная энергетика. Предпосылки: высокий потенциал ветра, транспортные связи (автомобильные и железные дороги, незамерзающие порты), позволяющие поставлять производимый водород как на внутренний, так и зарубежный рынки.

References

1. *Energeticheskaya Strategiya Rossii na Period do 2035 Goda* [Elektron. Resurs] www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf (Data Obrashcheniya 25.02.2022). (in Russian).

2. Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире. М.: Издат. дом МЭИ, 2018.
3. Габдерахманова Т.С., Киселева С.В., Попель О.С., Тарасенко А.Б. Некоторые аспекты развития возобновляемой энергетике в Арктической зоне РФ // Альтернативная энергетика и экология. 2016. № 19—20. С. 41—53.
4. Киселева С.В., Комарова Н.А., Тарасенко А.Б., Габдерахманова Т.С. Потенциальные потребители энергии от возобновляемых источников энергии в децентрализованных зонах России // Рациональное природопользование: традиции и новации: Материалы II Междунар. конф. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017. С. 91—95.
5. Фортов В.Е., Попель О.С. Состояние развития возобновляемых источников энергии в мире и России // Теплоэнергетика. 2014. № 6. С. 4—13.
6. Земсков В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК. СПб.: Лань, 2014.
7. Минин В.А. и др. Энергия ветра — перспективный возобновляемый энергоресурс Мурманской области. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006.
8. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В. К развитию моделей высотного профиля скорости ветра в приземном слое атмосферы // Известия РАН. Серия «Физика атмосферы и океана». 2018. Т. 54. № 2. С. 147—159.
9. Минин В.А. Потенциал ветровой энергии Архангельской области // Труды КНЦ РАН. Серия «Энергетика» 2016. № 1(35). Вып. 12. С. 102—116.
10. Минин В.А., Баранник Б.Г., Коновалова О.Г. Возобновляемые источники энергии Мурманской области. Saarbruecken: LAP LAMBERT Academ. Publ., 2013.
11. Minin V.A., Furtaev A.I. Prospects for the Development of Wind Energy Resources in the Western Sector of the Arctic Zone of Russia // Proc. Intern. Multi Conf. Industrial Eng. and Modern Technol. Vladivostok, 2018. P. 8602694.
12. Минин В.А., Рожкова А.А., Бежан А.А. Возможные направления интеграции возобновляемых источников энергии в энергетическое хозяйство Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. 2019. № 3. С. 124—133.
13. Минин В.А. Оценка возможного участия ветроэнергетических установок в покрытии графика отопительной нагрузки // Теплоэнергетика. 2012. № 11. С. 49—54.
14. Минин В.А., Бежан А.В. Оценка эффективности системы теплоснабжения на основе котельной и ветроустановки в условиях Севера // Теплоэнергетика. 2017. № 3. С. 51—59.
15. Минин В.А., Рожкова А.А. Оценка эффективности совместной работы дизельных электростанций с ветроэнергетическими установками // Электрические станции. 2014. № 6. С. 29—32.
2. Popel' O.S., Fortov V.E. Vozobnovlyayemaya Energetika v Sovremennom Mire. M.: Izdat. Dom MEI, 2018. (in Russian).
3. Gabderakhmanova T.S., Kiseleva S.V., Popel' O.S., Tarasenko A.B. Nekotorye Aspekty Razvitiya Vozobnovlyayemoy Energetiki v Arkticheskoy Zone RF. Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya. 2016;19—20: 41—53. (in Russian).
4. Kiseleva S.V., Komarova N.A., Tarasenko A.B., Gabderakhmanova T.S. Potentsial'nye Potebiteli Energii ot Vozobnovlyаемых Istochnikov Energii v Detsentralizovannykh Zonakh Rossii. Ratsional'noe Prirodopol'zovanie: Traditsii i Novatsii: Materialy II Mezhdunar. Konf. M.: Izd-vo MGU im. M.V. Lomonosova, 2017:91—95. (in Russian).
5. Fortov V.E., Popel' O.S. Sostoyanie Razvitiya Vozobnovlyаемых Istochnikov Energii v Mire i Rossii. Teploenergetika. 2014;6:4—13. (in Russian).
6. Zemskov V.I. Vozobnovlyаемые Istochniki Energii v APK. SPb.: Lan', 2014. (in Russian).
7. Minin V.A. i dr. Energiya Vetra — Perspektivnyy Vozobnovlyаемyy Energoresurs Murmanskoy Oblasti. Apatity: Izd. KNTS RAN, 2006. (in Russian).
8. Nikolaev V.G., Ganaga S.V., Kudryashov Yu.I., Nikolaev V.V. K Razvitiyu Modeley Vysotnogo Profilya Skorosti Vetra v Prizemnom Sloe Atmosfery. Izvestiya RAN. Seriya «Fizika Atmosfery i Okeana». 2018;54;2: 147—159. (in Russian).
9. Minin V.A. Potentsial Vetrovoy Energii Arkhangel'skoy Oblasti. Trudy KNTS RAN. Seriya «Energetika» 2016;1(35);12:102—116. (in Russian).
10. Minin V.A., Barannik B.G., Konovalova O.G. Vozobnovlyаемые Istochniki Energii Murmanskoy Oblasti. Saarbruecken: LAP LAMBERT Academ. Publ., 2013. (in Russian).
11. Minin V.A., Furtaev A.I. Prospects for the Development of Wind Energy Resources in the Western Sector of the Arctic Zone of Russia. Proc. Intern. Multi Conf. Industrial Eng. and Modern Technol. Vladivostok, 2018:8602694.
12. Minin V.A., Rozhkova A.A., Bezhan A.A. Vozmozhnye Napravleniya Integratsii Vozobnovlyаемых Istochnikov Energii v Energeticheskoe Khozyaystvo Murmanskoy Oblasti. Vestnik Kol'skogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2019;3:124—133. (in Russian).
13. Minin V.A. Otsenka Vozmozhnogo Uchastiya Vetroenergeticheskikh Ustanovok v Pokrytii Grafika Otopitel'noy Nagruzki. Teploenergetika. 2012;11:49—54. (in Russian).
14. Minin V.A., Bezhan A.V. Otsenka Effektivnosti Sistemy Teplosnabzheniya na Osnove Kotel'noy i Vetroustanovki v Usloviyakh Severa. Teploenergetika. 2017; 3:51—59. (in Russian).
15. Minin V.A., Rozhkova A.A. Otsenka Effektivnosti Sovmestnoy Raboty Dizel'nykh Elektrostantsiy s Vetroenergeticheskimi Ustanovkami. Elektricheskie Stantsii. 2014;6:29—32. (in Russian).

16. **Марченко О.В., Соломин С.В.** Анализ эффективности производства водорода с применением ветроэнергетических установок и его использования в автономной энергосистеме // Альтернативная энергетика и экология. 2017. № 3. С. 112—118.

17. **Марченко О.В., Соломин С.В.** Анализ эффективности аккумулирования электрической энергии и водорода в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. 2018. Т. 22. № 3(134). С. 183—193.

18. **Кулагин В.А., Грушевенко Д.А.** Сможет ли водород стать топливом будущего? // Теплоэнергетика. 2020. № 4. С. 3—17.

19. **Тарасенко А.Б., Попель О.С.** Перспективные пути развития водородной энергетики в условиях Севера // Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность: Материалы Междунар. конгресса. 2016. С. 243—249.

20. **Попель О.С., Тарасенко А.Б.** О перспективных направлениях развития водородной энергетики в России // Возобновляемые источники энергии: Материалы Всерос. науч. конф. с международным участием и XII научной молодежной школы. Махачкала: Алеф, 2020. С. 13—26.

16. **Marchenko O.V., Solomin S.V.** Analiz Effektivnosti Proizvodstva Vodoroda s Primeneniem Vetroenergeticheskikh Ustanovok i Ego Ispol'zovaniya v Avtonomnoy Energosisteme. Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya. 2017;3:112—118. (in Russian).

17. **Marchenko O.V., Solomin S.V.** Analiz Effektivnosti Akkumulirovaniya Elektricheskoy Energii i Vodoroda v Energosistemakh s Vozobnovlyаемymi Istochnikami Energii. Vestnik Irkutskogo Gos. Tekhn. Un-ta. 2018;22;3(134):183—193. (in Russian).

18. **Kulagin V.A., Grushevenko D.A.** Smozhet li Vodorod Stat' Toplivom Budushchego? Teploenergetika. 2020;4:3—17. (in Russian).

19. **Tarasenko A.B., Popel' O.S.** Perspektivnye Puti Razvitiya Vodorodnoy Energetiki v Usloviyakh Severa. Vozobnovlyаемaya Energetika XXI Vek: Energeticheskaya i Ekonomicheskaya Effektivnost': Materialy Mezhdunar. Kongressa. 2016:243—249. (in Russian).

20. **Popel' O.S., Tarasenko A.B.** O Perspektivnykh Napravleniyakh Razvitiya Vodorodnoy Energetiki v Rossii. Vozobnovlyаемые Istochniki Energii: Materialy Vseros. Nauch. Konf. s Mezhdunarodnym Uchastiem i XII Nauchnoy Molodezhnoy Shkoly. Makhachkala: Alef, 2020:13—26. (in Russian).

Сведения об авторе:

Минин Валерий Андреевич — кандидат технических наук, заведующий лабораторией энергосбережения и возобновляемых источников энергии Центра физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН, e-mail: v.minin@ksc.ru

Information about author:

Minin Valeriy A. — Ph.D. (Techn.), Head of Energy Conservation and Renewable Energy Sources Laboratory, Center for Physical and Technical Problems of the Energy Sector of the North, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, e-mail: v.minin@ksc.ru

Статья поступила в редакцию: 18.02.2022

The article received to the editor: 18.02.2022